



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per  
l'Ambiente ed il Territorio

TESI DI LAUREA

**Valutazione della vulnerabilità al cambiamento climatico delle  
comunità costiere di Dar es Salaam (Tanzania) rispetto al  
fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera**

Candidato

**Giuseppe Faldi**

Relatore

**Prof.ssa Silvia Macchi**

Correlatori

**Dott.Ing. Matteo Rossi**

**Dott.Ing. Liana Ricci**

Anno Accademico 2009-2010

*“Vorrei riflettere sull’esperienza della mia infanzia,  
quando andavo a prendere l’acqua per mia madre in un ruscello vicino a casa nostra.  
Volevo bere l’acqua direttamente dal ruscello, perché era pulita.  
Giocando in mezzo alle foglie di maranta, cercavo inutilmente  
di acchiappare i filamenti di uova di rospo, pensando che fossero perline,  
ma ogni volta che riuscivo a prenderli tra le mie piccole dita, si rompevano.  
Più tardi ho visto migliaia di girini neri e forti che si contorcevano  
nelle acque chiare per arrivare alla solida terra bruna.  
Questo è il mondo che ho ereditato dai miei genitori.  
Oggi, 50 anni dopo, il ruscello si è seccato, le donne camminano a lungo in cerca dell’acqua,  
che non è sempre pulita, ed i bambini non sapranno mai quello che hanno perso.  
La sfida è ricostruire la casa dei girini per ridare ai nostri figli un mondo di bellezze e meraviglia”.*

Wangari Maathai, passaggio finale del discorso fatto  
alla premiazione del Nobel per la Pace 2004

# INDICE

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE.....</b>                                                                                       | <b>5</b>  |
| <b>2. LA VULNERABILITA' AL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLE AREE COSTIERE.....</b>                                     | <b>10</b> |
| 2.1. Il cambiamento climatico: cause e conseguenze.....                                                           | 10        |
| 2.2. Il cambiamento climatico e le risorse idriche nelle aree costiere.....                                       | 23        |
| 2.2.1. Gli effetti del cambiamento climatico sulle risorse idriche.....                                           | 23        |
| 2.2.2. I processi di degradazione delle aree costiere: tra urbanizzazione e cambiamento climatico.....            | 27        |
| 2.2.3. L'intrusione salina negli acquiferi costieri.....                                                          | 33        |
| 2.3. La vulnerabilità al cambiamento climatico.....                                                               | 41        |
| 2.3.1. I concetti di vulnerabilità e sensibilità.....                                                             | 41        |
| 2.3.2. Valutazione di vulnerabilità ed adattamento.....                                                           | 45        |
| 2.3.3. Gruppi vulnerabili e strategie di adattamento negli ambienti urbani dei paesi del sud del mondo.....       | 49        |
| 2.4. Obiettivo della ricerca e metodo di studio proposto: descrizione del framework concettuale.....              | 54        |
| <b>3. IL CASO DI STUDIO: DAR ES SALAAM, TANZANIA.....</b>                                                         | <b>59</b> |
| 3.1. Criteri di selezione dell'area di studio.....                                                                | 59        |
| 3.2. Inquadramento territoriale dell'area di studio.....                                                          | 60        |
| 3.2.1. Localizzazione.....                                                                                        | 60        |
| 3.2.2. Caratteristiche climatiche.....                                                                            | 64        |
| 3.2.3. Topografia e geomorfologia.....                                                                            | 66        |
| 3.2.4. Idrologia.....                                                                                             | 68        |
| 3.2.5. Geologia ed idrogeologia.....                                                                              | 70        |
| 3.2.6. Uso del suolo e tessuto urbano.....                                                                        | 77        |
| 3.3. Lo sviluppo urbano di Dar es Salaam.....                                                                     | 83        |
| 3.4. Caratteristiche socio-economiche e principali emergenze ambientali.....                                      | 90        |
| 3.4.1. Popolazione e condizioni sociali.....                                                                      | 90        |
| 3.4.2. Attività economiche.....                                                                                   | 94        |
| 3.4.3. Problematiche ambientali.....                                                                              | 100       |
| 3.5. La gestione della risorsa idrica a Dar es Salaam.....                                                        | 104       |
| 3.5.1. Il sistema idrico di Dar es Salaam: caratteristiche e problematiche.....                                   | 104       |
| 3.5.2. Usi ed accesso alla risorsa idrica.....                                                                    | 115       |
| 3.5.3. Pratiche di compravendita e ridistribuzione dell'acqua.....                                                | 118       |
| 3.5.4. Risorsa idrica sotterranea.....                                                                            | 123       |
| 3.5.5. Problematiche qualitative delle acque sotterranee.....                                                     | 128       |
| 3.6. Il problema della salinizzazione dell'acquifero di Dar es Salaam: stato dell'arte.....                       | 132       |
| 3.6.1. Le cause e le conseguenze del fenomeno.....                                                                | 132       |
| 3.6.2. Possibili effetti del cambiamento climatico sulla quantità e qualità della risorsa idrica sotterranea..... | 135       |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>4. RACCOLTA ED ELABORAZIONE DATI</b>                                                                                                    | 142 |
| 4.1. La sensibilità del sistema biofisico                                                                                                  | 142 |
| 4.1.1. Raccolta dati bibliografici                                                                                                         | 142 |
| 4.1.2. Campagna di monitoraggio idrogeologico 2010                                                                                         | 143 |
| 4.1.3. Metodologia di analisi                                                                                                              | 146 |
| 4.1.4. L'evoluzione del fenomeno dell'intrusione salina all'interno dell'area di studio                                                    | 153 |
| 4.1.4.1. Caratteristiche dei dati utilizzati nella fase di analisi                                                                         | 153 |
| 4.1.4.2. Evoluzione del livello piezometrico e dei valori di conducibilità elettrica nel tempo                                             | 155 |
| 4.1.4.3. Analisi delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee e ricostruzione della superficie di interfaccia acqua dolce/salata | 164 |
| 4.2. La sensibilità del sistema sociale                                                                                                    | 173 |
| 4.2.1. Raccolta dati bibliografici                                                                                                         | 173 |
| 4.2.2. Rilievi spaziali e campagna di interviste qualitative                                                                               | 174 |
| 4.2.3. Grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea. Tipologie di approvvigionamento idrico                                        | 176 |
| 4.2.4. Indicatori utilizzati nella fase di analisi                                                                                         | 180 |
| 4.2.4.1. Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate                                                                       | 180 |
| 4.2.4.2. Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti                                                               | 183 |
| 4.2.4.3. Caratteristiche funzionali delle attività insediate                                                                               | 187 |
| 4.2.5. Analisi qualitativa delle caratteristiche degli insediamenti in studio                                                              | 188 |
| 4.2.5.1. Kunduchi                                                                                                                          | 188 |
| 4.2.5.2. Mbezi Beach                                                                                                                       | 190 |
| 4.2.5.3. Kawe                                                                                                                              | 192 |
| 4.2.5.4. Mikocheni                                                                                                                         | 193 |
| 4.2.5.5. Msasani                                                                                                                           | 194 |
| 4.2.5.6. Oysterbay                                                                                                                         | 196 |
| 4.2.5.7. Kijitonyama/Mwananyamala/Kinondoni                                                                                                | 197 |
| <b>5. RISULTATI</b>                                                                                                                        | 199 |
| 5.1. La vulnerabilità presente delle comunità rispetto all'intrusione salina nell'acquifero costiero                                       | 199 |
| 5.1.1. Biophysical System Sensitivity Mapping                                                                                              | 200 |
| 5.1.2. Social System Sensitivity Mapping                                                                                                   | 206 |
| 5.1.3. Vulnerability Mapping                                                                                                               | 211 |
| <b>6. CONCLUSIONI</b>                                                                                                                      | 216 |
| 6.1. Sintesi dei risultati ottenuti per il caso di studio                                                                                  | 216 |
| 6.2. La validità del metodo di analisi: vantaggi, limiti e prospettive future                                                              | 220 |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                                                                                                        | 225 |
| <b>SITOGRAFIA</b>                                                                                                                          | 234 |
| <b>ALLEGATO 1</b>                                                                                                                          | 236 |

## 1. INTRODUZIONE

L'acqua è una risorsa essenziale per la sussistenza e le attività sociali ed economiche di qualsiasi comunità.

L'insicurezza nell'accesso alla risorsa idrica limita lo sviluppo umano di molte popolazioni, soprattutto nelle grandi città dei paesi del sud del mondo, dove i rapidi processi di urbanizzazione non sono accompagnati da un adeguato sviluppo dei servizi primari (sistemi idrico, fognario e di drenaggio, strutture per lo smaltimento dei rifiuti solidi) e producono notevoli pressioni sulla risorsa idrica sia in termini di quantità, a causa della crescente domanda idrica, che di qualità, a causa del grande rischio di contaminazione da inquinanti di origine antropica.

Al tempo stesso, essendo l'acqua parte integrante del sistema climatico terrestre (atmosfera, idrosfera, biosfera, criosfera e superficie terrestre), i possibili mutamenti climatici (come l'innalzamento della temperatura media, la modifica dei regimi pluviometrici e l'innalzamento del livello medio dell'oceano) potrebbero rappresentare un ulteriore fattore di pressione, incidendo sul livello di disponibilità della risorsa idrica, a causa delle possibili alterazioni nei cicli idrologici locali. I dati e le proiezioni climatiche elaborate dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) mostrano, con grande evidenza, come la risorsa idrica (idropotabile) sia estremamente vulnerabile ai possibili impatti del cambiamento climatico:

*“observational records and climate projections provide abundant evidence that freshwater resources are vulnerable and have the potential to be strongly impacted by climate change, with wide-ranging consequences for human societies and ecosystems”* (IPCC, 2007).

Sebbene gli effetti della variabilità climatica sui sistemi ambientali siano da considerarsi non prevedibili scientificamente, soprattutto a livello locale, la capacità di mitigare i potenziali impatti potrebbe essere incrementata da una migliore comprensione di quali siano i fattori fisici e sociali che concorrono a produrre la vulnerabilità umana nei confronti di una determinata perturbazione del sistema biofisico.

Il presente lavoro di tesi, da considerarsi come uno studio-pilota, mira a proporre e testare in un contesto urbano di un paese del sud del mondo una metodologia di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto ad una perturbazione del sistema fisico, soggetta ad essere amplificata dai possibili effetti del cambiamento climatico.

In particolare, lo studio si focalizza sul fenomeno dell'intrusione salina negli acquiferi costieri, riferendosi nello specifico all'ingressione di acqua marina nella falda acquifera, considerato come uno dei processi maggiormente responsabili del peggioramento della qualità delle acque nelle zone costiere. Ad esso può essere imputabile un innalzamento del contenuto salino fino al superamento dei livelli accettabili per gli standard di potabilità ed irrigazione.

La salinizzazione delle falde acquifere è un problema diffuso e molto condizionante per lo sviluppo socio-economico delle grandi città costiere del sud del mondo, dove il tasso di urbanizzazione è estremamente elevato e l'agricoltura urbana rappresenta spesso l'attività primaria.

In generale, tale fenomeno può essere amplificato nel breve periodo da fattori di origine antropica che provocano un abbassamento del livello della falda acquifera, come l'eccessivo emungimento di acqua dolce dai pozzi, o l'impermeabilizzazione del suolo (diminuzione dell'infiltrazione), e nel medio-lungo periodo dalle potenziali conseguenze del cambiamento climatico, che potrebbero favorire un'intrusione diretta di acqua salata od una diminuzione del tasso di ricarica di un acquifero (aumento evapotraspirazione e runoff).

Il metodo di studio proposto si inserisce all'interno di un framework di riferimento internazionale per la valutazione degli effetti del cambiamento climatico e delle possibili tipologie di risposte, costruito a partire dal Protocollo di Kyoto ed espresso principalmente nel lavoro dell'UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) e dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). In tal sede l'obiettivo primario del processo di valutazione della vulnerabilità è quello di fornire la base conoscitiva utile per implementare strategie di adattamento al cambiamento climatico, da integrare all'interno dei piani locali di sviluppo del territorio.

Secondo tale approccio la vulnerabilità delle persone o delle comunità deriva dall'interazione di fattori fisici, che rappresentano la potenzialità che un sistema ambientale possa essere danneggiato dalle conseguenze di un evento dannoso (sensibilità del sistema biofisico) e di conseguenza individuano il grado di esposizione delle persone alla perturbazione, e fattori sociali, che rappresentano la capacità delle persone o delle comunità di far fronte alla perturbazione, assorbire gli impatti, recuperare, o adattarsi al cambiamento (sensibilità del sistema sociale).

Tale metodologia è stata testata in un contesto urbano di un paese del sud del mondo: Dar es Salaam, Repubblica Unita di Tanzania (Africa Sub-Sahariana).

La necessità di focalizzarsi sulle zone urbane del sud del mondo è dettata dal fatto che tali aree ospitano una porzione ampia e sempre in crescita della popolazione mondiale maggiormente esposta al rischio di eventi legati al cambiamento climatico.

Dar es Salaam è situata su una baia naturale lungo la linea di costa antistante il tratto di Oceano Indiano compreso fra le isole di Zanzibar e Mafia. Con una popolazione di circa 3 milioni di abitanti ed un tasso annuo di crescita pari a 4,39%, il quarto più alto in Africa ed il nono al mondo (AA.VV., 2004), Dar es Salaam è il principale centro urbano e polo economico della Tanzania.

Da 20 anni a questa parte, la città sta vivendo una rapida espansione demografica, che ha determinato un incontrollato sviluppo del tessuto urbano (estesa presenza di aree peri-urbane), la proliferazione di insediamenti informali, il deterioramento delle infrastrutture e dei servizi pubblici, nonché la degradazione della qualità del sistema ambientale.

In un contesto urbano estremamente complesso e dinamico, dove il 70% della popolazione abita in insediamenti informali con un accesso marginale ai servizi primari, come i sistemi idrico e fognario, ed i sistemi di gestione dei rifiuti solidi, le principali problematiche sanitarie ed ambientali derivano proprio dalla mancanza o inefficienza di tali servizi.

Nonostante la sufficiente disponibilità di risorsa idrica (vi sono molti corsi d'acqua e la piovosità media è comunque piuttosto elevata), a Dar es Salaam la difficoltà ad accedere ad un'acqua di buona qualità, proprio a causa del progressivo deterioramento delle acque superficiali e

sotterranee, rappresenta una questione di fondamentale importanza, soprattutto per fasce più indigenti di popolazione.

In generale, le pratiche di approvvigionamento idrico degli abitanti variano notevolmente a partire dall'utilizzo dell'acqua distribuita dall'acquedotto (fonte protetta), che comunque risulta essere inadeguato in quanto serve una ristretta parte della popolazione (30%), dalle pratiche di compravendita dell'acqua attraverso differenti modalità, sino allo sfruttamento diretto delle acque superficiali e sotterranee.

In particolare, negli ultimi 15 anni, a causa della crescente richiesta di risorsa idrica unitamente all'incapacità delle autorità di adeguare il servizio, l'acqua sotterranea è diventata sempre più importante per sostenere le differenti attività umane, soprattutto nelle aree urbane non servite dalla rete idrica (aree non pianificate, principalmente nelle zone peri-urbana della città).

Di conseguenza la tutela della qualità e della quantità delle acque sotterranee, minacciate dall'eccessivo sfruttamento e dall'inquinamento determinato dalla scarico di rifiuti liquidi e solidi, nonché dal fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera nelle aree costiere, diventa un'attività di vitale importanza.

Nell'ambito del lavoro di tesi ci si è focalizzati sulle comunità costiere insediate nella zona nord di Dar es Salaam, in aree sia pianificate che informali. Al fine di determinare la vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera si è cercato primariamente di localizzare le zone nelle quali le acque sotterranee manifestano segni di contaminazione marina, e di determinare, per quanto possibile, l'evoluzione del fenomeno negli ultimi 15 anni, con lo scopo di individuare le aree maggiormente sensibili all'intrusione salina (analisi della sensibilità del sistema biofisico). Secondariamente si è cercato di definire il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea delle comunità insediate nei differenti stanziamenti, attraverso l'individuazione della tipologia prevalente di approvvigionamento idrico, al fine di determinare il livello di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento della risorsa idrica sotterranea (analisi della sensibilità del sistema sociale).

Il procedimento per la definizione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto alla salinazione dell'acquifero costiero si è basato su una serie di operazioni che hanno permesso la costruzione di carte tematiche che visualizzano la criticità del territorio in studio sulla base della sua sensibilità fisica e sociale.

Lo sviluppo del metodo di studio proposto ha richiesto un'attività di raccolta dati sul campo, svolta in collaborazione con la *Ardhi University* di Dar es Salaam, nell'ambito di un accordo interuniversitario stipulato con il CIRPS (Centro Interuniversitario di Ricerca Per lo Sviluppo sostenibile, Università di Roma "La Sapienza"), ed ha richiesto un periodo di permanenza in loco di 3 mesi, da Gennaio 2010 ad Aprile 2010. Il lavoro sul campo è consistito in 3 attività principali:

- Il reperimento di dati, documenti e studi esistenti sulle proprietà fisiche dell'ambiente costiero e sulle caratteristiche socio-economiche delle comunità presenti nell'area di studio.
- Una campagna di monitoraggio idrogeologico della falda acquifera costiera.
- Lo svolgimento di rilievi ed interviste qualitative (a campione), eseguiti durante la campagna di misurazioni, per cercare di comprendere il livello di sfruttamento della

risorsa idrica sotterranea e le pratiche di approvvigionamento idrico delle comunità presenti nell'area di studio.

La struttura del presente lavoro di tesi è articolata in sei capitoli.

Dopo una sintetica introduzione (Capitolo 1), nel Capitolo 2 vengono descritti, in modo generale, i principali effetti che le conseguenze dei cambiamenti climatici potrebbero determinare sui sistemi umani ed ambientali, focalizzandosi sulla risorsa idrica negli ambienti costieri, ed in particolare rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera. Di seguito vengono introdotti i concetti di sensibilità, vulnerabilità ed adattamento propri della letteratura internazionale che si interessa della valutazione degli effetti e delle possibili tipologie di risposte nei confronti dei cambiamenti climatici (IPCC, *Working Group II*). In tale contesto le finalità di una valutazione della vulnerabilità sono quelle di individuare le regioni ed i gruppi sociali maggiormente soggetti alle conseguenze di una determinata perturbazione che potrebbe essere incrementata ed aggravata dagli effetti della variabilità climatica, e di fornire, dunque, una base conoscitiva necessaria per formulare possibili strategie di adattamento specifiche per le comunità di un determinato territorio. In generale, i gruppi sociali e le regioni con limitate risorse economiche, bassi livelli tecnologici, scarsa informazione, scadenti infrastrutture, instabili situazioni politiche, ed iniquità nello sviluppo e nell'accesso alle risorse, hanno limitate capacità di adattamento (non sufficienti a compensare i possibili danni), risultando maggiormente vulnerabili agli effetti di un evento dannoso. Il Capitolo 2 si conclude con la presentazione del metodo di studio proposto per la valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera.

Nel Capitolo 3 vengono descritte le proprietà territoriali dell'area di studio (localizzazione, caratteristiche climatiche, topografia e geomorfologia, idrologia, geologia ed idrogeologia, uso del suolo e tessuto urbano) e presentate le principali caratteristiche e problematiche della città di Dar es Salaam (sviluppo urbano, caratteristiche socio-economiche ed emergenze ambientali). Quindi sono approfonditi gli aspetti principali legati alla gestione della risorsa idrica a Dar es Salaam: le caratteristiche e le problematiche del sistema idrico cittadino (basato sullo sfruttamento delle acque superficiali del Fiume Ruvu, situato a nord-ovest della città); le differenti tipologie di accesso alla risorsa idrica alternative alla connessione alla rete; le pratiche di compravendita e redistribuzione dell'acqua; il crescente sfruttamento e le problematiche qualitative delle acque sotterranee, focalizzandosi in particolare sulle possibili cause e conseguenze del processo di salinizzazione della falda acquifera costiera.

Il Capitolo 4 descrive le fasi di raccolta ed elaborazione dati, relative alle attività di analisi della sensibilità del sistema biofisico e della sensibilità del sistema sociale.

Nella prima parte (analisi della sensibilità del sistema biofisico) viene proposta una metodologia di studio del fenomeno dell'intrusione salina negli acquiferi costieri (entità ed evoluzione nel tempo del fenomeno), compatibile con l'area di studio selezionata, la tipologia, la quantità e la qualità dei dati disponibili, che consiste nello sviluppo di differenti attività di analisi delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero costiero (parametri chimico-fisici delle acque sotterranee).



Mentre nella seconda parte (analisi della sensibilità del sistema sociale) viene proposta, compatibilmente con i dati disponibili, una metodologia di analisi basata sull'individuazione di un indice che rappresenti il grado di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee (grado di utilizzo della risorsa idrica sotterranea), attraverso la costruzione di opportuni indicatori che, descrivendo le caratteristiche socio-economiche, insediative e funzionali delle differenti unità territoriali all'interno dell'area di studio selezionata, permettano di definire la tipologia prevalente di approvvigionamento idrico delle relative comunità insediate.

Nel Capitolo 5 vengono esposti i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di valutazione della vulnerabilità. La sovrapposizione dei risultati ottenuti dall'analisi della sensibilità del sistema biofisico, con i risultati ottenuti dall'analisi della sensibilità del sistema sociale permette l'individuazione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera.

Coerentemente con l'obiettivo generale di questo lavoro di tesi, il metodo di studio proposto si conclude proprio con la definizione della vulnerabilità presente delle comunità, ossia con l'individuazione delle aree da considerarsi prioritarie per le azioni di adattamento al cambiamento climatico.

Infine il Capitolo 6 contiene alcune considerazioni conclusive sul lavoro svolto, all'interno delle quali vengono sintetizzati i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di studio proposto, testato sui dati ad oggi disponibili e destinato ad orientare una futura e più approfondita valutazione della vulnerabilità delle comunità costiere di Dar es Salaam, e sono evidenziati i principali vantaggi e limiti del processo di analisi, nonché le attività future necessarie per il completamento e l'aggiornamento dello studio.

## 2. LA VULNERABILITA' AL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLE AREE COSTIERE

### 2.1. Il cambiamento climatico: cause e conseguenze

In Climatologia il termine “mutamenti climatici” indica le variazioni a livello più o meno globale del clima della Terra (cambiamento dei valori medi) ovvero variazioni a diverse scale temporali di uno o più parametri ambientali e meteorologici: temperature atmosferiche (media, massima e minima), precipitazioni, nuvolosità, temperature degli oceani, distribuzione e sviluppo di piante e animali.

Variazioni nell'attività solare, nella composizione atmosferica, nella disposizione dei continenti, nelle correnti oceaniche o nell'orbita terrestre possono modificare la distribuzione dell'energia e il bilancio radioattivo terrestre, alterando così il clima planetario.

A partire dalla seconda metà del XX secolo si è a poco a poco imposta la tendenza, corroborata da un quasi unanime consenso della comunità scientifica, a ritenere che il clima sia sensibile non solo alle cause naturali che da sempre lo influenzano, ma anche ad interferenze antropiche, fra cui le crescenti emissioni inquinanti.

L'energia trasmessa dal Sole verso la Terra viene in parte assorbita dalla superficie terrestre, ed in parte riflessa sotto forma di radiazioni infrarosse. Il fenomeno dell'effetto serra è responsabile di circa 33 °C della temperatura superficiale media della Terra, pari a circa 15 °C. Tale fenomeno consiste nel riscaldamento della bassa atmosfera (troposfera) dovuto alla presenza di alcuni gas, detti appunto “gas serra” (GHG, *GreenHouse Gases*), che trasmettono la radiazione visibile, ma assorbono la radiazione infrarossa riemessa dalla superficie terrestre. Senza l'effetto serra, infatti, la temperatura superficiale della Terra risulterebbe pari a -18 °C, troppo fredda per consentire la vita.

Tuttavia, l'aumento negli ultimi 50 anni della concentrazione di GHG nell'atmosfera, dovuto alle sempre maggiori emissioni derivanti da attività antropiche, favorisce l'intensificazione del fenomeno dell'effetto serra, determinando un maggiore riscaldamento sia della superficie terrestre che dell'atmosfera. Tale surriscaldamento climatico globale (*global warming*) potrebbe destabilizzare il clima globale, provocando squilibri climatici di dimensione planetaria.

Ed in questo senso il termine “cambiamento climatico”, nell'uso dell'IPPC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), si riferisce ad ogni cambiamento del clima nel tempo, dovuto sia alla variabilità naturale che al risultato dell'attività umana.

Tale uso differisce da quello del UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) dove per “cambiamento climatico” si intende ogni mutamento del clima, direttamente o indirettamente attribuito all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che è addizionale alla variabilità naturale del clima osservata su un periodo di tempo confrontabile.

I più importanti gas serra sono il vapor acqueo (H<sub>2</sub>O), il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), il metano (CH<sub>4</sub>), l'ossido di azoto (N<sub>2</sub>O), l'ozono troposferico (O<sub>3</sub>) ed altri gas (gas fluorurati, come CFC,

HCFC, HFC) presenti in quantità molto modeste, ma ritenuti ugualmente responsabili dei cambiamenti climatici.

La concentrazione di vapor acqueo nell'atmosfera, pur essendo più elevata rispetto agli altri gas serra (pari al 95%), non dipende direttamente dalle attività umane, ma semplicemente dal ciclo idrologico (effetto serra naturale). L'aumento della concentrazione del vapor acqueo indurrebbe verosimilmente ad una variazione della copertura nuvolosa, che a sua volta condurrebbe ad un raffreddamento del sistema. In realtà, si è visto che tale raffreddamento non così è sufficiente da bilanciare l'effetto di riscaldamento prodotto dall'incremento della concentrazione del vapor acqueo (ISMEA, 2009).

Il biossido di carbonio (concentrazione nell'atmosfera pari al 4%) è principalmente prodotto dall'utilizzo di combustibili fossili (petrolio, carbone) per la produzione di energia elettrica, nel settore dei trasporti, nei sistemi di produzione industriale, nonché per il riscaldamento degli edifici.

La capacità di assorbimento dell'anidride carbonica da parte della vegetazione (per l'attività fotosintetica) è notevolmente diminuita sia a causa della deforestazione, sia per l'aumento di anidride carbonica prodotta dalla deforestazione stessa.

Negli ultimi 250 anni la CO<sub>2</sub> atmosferica è aumentata globalmente di 100 ppm (30%), precisamente da 275÷285 ppm dell'era pre-industriale a 379 ppm del 2005. Si osserva che il primo incremento di 50 ppm è stato raggiunto in un arco temporale di 200 anni, mentre il secondo in soli 30 anni. Dal 1995 al 2005 l'incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica è stato circa di 19 ppm, il più alto per decade registrato dagli inizi degli anni 50. Il valore medio dell'aumento di concentrazione di CO<sub>2</sub>, determinato attraverso misure dirette, dal 1960 al 2005 è stato di 1.4 ppm all'anno, mentre negli ultimi dieci anni ha raggiunto un valore di 2.0 ppm all'anno (IPCC, 2007).

Le emissioni di metano (concentrazione nell'atmosfera inferiore al 1%) sono strettamente legate all'attività agricola, alla distribuzione di gas naturale ed al processo di decomposizione dei rifiuti solidi. La concentrazione complessiva di questo gas nell'atmosfera è aumentata da 715 ppb circa, del periodo pre-industriale, a 1732 ppb, degli inizi del 1990, fino ad un valore di 1.774 ppb registrato nel 2005 (IPCC, 2007).

L'ossido di azoto (concentrazione nell'atmosfera inferiore al 1%) ha origine dalle attività antropiche come ad esempio l'uso di fertilizzanti e dei combustibili fossili, ma anche in alcuni processi naturali che riguardano il suolo e gli oceani. Dal periodo pre-industriale fino al 2005, la concentrazione di ossido di azoto è aumentata del 18%, da 270 ppb circa a 319 ppb, mentre a partire 1980 sembra essere rimasta quasi costante, mostrando solamente un lieve incremento dello 0.26% (IPCC, 2007).

L'ozono (concentrazione nell'atmosfera inferiore al 1%) è prodotto sia nei processi naturali che in quelli originati dall'uomo può avere una duplice funzione in base alla distanza dalla superficie terrestre. L'ozono troposferico, contrariamente all'ozono stratosferico, ha un effetto negativo in quanto influisce direttamente sull'effetto serra. Si produce grazie all'effetto combinato della radiazione solare ed alcuni composti prodotti per la maggior parte dall'uomo (in particolare gli ossidi d'azoto ed i composti organici volatili) contribuendo alla formazione dello smog fotochimico.

I gas fluorurati (concentrazione nell'atmosfera inferiore al 1%) sono gli unici gas ad effetto serra che non esistono in natura, ma derivano dalle attività dell'uomo. I gas fluorurati che

contribuiscono all'effetto serra includono i clorofluorocarburi (CFCs), gli idrofluorocarburi (HFCs), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoro di zolfo ( $\text{SF}_6$ ). Anche se questi gas serra sono presenti in concentrazioni molto ridotte rispetto ai precedenti, hanno un tempo di vita molto lungo in atmosfera ed una elevata forza radiativa. I clorofluorocarburi giocano un ruolo molto importante nella formazione del “buco dell'ozono antartico” e nella formazione di alcuni aerosol organici.

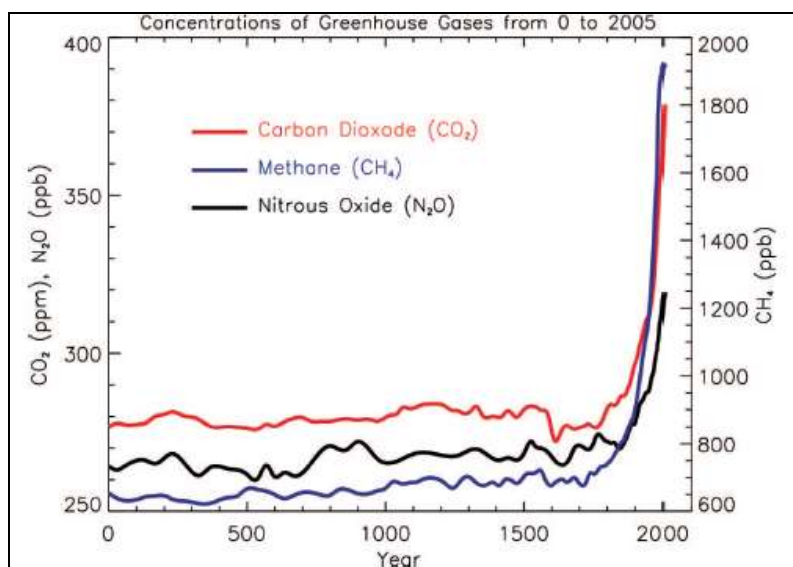


Figura 2.1 Concentrazione nell'atmosfera di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  negli ultimi 2000 anni (IPCC, 2007)

Le emissioni di GHG aggregate, valutate in base allo specifico potenziale di riscaldamento globale (l'anidride carbonica è stata presa come unità di riferimento, in quanto presente in maggiore concentrazione), sono aumentate del 70% dal 1970 al 2004. In questo arco di tempo, il settore dei trasporti ha incrementato le proprie emissioni del 120%, mentre l'industria del 65%. Tra il 1990 ed il 2004, invece, le emissioni derivanti dalle attività agricole sono cresciute del 27%, quasi quanto quelle del settore edile (IPCC, 2007).

In generale, il cambiamento climatico è riconosciuto a livello internazionale come una delle sfide più significative e complesse per la società del XXI secolo. Nel corso degli ultimi anni, si è diffusa la percezione, a livello non solo di singoli governi nazionali, ma anche internazionale, che i cambiamenti climatici rappresentino una minaccia crescente alla sicurezza. La maggiore attenzione a questo aspetto del fenomeno deriva soprattutto dalla ricerca scientifica che indica, con livelli sempre più elevati di probabilità, che i cambiamenti climatici sono un processo già in corso, con riscontri osservabili e conseguenze potenzialmente gravi. Inoltre, secondo le indicazioni degli studiosi, neanche l'attuazione immediata di misure severe di mitigazione (ovvero riduzione delle emissioni di gas serra) basterebbe a contenere gli effetti dei cambiamenti climatici nei prossimi decenni, il che rende necessario abbinare allo sforzo di mitigazione politiche mirate alla prevenzione delle principali minacce innescate dal processo in corso.

Negli ultimi 30 anni le conoscenze in merito alle fluttuazioni climatiche si sono notevolmente consolidate, grazie alla ricerca che ha fatto consistenti progressi sull'argomento.

Nel 1979 l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (*World Meteorological Organization*, WMO) organizzò la prima Conferenza mondiale sul clima durante la quale furono denunciate le

prime apprensioni nei confronti dei cambiamenti climatici. In tale circostanza si decise di eleggere una commissione internazionale che avesse il compito di valutare lo stato, le cause e le conseguenze dei cambiamenti climatici su scala globale e di elaborare un ventaglio di possibili scenari futuri. Pertanto fu stabilito un “programma mondiale di ricerca sul clima” (*World Meteorological Climate Programme*, WCRP) sotto la diretta responsabilità della WMO, dell’UNEP (*United Nations Environment Programme*) e dell’ICSU (*International Council of Scientific Unions*).

Riconoscendo che le emissioni a livello mondiale di alcune sostanze stavano modificando in misura significativa la concentrazione di ozono nella stratosfera, tanto da farne derivare effetti nocivi per la salute umana, per l’ambiente e per il clima, nel 1987 fu stipulato a Montreal il primo Protocollo sui cambiamenti climatici. Questo trattato impose ai Paesi aderenti l’obbligo di contenere i livelli di produzione e di consumo di tali sostanze dannose (come ad esempio i clorofluorocarburi, CFCs).

Nel 1988, fu istituito il gruppo di esperti intergovernativo (IPCC), strutturato in tre Gruppi di Lavoro (*Working Group*) ed una unità operativa (*Task Force*), ognuno con competenze specifiche, descritte di seguito:

- il *Working Group I* (WGI) valuta gli aspetti scientifici del sistema climatico e dei suoi cambiamenti nel tempo;
- il *Working Group II* (WGII) valuta la vulnerabilità dei sistemi naturali e socioeconomici rispetto ai cambiamenti climatici, le conseguenze negative o positive, e le strategie di adattamento;
- il *Working Group III* (WGIII) valuta le strategie di limitazione delle emissioni di gas serra e le altre strategie per la mitigazione dei cambiamenti climatici;
- la *Task Force*, invece, effettua la supervisione dei programmi per la realizzazione degli inventari nazionali dei gas serra.

Due anni dopo, fu pubblicato il *First Assessment Report* dell’IPCC, dal quale emerse che effettivamente la temperatura media terrestre stava aumentando in maniera anomala. A fronte di tali risultati, durante il Vertice Mondiale sull’Ambiente e lo Sviluppo, tenutosi a Rio Janeiro del 1992, fu istituita la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), con lo scopo di sottoscrivere degli accordi sulla riduzione delle emissioni di gas serra presenti nella troposfera. La Convenzione, ratificata da 192 Paesi, entrò in vigore il 21 marzo del 1994. Tuttavia la maggior parte delle misure correttive e preventive stabilite sono rimaste, in buona sostanza, disattese.

L’organismo decisionale supremo dell’UNFCCC è rappresentato dalla Conferenza delle Parti (*COnference of the Parties*, COP) che comprende tutti i Paesi ed i Territori che l’hanno sottoscritta.

La COP ha come scopo principale quello di riesaminare periodicamente gli accordi stipulati nella Convenzione, tenendo in considerazione le nuove evoluzioni dei cambiamenti climatici (tecnologie innovative, impatti sociali ed economici). Dall’evoluzione di questi dibattiti nacque l’esigenza di redigere un protocollo che, similmente a quello di Montreal, regolamentava le emissioni di gas serra.

Nel 1997 a Kyoto, in occasione della COP3, fu stilato un secondo trattato nel quale si stabilì una riduzione delle emissioni di gas serra del 6%-8% rispetto ai livelli del 1990, entro il 2008-2012.

La realizzazione degli obiettivi dell'accordo è affidata, soprattutto, ai paesi maggiormente responsabili dei gas serra: all'Unione Europea è assegnata una riduzione delle emissioni pari all'8%, agli Stati Uniti del 7% ed al Giappone del 6%. L'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto è stata più complessa di quanto si auspicasse inizialmente.

Per rendere operativo l'accordo raggiunto era indispensabile che esso, una volta sottoscritto, venisse ratificato da non meno di 55 nazioni firmatarie e che quest'ultime fossero responsabili, complessivamente, del 55% delle emissioni inquinanti. Questo target è stato raggiunto solamente nel febbraio 2005, a seguito della ratifica della Federazione Russa, mentre gli USA, responsabili di quasi il 25% delle emissioni globali, ancora oggi, si astengono dal ratificare il trattato.

Di certo l'accordo di Kyoto non rappresenta un punto di arrivo, ma deve considerarsi come il punto di partenza per affrontare organicamente i problemi del clima e dello sviluppo sostenibile.

Ad ogni modo, l'evoluzione futura del clima appare molto complessa e i modelli previsionali, elaborati dall'IPCC, dovendo tradurre e formalizzare dal punto di vista matematico le articolate interconnessioni tra sistemi naturali e sociali, non possono considerarsi perfetti.

Risulta tuttora molto difficile prevedere come l'attuale riscaldamento globale realmente influirà sul sistema pianeta.

Il clima globale è un sistema non lineare multifattoriale, per cui la Climatologia può stabilire delle tendenze, ma non eventi di dettaglio a breve periodo tipici invece delle analisi meteorologiche.

In generale, non è possibile imputare l'aumento del numero delle catastrofi climatiche negli ultimi decenni direttamente ai cambiamenti climatici. Ogni evento meteorologico è il risultato di forze casuali e fattori sistemici. Tuttavia, i cambiamenti climatici potrebbero creare le condizioni sistemiche per il verificarsi di eventi meteorologici estremi.

L'aumento della temperatura a seguito dell'incremento delle emissioni dei gas a effetto serra è un elemento sul quale tutti gli studiosi sono convergenti. Pertanto, l'entità del cambiamento climatico futuro dipenderà fondamentalmente dalle emissioni di tali gas.

La temperatura media della superficie della Terra è salita da 0,6 °C a 0,9 °C tra il 1906 e il 2006, ed il tasso di aumento della temperatura è quasi raddoppiato negli ultimi 50 anni.

Le proiezioni presentate nell'ultimo rapporto dell'IPCC (2007), elaborate sulla base di differenti scenari, indicano un aumento della temperatura nel periodo 1990-2100 compreso tra 1,4 °C e 5,8° C.

Il riscaldamento globale non riguarderà tutti i luoghi della terra allo stesso modo, ma sarà maggiore nella regione artica ed inferiore all'equatore. I modelli climatici proposti offrono anche una serie di previsioni di temperatura basata su diversi scenari di emissione.

Gli scenari variano in funzioni di variabili socio-politiche (crescita della popolazione, politiche collettive o individuali) e della tipologia di sviluppo economico futuro (disponibilità delle risorse, sviluppo tecnologico, sostenibilità) e si distinguono in crescita elevata, media, e bassa, in funzione delle emissioni di gas serra in atmosfera.

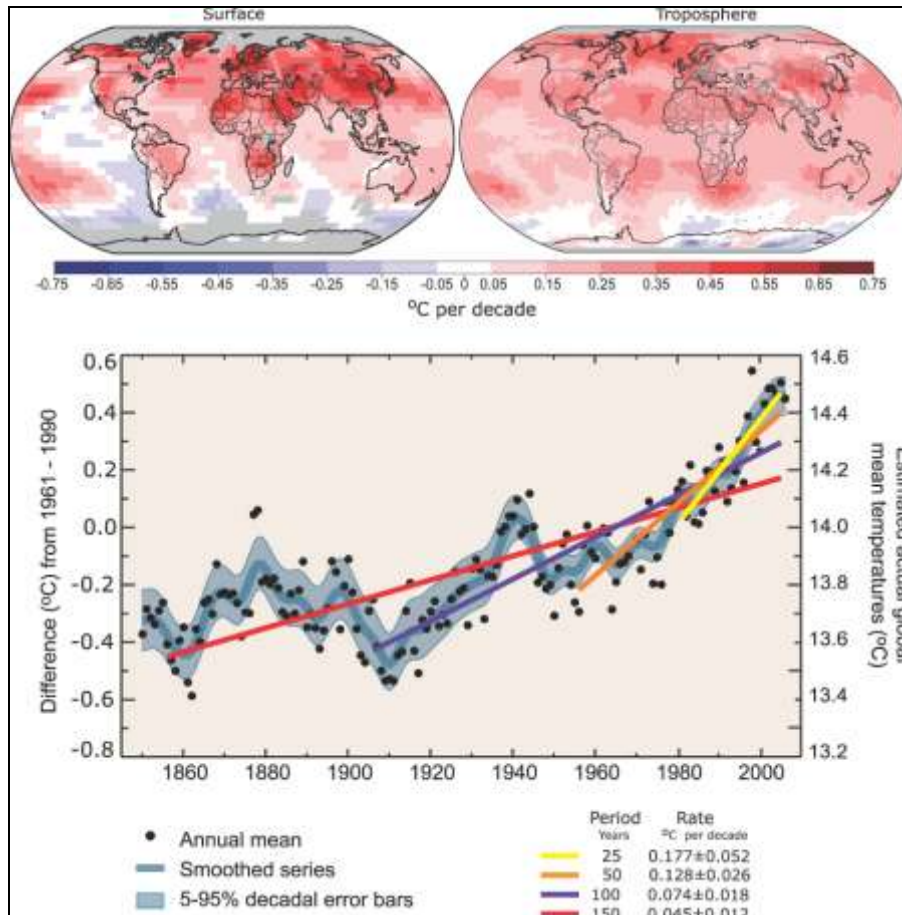


Figura 2.2 Aumento della temperatura media terrestre dal 1820 a 2010 (IPCC, 2007)

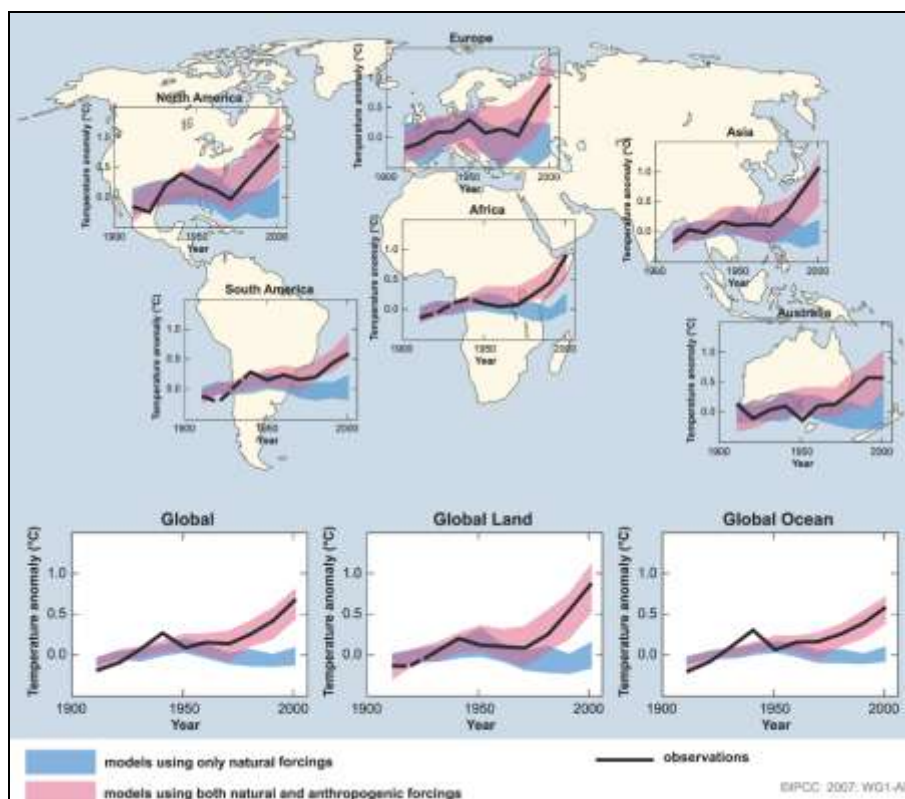


Figura 2.3 Confronto delle variazioni di temperatura media terrestre su scala continentale e globale, osservate dal 1820 al 2005, con quelle risultanti dalle simulazioni effettuate con i modelli climatici usando forzanti naturali e antropogenici (IPCC, 2007)



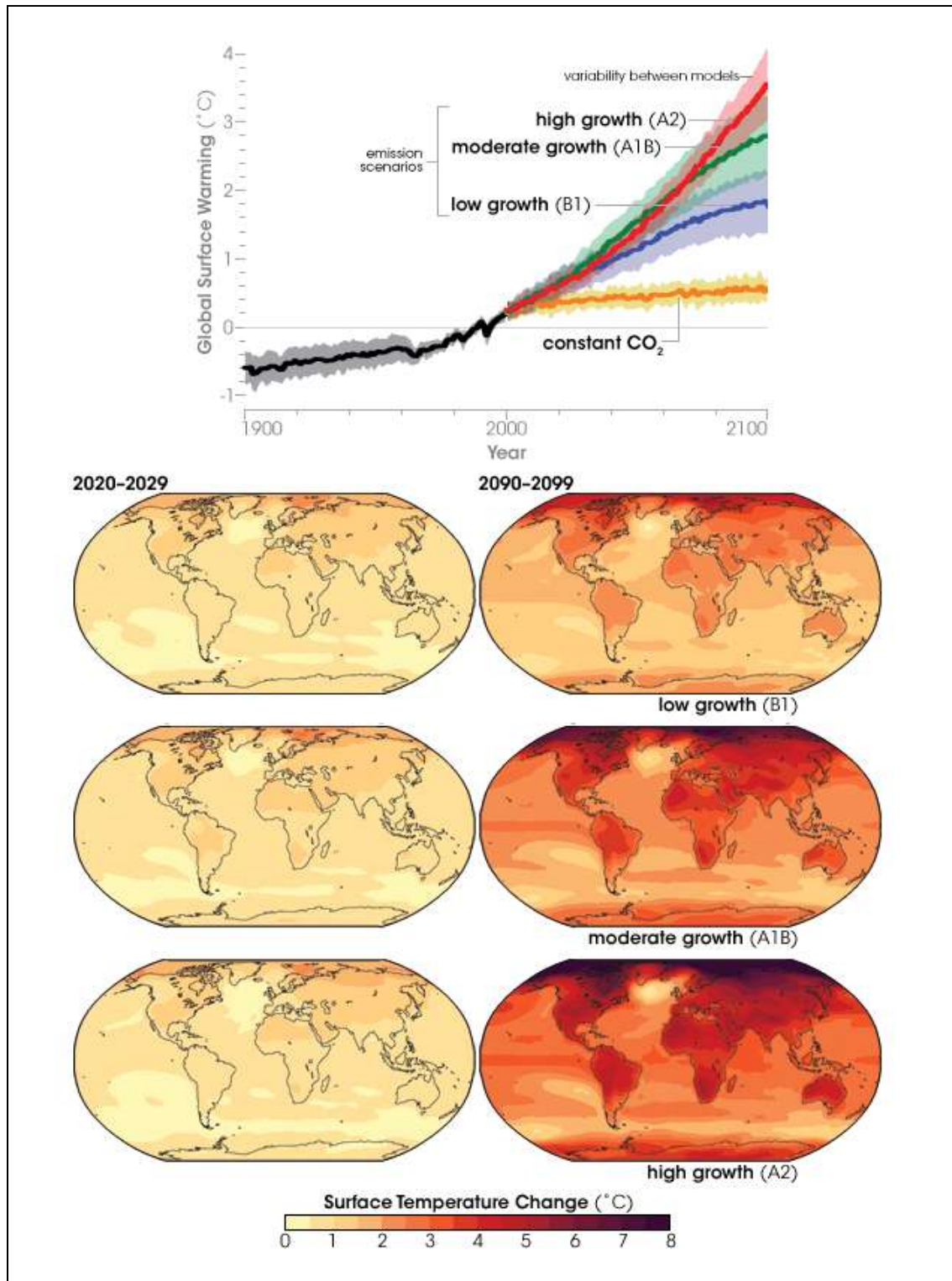


Figura 2.4 Differenti scenari di aumento di temperatura media della superficie terrestre in funzione delle tipologia di crescita (IPCC, 2007)

Secondo l'IPCC, il surriscaldamento globale della Terra proseguirà negli anni futuri anche nell'ipotesi in cui le emissioni di gas serra dovessero rimanere costanti, pertanto i differenti Paesi del mondo dovranno adattarsi ad inevitabili cambiamenti, anche se gli obiettivi di stabilizzazione fossero raggiunti (IPCC, 2007).



La conoscenza dell'evoluzione futura assume quindi una grande importanza strategica soprattutto per settori fortemente dipendenti dalle variabili maggiormente interessate dal cambiamento climatico.

Molti aspetti e campi della vita dell'uomo potrebbero essere colpiti da cambiamenti: l'agricoltura, le risorse idriche, la biodiversità, l'industria, la salute, e le città.

Un innalzamento della temperatura media globale di 2-2,5 °C rispetto al presente potrebbe determinare impatti non trascurabili, come la riduzione della produttività agricola, delle risorse idriche, nonché la perdita di biodiversità nei differenti ecosistemi (possibile perdita di specie). Si può facilmente dedurre che nelle regioni in cui la temperatura già rappresenta un fattore limitante, negli anni a venire la situazione si prospetti piuttosto critica.

Dato che le condizioni meteorologiche della Terra sono in larga misura il prodotto delle differenze di temperatura tra zone polari ed equatore, si potranno determinare mutamenti di forza e direzione dei venti, delle precipitazioni e delle correnti oceaniche.

A differenza di quanto riportato per le temperature, la variazione delle precipitazioni a seguito dell'incremento dalla quantità di gas a effetto serra emesso non è una grandezza sulla quale gli studiosi sono troppo concordi, in quanto la piovosità è maggiormente variabile nello spazio e nel tempo e la mancanza di dati non permette la valutazione del fenomeno con una precisione affidabile.

In generale, si ritiene che potranno aumentare le oscillazioni climatiche attorno a valori medi, con fenomeni estremi più frequenti ed imprevedibili (estremizzazione del clima), come, ad esempio, il passaggio repentino da forti ondate di caldo a vere e proprie gelate fuori stagione, o l'aumento di eventi meteorologici estremi, che possono favorire alluvioni o, viceversa, periodi di forti siccità (IPCC, 2007).

Con l'incremento della temperatura vi è un conseguente aumento dell'evaporazione, per cui si presume che, a livello globale, l'inasprimento dell'effetto serra porterà ad una crescita delle precipitazioni e ad una maggiore frequenza delle tempeste di forte intensità.

In generale, i modelli elaborati dall'IPCC prevedono un aumento delle precipitazioni alle medie-alte latitudini, mentre alle basse latitudini è previsto un aumento in alcune aree ed una diminuzione in altre.

In particolare, i calcoli sui cambiamenti climatici in aree specifiche sono molto meno affidabili di quelli globali e, di conseguenza, non è chiara la variazione che avranno i climi regionali. Si ritiene, comunque, che a causa del maggior calore vi potrà essere una riduzione dell'umidità in varie regioni delle zone tropicali che potrebbero andare incontro a frequenti siccità, con possibili ripercussioni sulla disponibilità di risorse idriche (IPCC, 2007).

In Figura 2.4, Figura 2.5 e Figura 2.6 sono rappresentate le variazioni relative (in percentuale e deviazione standard) delle precipitazioni (in quantità ed intensità), dell'umidità del suolo, del deflusso superficiale, dell'evaporazione, e della frequenza di giorni caldi, per il periodo 2090-2099, rispetto al periodo 1980-1999, secondo un modello integrato elaborato dall'IPCC. Le aree punteggiate indicano dove più del 90% dei modelli utilizzati concordano sul segno della variazione.

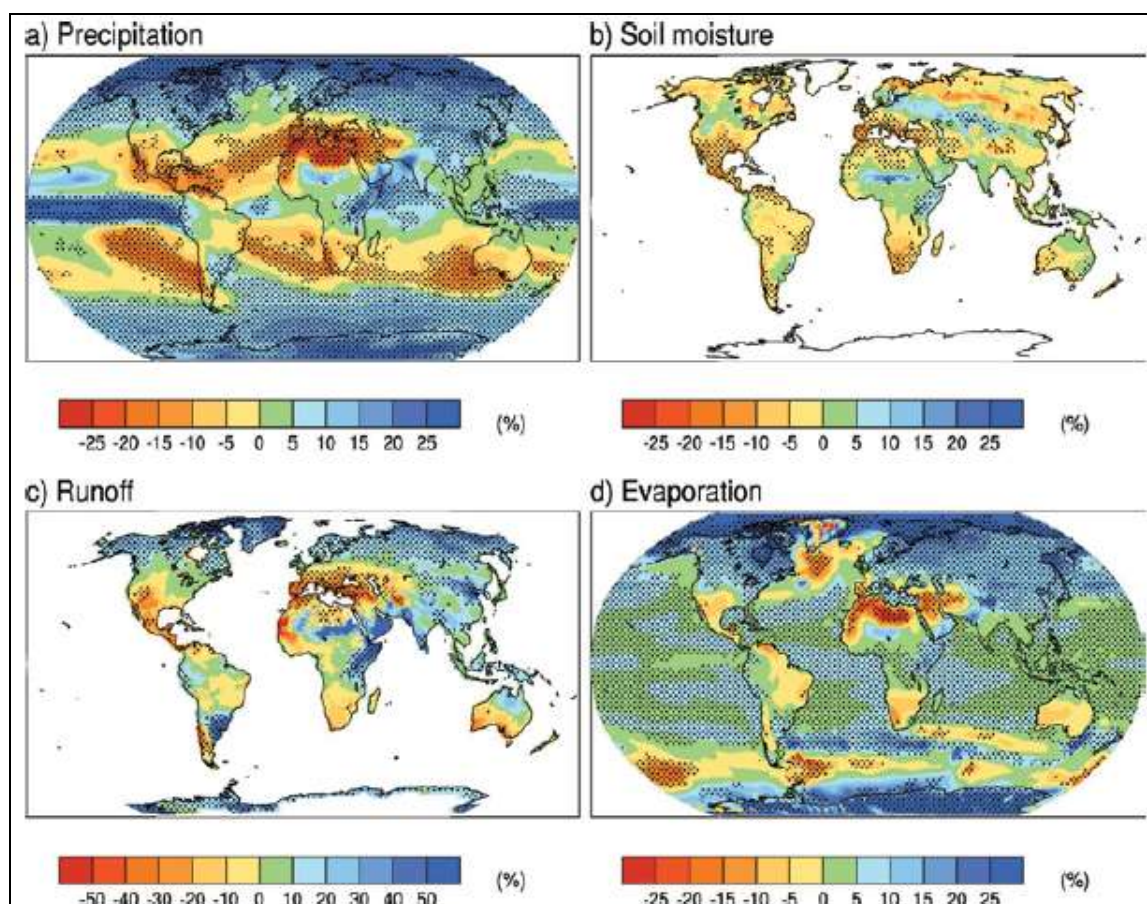


Figura 2.4 Scenari di variazione delle precipitazioni, dell'umidità del suolo, del deflusso superficiale e dell'evaporazione (in percentuale) per il periodo 2090-2099, rispetto al periodo 1980-1999. Modello integrato elaborato dall'IPCC (IPCC, 2007)

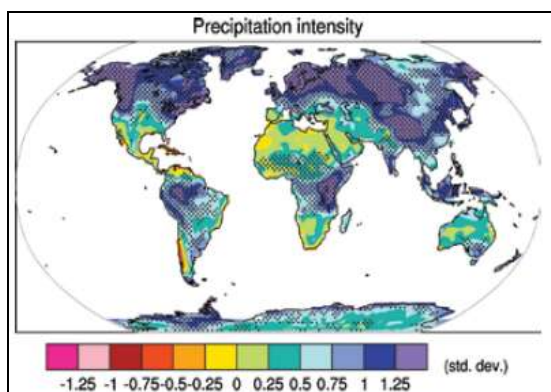


Figura 2.5 Scenario di variazione della intensità delle precipitazioni (deviazione standard) per il periodo 2090-2099, rispetto al periodo 1980-1999. Modello integrato elaborato dall'IPCC (IPCC, 2007)

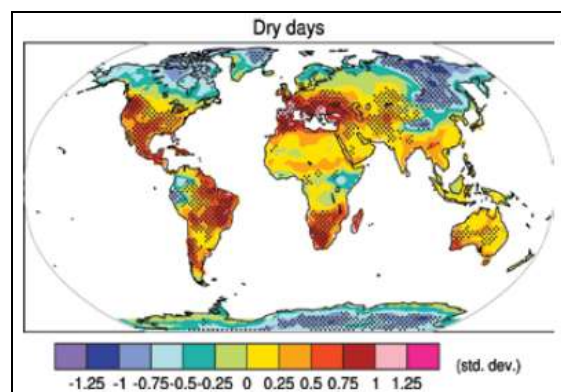


Figura 2.6 Scenario di variazione della frequenza di giornate secche (deviazione standard) per il periodo 2090-2099, rispetto al periodo 1980-1999. Modello integrato elaborato dall'IPCC (IPCC, 2007)

Secondo le previsioni dell'IPCC, l'innalzamento della temperatura terrestre potrebbe determinare un aumento del livello degli oceani variabile tra 10 cm e 50 cm nei prossimi 100 anni, a causa sia dell'espansione fisica delle acque oceaniche dovuta agli aumenti termici degli strati superficiali, che del maggior apporto di acque conseguente allo scioglimento dei ghiacciai continentali. Il livello, la grandezza e la direzione delle acque varieranno moltissimo a livello locale e regionale, adeguandosi alla conformazione costiera, alla modifica e alterazione delle correnti, alle maree e ai movimenti verticali della crosta terrestre.

Le osservazioni fatte dal 1961 rivelano un aumento della temperatura media degli oceani fino a una profondità di 3000 m, ed il fatto che l'oceano stia attualmente assorbendo più dell'80% del calore aggiunto al sistema climatico.

Il livello medio globale dei mari è cresciuto a un tasso medio di 1.8 mm per anno dal 1961 al 2003. Il tasso di crescita è stato più veloce durante il periodo 1993-2003, circa 3.1 mm per anno (IPCC, 2007)

I ghiacciai continentali sono sempre più ridotti e l'estensione del ghiaccio artico del mare è costantemente diminuita del 2,7 % per decennio dal 1978 (IPCC, 2007).

Visti i trend relativi agli andamenti della temperatura media del pianeta e il ritmo di scioglimento dei ghiacci, l'innalzamento dei mari suscita molta preoccupazione nella comunità scientifica, sia per i livelli associati agli scenari previsti, ma anche per la natura inerziale del fenomeno: anche se si arrivasse a stabilizzare le concentrazioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera, l'espansione termica continuerebbe per molti secoli, a causa del tempo necessario al calore per essere trasportato nelle profondità degli oceani (IPCC 2007).

Le conseguenze dell'innalzamento del livello del mare, come inondazioni ed erosione della costa, potrebbero essere molto gravi, considerando il fatto che il 65% delle metropoli con oltre 2.5 milioni di abitanti sono situate lungo le coste.

Inoltre, destano molte preoccupazioni anche i prevedibili impatti del fenomeno sul regime idrogeologico di molti territori costieri a seguito della contaminazione delle falde acquifere per salinazione: la disponibilità di acqua dolce, da cui dipendono i relativi insediamenti costieri, subirebbe significative riduzioni, con impatti importanti anche sulle produzioni agricole e sui processi di desertificazione in atto (Hay, 2004).

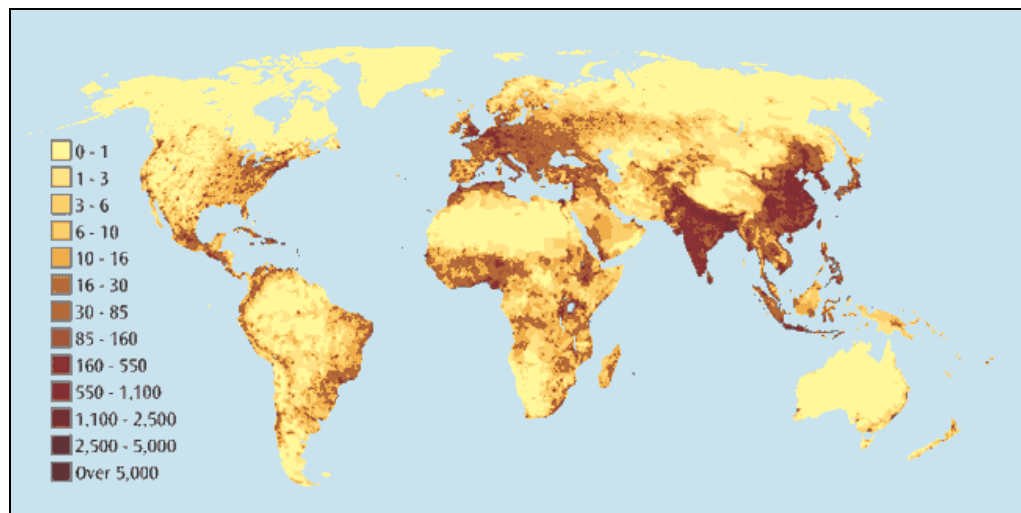


Figura 2.7 Distribuzione delle popolazione mondiale

A causa dell'aumento delle temperature delle acque superficiali, marine ed oceaniche, i cicloni tropicali potranno divenire più frequenti ed intensi, estendendosi anche alle fasce marginali delle zone temperate.

L'aumento della temperatura implica anche maggiori quantità di energia all'interno dell'atmosfera. La circolazione generale dell'atmosfera ne potrebbe risultare stravolta, ed i grandi centri di alta o bassa pressione come l'anticiclone delle Azzorre o il ciclone d'Islanda potrebbero cambiare la loro posizione.

Infine, mentre da un lato si potrà assistere ad una moltiplicazione delle alluvioni e degli uragani, dall'altro diventeranno più duraturi i periodi di siccità, provocando l'inesorabile avanzamento dei deserti (IPCC, 2007).

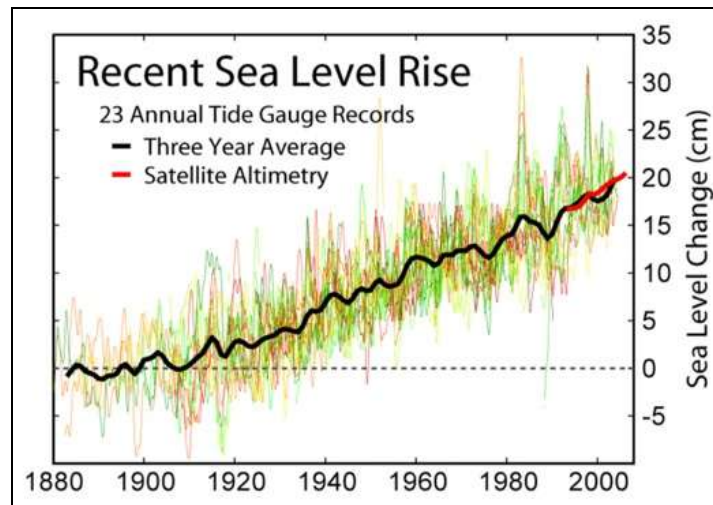


Figura 2.8 Innalzamento del livello medio del mare negli ultimi 130 anni (IPCC, 2007)

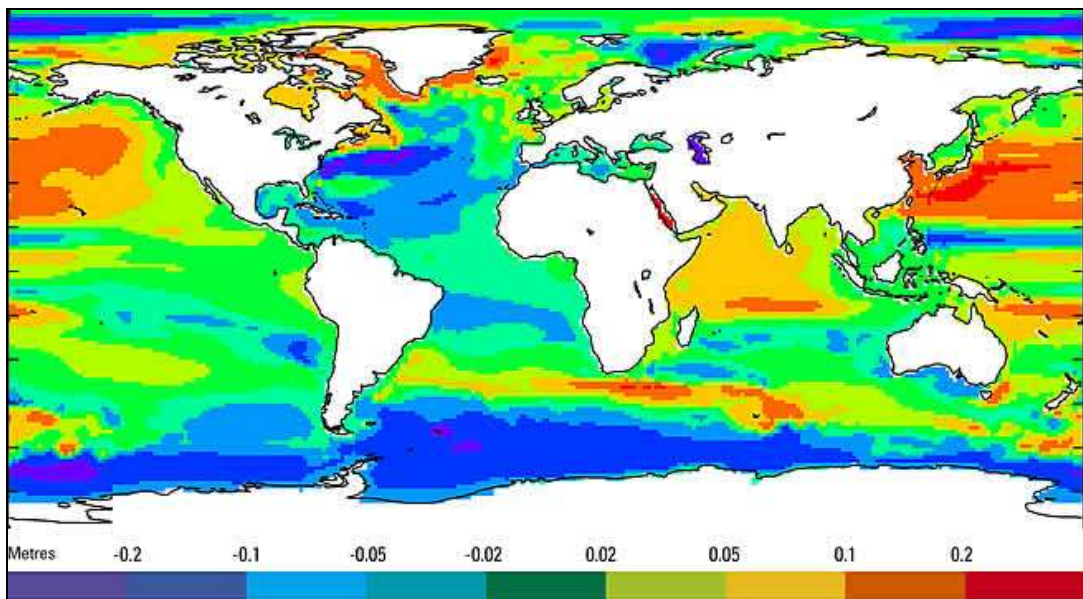


Figura 2.9 Scenario di variazione del livello dell'oceano per il periodo 2090-2099, rispetto al periodo 1980-1999, secondo il modello elaborato dall'IPCC. Le variazioni puntuali vanno considerate rispetto al livello medio generale (IPCC, 2007)

Come è stato già sostenuto, i modelli previsionali elaborati dall'IPCC, non sono da considerarsi "infallibili".

Il clima globale è un sistema complesso, del quale è possibile sviluppare solamente ipotesi sulle tendenze future.

Al di là della ricerca scientifica sui rapporti tra maggiori emissioni di gas serra nell'atmosfera e cambiamenti climatici sono sempre più diffusi programmi internazionali di ricerca diretti a costruire scenari ipotetici sugli effetti dei cambiamenti sulle società umane.



In generale, la comunità scientifica internazionale ha classificato i cambiamenti climatici come un “moltiplicatore di minacce” che accelera e ingigantisce tendenze, tensioni e instabilità esistenti.

Le conseguenze associate ai cambiamenti climatici spesso incombono su Stati e Regioni già di per se fragili, che sarebbero particolarmente vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici stessi, sul piano sia ambientale che istituzionale e socio-economico. In generale, le comunità più povere sono maggiormente dipendenti dalle risorse sensibili al clima, come le risorse locali di acqua e cibo.

In particolare, la maggior parte degli Stati dell’Africa, per fattori fisici (come la scarsità idrica in alcune aree del continente), motivi sociali (povertà diffusa e dipendenza di grande parte della popolazione dall’agricoltura per la sussistenza) e politici (fragilità istituzionale e incapacità nel realizzare politiche di adattamento e prevenzione), potrebbero essere particolarmente vulnerabili agli effetti dei cambiamenti climatici. La produzione e l’occupazione in agricoltura sono, infatti, la colonna portante di molte economie nazionali africane. In generale, nei paesi del sud del mondo, il settore agricolo rappresenta oltre un terzo degli utili delle esportazioni, e quasi la metà dell’occupazione.

Secondo gli scenari elaborati dall’IPCC, nell’Africa subsahariana si prevede che i cambiamenti climatici ridurranno ulteriormente la disponibilità di acqua per via di siccità più frequenti, di una maggiore evaporazione, di variazioni nei regimi pluviometrici e nelle acque di scorrimento superficiali.

Tali fattori potrebbero indurre ad un aumento diffuso delle condizioni di stress idrico (secondo le proiezioni al 2020, tra 75 e 250 milioni di persone saranno esposte ad un incremento dello stress idrico), ed a perdite consistenti nella produzione agricola, con conseguenze negative sulla sicurezza del cibo (aumento della malnutrizione) e minori opportunità di profitto (e sussistenza) per le popolazioni più povere.

Infatti le proiezioni indicano che in molti Paesi e Regioni Africane la produzione agricola potrà essere seriamente compromessa dai cambiamenti e dalla variabilità del clima. Viene previsto che potrebbero diminuire le aree disponibili per usi agricoli, la lunghezza della stagione di crescita ed il potenziale raccolto, specialmente nelle aree marginali dei territori aridi o semi-aridi. In alcuni Paesi, i raccolti agricoli fortemente dipendenti dalle piogge potrebbero ridursi fino al 50% nel 2020 (IPCC, 2007).

Un altro gruppo importante di paesi particolarmente a rischio è costituito dai piccoli Stati insulari (*Small Island Development States*, SIDS), che per via delle loro caratteristiche geografiche vivono i cambiamenti climatici (e soprattutto i rischi associati al previsto innalzamento del livello del mare) come una minaccia alla loro stessa esistenza.

In generale, secondo le proiezioni elaborate dall’IPCC, l’esposizione futura ai cambiamenti climatici potrebbe influenzare lo stato di salute di milioni di persone, soprattutto nei paesi del sud del mondo, ed in particolare tra le comunità con bassa capacità di adattamento, attraverso:

- un aumento della malnutrizione e conseguenti disordini sullo stato di salute (crescita e sviluppo dei bambini);
- aumenti della mortalità, di malattie e ferite, dovuti a ondate di calore, inondazioni, tempeste, incendi e siccità;
- un aumento delle malattie diarroiche;

- un aumento della frequenza delle malattie cardio-respiratorie, a causa di maggiori concentrazioni a livello del suolo di ozono legato ai cambiamenti climatici;
- cambiamenti della distribuzione spaziale dei vettori di alcune malattie infettive (malaria).

Nella Tabella 2.1 sono riassunti i possibili impatti dei cambiamenti climatici dovuti a variazioni negli eventi meteorologici e climatici estremi, in base alle proiezioni per la metà e alla fine del XXI secolo, non prendono in considerazione nessun mutamento o sviluppo della capacità di adattamento (IPCC, 2007).

| Fenomeni <sup>a</sup> e direzione del trend                                                                                                                                     | Probabilità dei trend futuri in base alle proiezioni per il XXI secolo usando scenari SRES | Esempi dei maggiori impatti per settore, in base alle proiezioni                                                              |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                 |                                                                                            | Agricoltura, foreste e ecosistemi [4.4,5.4]                                                                                   | Risorse idriche [3.4]                                                                                                                                | Salute umana [8.2]                                                                                                                                 | Industria/ Insediamenti/ Società [7.4]                                                                                                                                                                                                             |
| Aumento della frequenza e riscaldamento di giorni e notti calde, e diminuzione del numero e riscaldamento di giorni e notti fredde, sopra la maggior parte delle aree terrestri | Virtualmente certo <sup>b</sup>                                                            | Aumento dei raccolti negli ambienti più freddi; diminuzione negli ambienti più caldi; aumento delle invasioni di insetti      | Effetti sulle risorse idriche dipendenti dallo scioglimento delle nevi; effetti su alcune risorse idriche                                            | Ridotta mortalità umana per una minore esposizione al freddo                                                                                       | Riduzione della domanda energetica per il riscaldamento; aumento della domanda per il raffreddamento; peggioramento della qualità dell'aria nelle città; minori interruzioni dei trasporti dovuti a neve e ghiaccio; effetti sul turismo invernale |
| Aumenti della frequenza delle giornate di caldo / ondate di calore, sopra la maggior parte delle aree terrestri                                                                 | Molto probabile                                                                            | Raccolti ridotti nelle regioni più calde a causa di stress da calore; aumento del pericolo di incendi                         | Aumento della domanda di acqua; problemi di qualità delle acque (per es. bloom di alghe)                                                             | Aumento del rischio di mortalità legata al calore, specialmente per gli anziani, i malati cronici, i bambini e i socialmente isolati               | Riduzione della qualità della vita per le persone nelle aree calde senza un'abitazione adeguata; impatti sugli anziani, sui bambini e sui poveri                                                                                                   |
| Aumenti della frequenza degli eventi di forte precipitazione, sopra la maggior parte delle aree                                                                                 | Molto probabile                                                                            | Danni alle coltivazioni; erosione del suolo, impossibilità di coltivare alcune terre a causa dell'allagamento del suolo       | Effetti negativi sulla qualità delle acque di superficie e sotterranee; contaminazione delle risorse idriche; la scarsità di acqua può essere minore | Aumento del rischio di morte, ferite, infezioni, malattie respiratorie e della pelle                                                               | Disordini negli insediamenti, nel commercio, nei trasporti e nelle società dovuti a inondazioni; pressioni sulle infrastrutture urbane e rurali; perdita di proprietà                                                                              |
| Aumento delle aree affette da siccità                                                                                                                                           | Probabile                                                                                  | Degrado del suolo; minori raccolti, danni alle coltivazioni; aumento della moria di bestiame; aumento del pericolo di incendi | Più diffuso stress idrico                                                                                                                            | Aumento del rischio di scarsità di cibo e acqua; aumento del rischio di malnutrizione; aumento del rischio di malattie provenienti da acque e cibo | Scarsità di acqua per gli insediamenti, l'industria e le società; riduzione del potenziale di energia idroelettrica; potenziali migrazioni delle popolazioni                                                                                       |
| Aumento dell'attività dei cicloni tropicali intensi                                                                                                                             | Probabile                                                                                  | Danni ai raccolti; sradicamento di alberi; danni alle barriere coralline                                                      | Interruzioni della corrente elettrica, che causano interruzioni nelle forniture pubbliche di acqua                                                   | Aumento del rischio di morte, ferite, malattie provenienti da acque e cibo; disordini da stress post-traumatico                                    | Disordini dovuti alle inondazioni e ai venti forti; recesso da parte delle compagnie di assicurazione delle coperture dei rischi nelle aree vulnerabili; potenziali migrazioni delle popolazioni; perdita di proprietà                             |
| Aumento dell'incidenza degli eventi estremi di innalzamento del livello del mare (esclusi gli tsunami) <sup>c</sup>                                                             | Probabile <sup>a</sup>                                                                     | Salinizzazione delle acque di irrigazione, di estuari e sistemi di acqua dolce                                                | Minor disponibilità di acqua a causa dell'intrusione di acque salate                                                                                 | Aumento del rischio di morte e ferite da annegamento durante le inondazioni; migrazioni legate agli effetti sulla salute                           | Trasferimento dei costi di protezione costiera verso i costi di riutilizzo delle terre; potenziali spostamenti di popolazioni e infrastrutture; vedi anche cicloni tropicali sopra                                                                 |

Tabella 2.1 Possibili impatti dei cambiamenti climatici dovuti a cambiamenti negli eventi meteorologici e climatici estremi, in base alle proiezioni per la metà e alla fine del XXI secolo (IPCC, 2007)

## 2.2. Il cambiamento climatico e le risorse idriche nelle aree costiere

### 2.2.1. Gli effetti del cambiamento climatico sulle risorse idriche

Essendo l'acqua parte integrante del sistema climatico terrestre (atmosfera, idrosfera, biosfera, criosfera e superficie terrestre), i possibili mutamenti climatici in atto potrebbero incidere fortemente sulla quantità e qualità della risorsa idrica disponibile, inducendo ad alterazioni nei cicli idrologici.

I dati e le proiezioni climatiche elaborate dall'IPCC mostrano, con grande evidenza, come la risorsa idrica (idropotabile) sia estremamente vulnerabile ai possibili impatti del cambiamento climatico.

Tale vulnerabilità potrebbe incidere profondamente sulle società umane e sugli ecosistemi.

Le plausibili alterazioni del ciclo idrologico, collegate ai possibili cambiamenti climatici sono riconducibili a numerosi fattori, quali:

- Le modifiche nella struttura degli eventi e nel regime delle precipitazioni, nonché l'estremizzazione delle condizioni climatiche (riduzione della piovosità estiva, aumento di quella invernale).
- L'aumento del rischio di eventi meteorologici estremi.
- L'anticipazione, l'intensificazione ed il prolungamento dello scioglimento nivo-glaciale, nonché la riduzione delle precipitazioni nevose.
- L'incremento dei volumi di evaporazione e l'alterazione del contenuto idrico nel suolo (diretta conseguenza delle modificazioni subite dai processi di precipitazione ed evaporazione), che potrebbero indurre ad un aumento dell'aridità dei suoli e dei fenomeni siccitosi.

| Variabile Climatica/Idrologica                       | Processo Idrologico alterato dai C.C.      | Modulo del modello matematico in continuo                                                               | Sensibilità |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Precipitazione                                       | Tasso di pioggia e frequenza dei nubifragi | Durata, intensità media e occorrenza dei nubifragi; Fluttuazioni spazio-temporali dei regimi di pioggia | ALTA        |
| Temperatura                                          | Stato di umidità del suolo                 | Imbibimento iniziale del suolo                                                                          | MODESTA     |
| Umidità del Suolo                                    | Processi SVAT                              | Imbibimento iniziale del suolo                                                                          | ALTA        |
| Temperatura-<br>Precipitazione-<br>Umidità del Suolo | Produzione di deflusso                     | Eccesso di infiltrazione e/o Saturazione                                                                | MEDIA       |
| Temperatura-<br>Precipitazione-<br>Irraggiamento     | Manto nevoso                               | Scioglimento nivale                                                                                     | ALTA        |
| Deflusso superficiale                                | Risposta idrografica                       | Dispersione geomorfologica                                                                              | MODESTA     |
| (Fonte: Rosso, 2007)                                 |                                            |                                                                                                         |             |

Tabella 2.2 Sensibilità ai cambiamenti climatici dei principali processi idrologici (ISMEA, 2009)

In generale, la marcata tendenza alla trasformazione dei regimi pluvio-nivali in regimi pluviali (maggior dipendenza dalle piogge in conseguenza del minor apporto dello scioglimento nivale), correlata al mutato andamento dello stato di umidità del terreno, potrebbe indurre ad una diminuzione del deflusso superficiale medio annuo, alla modificazione della ciclo-stagionalità

dei corsi d'acqua superficiali (incremento nei volumi di piena, correlato ad una diminuzione della portata media), nonché alla riduzione del tasso annuo di ricarica delle falde acquifere (aumento del deficit idrologico) (IPCC, 2007). Inoltre, i problemi relativi all'erosione del suolo potrebbero accentuarsi a causa del generale ampliamento della fascia di variazione dei valori delle grandezze idrometeorologiche, quali le caratteristiche di intensità e durata degli eventi di pioggia. La Tabella 2.2 riassume la sensitività ai cambiamenti climatici dei principali processi idrologici.

Le acque sotterranee rappresentano un importante elemento del ciclo idrologico, essendo una sorgente cruciale per gli ecosistemi costieri e per le aree umide, oltre che la maggiore fonte di approvvigionamento per le regioni aride e semiaride della Terra.

Gli effetti del cambiamento climatico sulla disponibilità della risorsa idrica sotterranea potranno produrre una maggiore vulnerabilità degli acquiferi nelle regioni alle medie e basse latitudini dell'emisfero nord fino alla fascia sub-equatoriale.

Tale vulnerabilità deve essere vista sotto il duplice aspetto dell'esaurimento dell'acquifero e del rischio di un suo progressivo inquinamento causato sia dal peggioramento del rapporto di diluizione tra acqua ed inquinanti derivanti dalle attività domestiche, agricole e industriali, che dalla possibile intensificazione del fenomeno di intrusione marina negli acquiferi costieri.

In generale, le modificazioni nelle caratteristiche dei regimi pluviometrici alterano sia la quantità di ricarica, che la durata della stagione di ricarica. Ne consegue che un incremento delle piogge invernali potrà dar luogo ad aumenti della ricarica dei corpi idrici sotterranei; per contro, una temperatura più alta provocherà una maggiore evaporazione e quindi condizioni persistenti di deficit idrico nel suolo (Holam, 2006).

Inoltre, anche l'aumento del livello del mare potrà produrre un impatto riflesso sugli acquiferi costieri, come la risalita del cuneo salino conseguente all'intensificarsi dei fenomeni erosivi della costa (Hay et al., 2005). In tali aree la riduzione delle precipitazioni accoppiata con l'aumento del livello del mare potrebbe provocare una diminuzione del volume utilizzabile di acqua.

Ad ogni modo, la descrizione e la previsione dei possibili effetti del cambiamento climatico sui sistemi idrologici rimane, in un certo senso, puramente ipotetica, e vincolata ad una scala globale. Le diverse componenti del ciclo idrologico determinano, infatti, alterazioni nel regime difficilmente prevedibili a priori.

L'incertezza e la scarsa disponibilità di dati, le profonde differenze a scala di bacino regionale, nonché i differenti fattori antropici (politiche ed attività economiche, processi di urbanizzazione ed aumento di impermeabilizzazione del suolo, tipologie di sfruttamento della risorsa idrica) rendono estremamente complicato prevedere i possibili sviluppi delle variabili idrologiche, soprattutto a scala locale.

Infatti, gli studi di impatto sulle risorse idriche superficiali delle variazioni climatiche si possono considerare ancora in una fase iniziale e tutt'altro che esaustiva, in quanto basati sull'uso di modelli di simulazione dei processi idrologici di base, senza l'ausilio di osservazioni statisticamente significative.

La via attualmente percorsa risulta quella di individuare e caratterizzare a livello qualitativo i processi idrologici ed eco-idrologici maggiormente esposti alle perturbazioni di medio e lungo termine del clima (ISMEA, 2009).



Anche nel caso della risorsa idrica sotterranea, le ricerche svolte sui potenziali impatti a seguito di cambiamenti climatici sono piuttosto limitate. Uno dei limiti oggettivi delle attuali conoscenze dei sistemi idrogeologici sta proprio nella difficoltà di separare gli effetti delle alterazioni climatiche dalle altre forzanti, soprattutto di tipo antropico, legate allo sfruttamento crescente di tale risorsa (ISMEA, 2009).

Secondo le previsioni dell'IPCC, i cambiamenti climatici causeranno un aumento tra il 10% e il 40% della disponibilità di acqua nelle latitudini più elevate, mentre la disponibilità potrebbe ridursi dal 10% al 30% in alcune zone aride e semi-aride delle medie e basse latitudini.

Paradossalmente ci sarebbe maggior quantità d'acqua nelle zone dove attualmente le risorse idriche sono già abbondanti e minor quantità d'acqua dove attualmente la carenza di risorse idriche è già un grave problema.

La crescente scarsità d'acqua, unitamente all'incremento della popolazione ed alla degradazione degli ecosistemi, potrà determinare un accrescimento delle problematiche sociali, soprattutto nei paesi del sud del mondo, dove la disponibilità di risorsa idrica è piuttosto limitata.

L'acqua è una risorsa essenziale per tutte le attività umane, dall'agricoltura e l'allevamento alle attività industriali. A livello globale, attualmente circa il 70% dell'offerta di acqua dolce è utilizzata per l'agricoltura, il 22% per il settore industriale ed energetico, e solo l'8% è utilizzato per il consumo diretto delle persone (CESPI, 2010).

Un accesso sicuro e sostenibile alla risorsa idrica, vale a dire la sicurezza idrica in senso lato, è una condizione su cui si basa lo sviluppo umano. In generale, i cambiamenti climatici si potrebbero sovrapporre a problemi più ampi che affliggono i sistemi idrici, come l'eccessivo sfruttamento o il deterioramento della qualità, aumentando le criticità.

Circa un terzo della popolazione globale vive attualmente in paesi che soffrono di livelli moderati o estremi di *water stress*: nel 2006 circa 1,1 miliardi di persone non aveva accesso ad alcuna fonte sicura di acqua ed oltre 2,6 miliardi di persone non posseggono servizi fognari.

Anche in assenza dei cambiamenti climatici, l'insicurezza nell'accesso all'acqua è destinata ad aggravarsi in gran parte del pianeta: la popolazione mondiale cresce attualmente di circa 80 milioni di persone all'anno, il che implica un aumento considerevole della domanda di acqua dolce. Inoltre, circa il 90% dell'aumento di popolazione di circa 3 miliardi di persone previsto entro il 2050 sarà concentrato nei paesi del sud del mondo, molti dei quali sono già afflitti da mancanza d'acqua (CESPI, 2010).

La disponibilità d'acqua ha un impatto diretto sulla povertà e sulla sanità. La mortalità infantile è particolarmente associata alla mancanza di fonti sicure di acqua. Dall'altra parte, si prevede che i cambiamenti nei regimi pluviali potrebbero portare malattie, come la malaria, in regioni dove attualmente non è presente. Questa recrudescenza e diffusione della malaria è particolarmente grave per l'Africa Sub-Sahariana, dove circa un milione di persone muoiono ogni anno a causa di malaria (CESPI, 2010).

Inoltre il mancato accesso ad un'acqua di buona qualità è riconosciuto come uno tra i più importanti fattori di rischio per infezioni come la diarrea e altre malattie gastrointestinali.

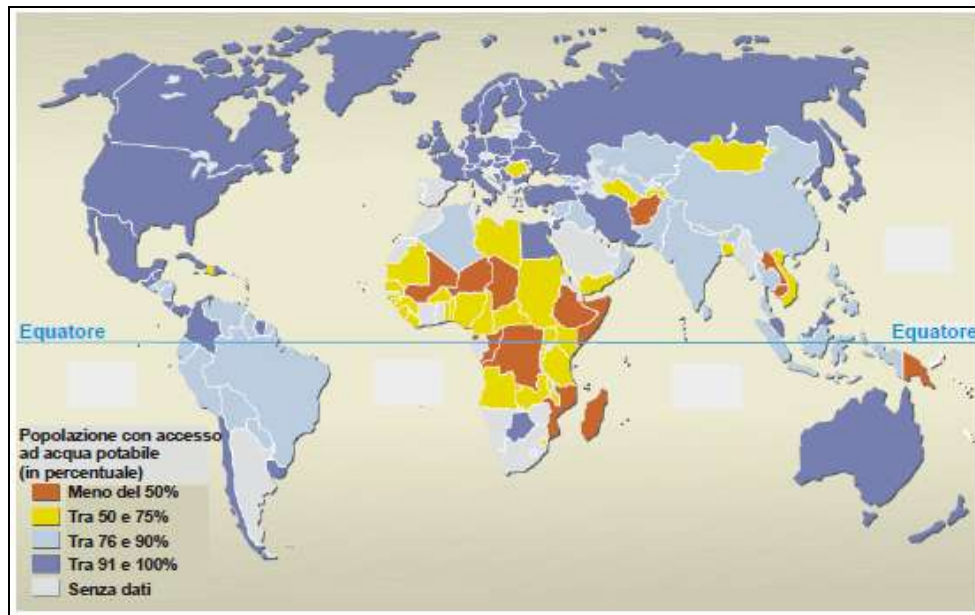


Figura 2.10 Popolazione con accesso ad acqua potabile (CESPI, 2010)

In generale, la distribuzione delle risorse idriche sulla Terra è molto irregolare e varia da Stato a Stato.

La tendenziale diminuzione delle disponibilità pro capite di acqua dolce potrà subire brusche accelerazioni, indotte dai numerosi fattori che contribuiscono all'insorgere di condizioni di emergenza idrica. Tra questi:

- La domanda crescente di acqua dolce indotta dall'attuale sviluppo sociale ed economico, ovvero dal conseguente forte incremento di produzione e diversificazione di beni e servizi.
- I poderosi incrementi demografici, che in genere avvengono proprio nei paesi dove è più limitata la disponibilità d'acqua.
- La crescita della richiesta di servizi idrici di base indotta dagli imponenti fenomeni di concentrazione urbana.
- L'incremento delle superfici irrigue per far fronte alla produzione di derrate alimentari di interesse mondiale.
- Il degrado delle acque dolci annualmente rinnovabili (superficiali e sotterranee) a seguito di contaminazioni da varie tipologie di sostanze inquinanti.
- L'alterazione della capacità del terreno di assorbire le acque meteoriche, causata da processi di erosione e desertificazione del suolo.
- L'alterazione del regime delle precipitazioni causata dai disordini climatici

Si tratta di fattori strettamente interconnessi, e destinati ad aggravare la già preoccupante situazione idrica mondiale. Già 1 miliardo di persone sono afflitte dalla scarsità di risorse idriche rinnovabili. Secondo le previsioni, il totale delle persone che vivono in condizioni di ristrettezza idrica si aggirerà intorno ai 3 miliardi nel 2025 e potrebbe raggiungere i 4.5 miliardi nel 2050. Si stima che in Africa, nel 2025, le persone colpite dall'emergenza potranno essere più di 1 miliardo, ossia 2/3 della popolazione complessiva stimata per il continente (UNDP, 2007).

Tali numeri mostrano come la questione dell'emergenza idrica sia una delle sfide più significative e complesse per la società del XXI secolo.

### 2.2.2. *I processi di degradazione delle aree costiere: tra urbanizzazione e cambiamento climatico*

Le fasce costiere rappresentano senza dubbio gli ambienti più dinamici e variabili della Terra.

A livello ambientale ed ecologico, si distinguono per la variabilità della distribuzione dei rilievi, delle caratteristiche geo-litologiche, dei lineamenti morfologici (dalle coste alte e rocciose alle coste basse sabbiose, agli estuari ed ai delta), delle tipologie e distribuzioni vegetazionali (dalle coperture agricole a quelle forestali), dei regimi climatici (piogge, venti e temperature), delle caratteristiche dei reticoli idrografici che sfociano nel mare (dai grandi fiumi deltizi, fino ai piccoli torrenti), delle risorse idriche esistenti e disponibili (superficiali e sotterranee), nonché della varietà e ricchezza di ecosistemi peculiari (zone umide, lagune, paludi, stagni costieri, “aree di transizione”) e biodiversità.

Essendo gran parte della popolazione terrestre e delle attività economiche concentrate proprio nelle aree costiere, gli ambienti litoranei fanno parte degli ecosistemi più vulnerabili e minacciati su scala mondiale.

Infatti i paesaggi costieri, oltre che per il loro valore ambientale ed ecologico, si differenziano anche per la varietà delle modalità di uso e di gestione delle risorse naturali da parte dell'uomo, per il grado di artificializzazione e le tipologie di infrastrutture terrestri e marittime presenti (città, porti commerciali e turistici, impianti di produzione di gas, raffinerie, centrali termoelettriche, aeroporti, impianti per la dissalazione delle acque, ecc.), per la densità e le pressioni demografiche, per l'intensità dei processi produttivi, turistici e di sviluppo (con i conseguenti scarichi inquinanti), così come per il livello di protezione ambientale attivato dagli Stati attraverso normative e controlli.

Le zone costiere a bassa elevazione ospitano circa 600 milioni di persone nel mondo (circa 10% della popolazione mondiale) e 15 delle 20 megacittà (con una popolazione di oltre 10 milioni di abitanti) esistenti oggi (Buenos Aires, Cairo, Dacca, Istanbul, Karachi, Los Angeles, Manila, Mumbai, New York, Osaka, Rio de Janeiro, São Paulo, Seul, Shanghai e Tokyo).

Il crescente sfruttamento delle aree costiere da parte dell'uomo non ha fatto altro che accelerare certi processi dannosi (erosione costiera, inquinamento, aumento di intrusione salina nella falda acquifera, perdita di zone umide) per gli ambienti litoranei, interrompendo la naturale dinamica evolutiva e favorendo la perdita di habitat naturali e biodiversità.

Evidentemente, gli effetti delle pressioni antropiche sono da ricondursi al continuo processo di urbanizzazione ed espansione demografia in atto nelle aree costiere (il tasso di crescita delle città costiere è superiore alla media), a cui è collegata la contestuale crescita di attività economiche (agricole e industriali), turistiche e ricreative che comportano inquinamento del suolo e delle acque, erosione delle coste, aumento dei consumi idrici, impermeabilizzazione del suolo e disboscamento.

In generale, le possibili conseguenze dei cambiamenti climatici, come l'aumento del livello dell'oceano, il cambiamento nei regimi pluviometrici, l'innalzamento della temperatura media terrestre (sia nell'atmosfera che nell'idrosfera), il rischio maggiore di inondazioni e siccità, possono rappresentare, nel medio e lungo periodo, ulteriori fattori critici per gli ambienti costieri. Allo scopo di individuare le cause della degradazione costiera e di contrastarne gli effetti, soprattutto tenendo conto dei cambiamenti climatici, le coste non possono essere schematizzate come “rigide strisce di mare e terra”, ma devono essere inevitabilmente connesse ad ambiti

territoriali comprendenti anche le aree interne (zone di alimentazione, corsi d'acqua e relative fasce di pertinenza).

In tal modo è infatti possibile non solo tenere conto delle diverse variabili (clima, sviluppo, attività antropiche) che innescano l'insieme dei processi responsabili delle modificazioni delle zone costiere, ma anche quantificare i legami tra acqua, territorio, suolo, uso del suolo, ed ecosistemi (cioè tutti gli aspetti del trasporto sedimenti/acqua/organismi) (ISMEA, 2009).

In generale, l'attuale trend della dinamica costiera indica un deciso incremento del processo erosivo delle coste e una riduzione delle aree in accrescimento (70% in erosione, 20% stabili, 10% in accrescimento) (IPCC, 2007).

Questa tendenza ha comportato l'esposizione a rischio dei beni realizzati in prossimità di tratti costieri (centri urbani, strade, ferrovie, ecc.) e numerose altre conseguenze, come la distruzione di aree ad alto valore ambientale, la velocizzazione del processo di ingressione marina, nonché l'aumento della profondità dei fondali delle spiagge sommerse a causa dell'allontanamento della sabbia verso il largo.

Il protendimento o l'erosione di un tratto di costa (se le cause geo-eustatiche non sono rilevanti, cioè se il livello relativo mare-terra è costante), sono infatti generalmente da mettere in relazione a 2 bilanci:

- Il bilancio di massa, concernente la disponibilità di sedimenti prodotti nel bacino e la resa sulla costa fornita dal trasporto solido dei fiumi, dalle frane costiere, o dall'immagazzinamento nella parte sommersa o in quella emersa della spiaggia (tomboli, barre, dune).
- Il bilancio di energia, concernente l'energia del vento o l'energia del mare in prossimità della linea di riva, nella componente parallela e ortogonale alla costa, in condizioni meteo prevalenti e in quelle eccezionali (eventi estremi, burrasche). Riguarda il trasporto o la rimozione dei sedimenti attraverso processi conservativi o dissipativi.

Il fenomeno è estremamente complesso (dipende dalle caratteristiche e dimensioni dei sedimenti e dalle forme litoranee), ed evidentemente i bilanci possono essere modificati da fattori naturali o antropici.

I fattori naturali, che determinano le modificazioni dell'assetto dei materiali che costituiscono il sensibilissimo elemento costiero, sono da ricondurre a movimenti glacioeustatici, ai fenomeni geodinamici, tettonici e morfologici, alle caratteristiche del moto ondoso e delle correnti, ai bassi fondali, al sollevamento del livello del mare nella zona di riva durante una mareggiata, ed infine al clima.

Per quanto riguarda i fattori antropici che producono protendimenti o arretramenti occorre distinguere tra azioni realizzate sulla costa (opere a mare e portuali) che mettono in gioco il bilancio di energia, e azioni realizzate nei bacini interni, che operano sul bilancio di massa.

Le prime sono responsabili di alterazioni dell'equilibrio morfodinamico costiero. Spesso opere rigide costruite per la difesa della costa o per insediamenti nautici commerciali o turistici hanno innescato erosioni delle spiagge limitrofe, ostacolando il trasporto naturale dei sedimenti lungo la riva.

Le seconde devono ricondursi a opere che di fatto hanno diminuito o eliminato la possibilità dell'apporto di sedimenti verso il mare proveniente dalle zone retrostanti. All'interno di questo gruppo devono essere comprese tutte quelle opere conseguenti alla urbanizzazione e

infrastrutturazione della costa (opere urbane, di trasporto, strade costiere o di fondovalle) (ISMEA, 2009).

Per quanto riguarda i fattori che agiscono limitando o impedendo gli apporti sedimentari da parte dei corsi d'acqua, essi possono dipendere da cause ed interventi antropici anche molto diversi fra loro, come:

- Variazioni agricole o di uso del suolo.
- Opere di sistemazioni idraulico-forestali.
- Dighe, traverse, e invasi artificiali, che intercettano i sedimenti a monte.
- Opere di restringimento degli alvei, realizzate su corsi d'acqua non sbarrati da dighe, con lo scopo di incrementare il suolo disponibile per uso agricolo.
- Estrazione e prelievo di inerti e sedimenti dagli alvei attivi (per attività edilizia).
- Il prelievo dell'acqua dai fiumi per esigenze agricole, potabili e industriali.
- La modificazione delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua.
- La distruzione dei cordoni dunali.

Deve essere inoltre sottolineato che l'arretramento della costa porta con sé un'altra nefasta conseguenza: l'arretramento del fronte di ingressione dell'acqua salata, con ulteriori gravissimi danni all'ecosistema e alle attività produttive e, in particolare, all'agricoltura (ENEA, 2006). Tale circostanza è ulteriormente esasperata, nelle regioni a scarsità idrica, dai prelievi di acqua sotterranea, spesso l'unica sostanziale risorsa idrica disponibile. Il problema della salinizzazione delle falde è un problema diffuso e molto condizionante per lo sviluppo di tante aree tropicali e subtropicali, soprattutto nelle grandi città nei paesi del sud del mondo.

L'aumento della pressione demografica nelle aree costiere determina una riduzione ed una degradazione dei suoli arabili procapite. L'agricoltura è dunque una delle "vittime" importanti dei cambiamenti originati dal sovrasviluppo delle coste, ed in particolare le aree agricole periurbane risultano sempre più aggredite dall'avanzare dei processi di urbanizzazione.

Infatti lo stato dei territori agricoli costieri è dominato dalla questione idrica (qualità e quantità d'acqua) e dai conflitti che derivano dai suoi diversi usi (ISMEA, 2009).

Anche sotto il profilo dello stato della qualità dei suoli e delle acque dolci e marine la situazione delle zone costiere nelle aree urbane e periurbane risulta complessivamente molto critica, a causa dell'uso intensivo e prolungato di fertilizzanti organici e inorganici e in generale degli scarichi delle acque reflue di origine urbana, industriale e agricola, comprese le acque di dilavamento dei suoli.

E' evidente come le pressioni antropiche sconvolgano gli equilibri naturali degli ambienti costieri, determinando effetti negativi sulla dinamiche evolutive delle aree litoranee. Difatti laddove la pressione antropica non risulta particolarmente forte, non si registrano, in generale, situazioni critiche.

Le previsioni dicono che nel futuro le zone costiere verranno esposte a sempre maggiori pressioni antropiche (IPCC, 2007). Ed, in particolare, tali pressioni risulteranno più diffuse proprio nei paesi del sud del mondo, dove le instabili e problematiche realtà politiche e sociali, unitamente alla mancanza o inadeguatezza dei sistemi di gestione delle risorse ambientali, finiscono sicuramente con l'aggravare la situazione. Attualmente infatti in molte aree dell'Africa e dell'Asia la qualità dell'ambiente costiero è ormai decisamente compromessa.

Il continuo aumento di popolazione determina un incremento di domanda idrica, di suolo consumato, e favorisce lo sviluppo di nuove attività produttive (agricoltura e industria). Tali fattori originano sempre più evidenti e numerose criticità, come condizioni di scarsità d'acqua e stress idrico, alterazioni nel tempo della quantità e qualità dei flussi dei sedimenti, trasformazione del territorio (e di tipologia di uso del suolo), perdita di suolo, inquinamento dell'acqua e del suolo, salinizzazione degli acquiferi, perdita di specie e di habitat, e riduzione della biodiversità.

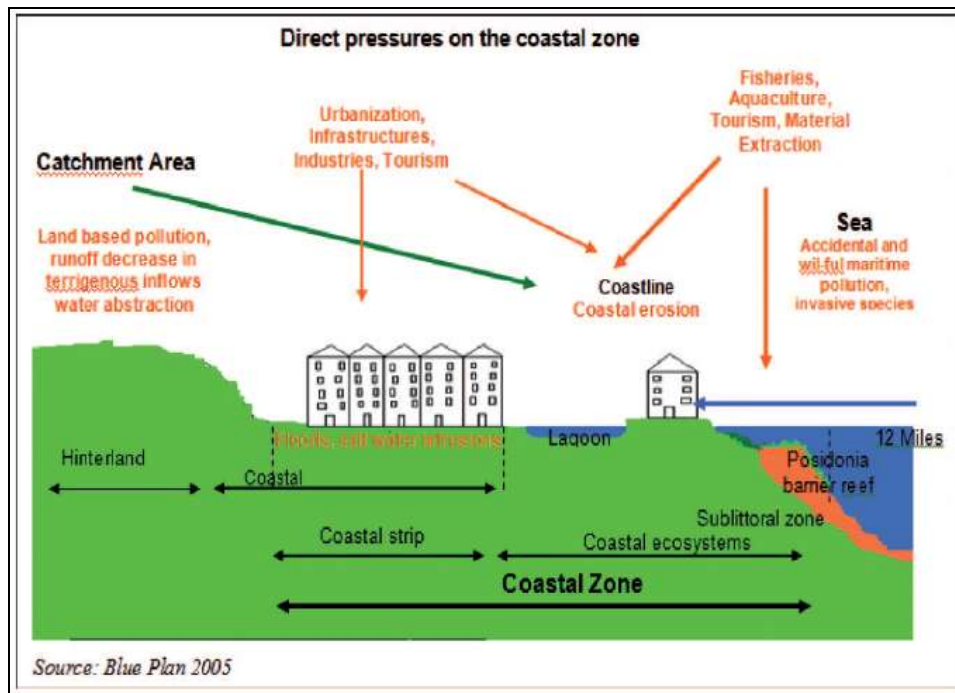


Figura 2.11 Esempificazione delle pressioni antropiche sulle aree costiere (ISMEA, 2009)

E' evidente come la pianificazione delle aree costiere, per riuscire ad arginare i processi degenerativi in atto, debba integrarsi con gli ambiti territoriali comprendenti anche le aree interne (zone di alimentazione, corsi d'acqua e relative fasce di pertinenza), e confrontarsi con lo sviluppo e gli effetti dei differenti processi antropici, soprattutto nelle grandi città costiere.

Le prospettive per il domani, se si dovesse continuare ad agire con le politiche ambientali sino ad oggi implementate, sono nefaste, anche indipendentemente da quanto dicono le previsioni per gli anni a venire sui cambiamenti climatici (ISMEA, 2009).

In un ambiente così complesso come quello costiero gli effetti indotti dal cambiamento climatico sono di difficile previsione. Infatti la variabilità del sistema litoraneo, le profonde differenze a scala locale e regionale, i fattori antropici, nonché la difficoltà nel determinare la resilienza e le capacità adattive degli ecosistemi, rendono estremamente complicato identificare nello spazio e nel tempo tali effetti.

Di certo le possibili conseguenze dei mutamenti climatici potrebbero rappresentare ulteriori fattori critici per gli ambienti costieri, sia impattando direttamente sul sistema, che indirettamente sulle forzanti esterne al sistema.

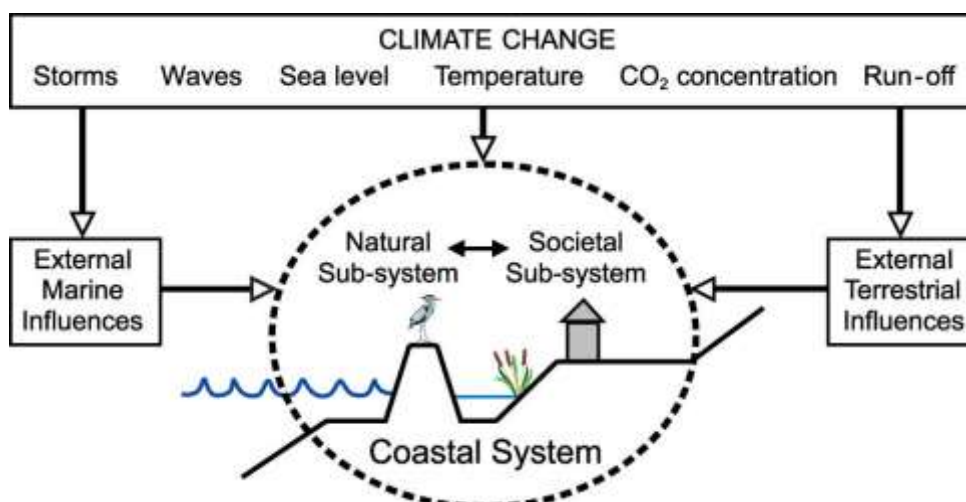


Figura 2.12 Le conseguenze del cambiamento climatico incidono internamente ed esternamente sul sistema costiero (IPCC, 2007)

Indicazioni sul futuro ci vengono da scenari possibili, continuamente aggiornati da dati, monitoraggi, e simulazioni basate su differenti modelli, elaborati dall'IPCC, sui quali comunque il mondo della scienza discute e si confronta.

Indipendentemente da considerazioni di “validità” dei modelli, o dalle ipotesi assunte a base delle valutazioni quantitative, e nonostante le limitazioni circa le previsioni in ambito localizzato (la complessità cresce al diminuire della scala di riferimento territoriale poiché i modelli a scala globale non sono facilmente applicabili alle scale ridotte), gli scenari evidenziano come potrebbero aggravarsi le conseguenze in termini di variazioni nelle differenti componenti del ciclo idrologico (velocità di evapotraspirazione, intensità, frequenza, distribuzione, concentrazione di precipitazione, flussi idrici superficiali e sotterranei, ricarica di falde).

In generale le conseguenze del cambiamento climatico, che potrebbero indurre gravi effetti sugli ambienti costieri, sono (IPCC, 2007):

- Aumento delle temperature (effetto serra).
- Aumento di frequenza delle ondate di calore estivo.
- Variazioni nella quantità, distribuzione ed intensità delle precipitazioni, ed aumento degli eventi pluviometrici estremi (frequenza e intensità degli eventi pluviometrici massimi e prolungate assenze di precipitazione).
- Aumento della distruttività dei cicloni.
- Aumento della distruttività delle alluvioni.
- Innalzamento del livello medio dei mari (10-50 cm per la fine del XXI secolo).

La variazione in quantità, intensità e distribuzione delle precipitazioni, nonché i tassi di infiltrazione nel suolo e di runoff superficiale, dipendenti dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del suolo, influenzano direttamente la quantità di risorsa idrica disponibile, sia superficiale che sotterranea, in una determinata area.

In generale, un aumento dell'intensità delle precipitazioni (più eventi estremi in un periodo limitato di tempo, a parità di piovosità media) determina sicuramente un incremento del ruscellamento superficiale, concentrato perlopiù in periodi limitati, e, di conseguenza, una minor



infiltrazione nel suolo (che si satura velocemente), comportando una diminuzione del tasso annuo di ricarica di un acquifero.

In particolare, l'estremizzazione dei regimi pluviometrici, la deforestazione e l'aumento nella frequenza degli incendi, potrebbero indurre ad un aumento dell'erosione del suolo, ed una intensificazione del dissesto idrogeologico nei bacini di alimentazione.

Al tempo stesso la diminuzione della piovosità media, unitamente all'aumento del tasso di evapotraspirazione (dovuto all'innalzamento della temperatura media) potrebbe ridurre in media i deflussi superficiali ed indurre ad una diminuzione della ricarica delle falde acquifere (Ranjan et al., 2004). Inoltre la conseguente riduzione dell'umidità del suolo potrebbe determinare una estensione delle aree soggette a desertificazione e aridità. In generale, la riduzione delle disponibilità di risorse idriche è un elemento molto impattante per le comunità costiere, soprattutto nelle aree dove la risorsa idrica risulta di per sé un fattore limitante.

Le conseguenze dell'innalzamento del livello medio del mare (dovuto alla dilatazione termica prima che allo scioglimento delle calotte polari) sono rappresentate principalmente dall'invasione marina delle aree costiere basse (le aree deltizie sono particolarmente vulnerabili) e delle aree di transizione (paludi costiere e zone umide), accompagnata da minori capacità di ripascimento delle spiagge da parte dei detriti solidi dai fiumi (fiumi con portate medie più ridotte a causa della riduzione delle precipitazioni), dall'incremento dei processi di erosione della fascia costiera, e dall'aumento del fenomeno di intrusione salina negli acquiferi della fascia litorale (determinato anche dal sovrasfruttamento della falda e dai processi di subsidenza della superficie terrestre), che favorisce il deterioramento della qualità dell'acqua e dei suoli (Hay et al., 2005).

L'aumento della temperatura marina, unitamente alla diminuzione di penetrazione dei raggi solari nell'oceano (a causa dell'innalzamento del livello del mare) potrebbero inibire la crescita degli organismi bentinici. Tale effetto potrebbe avere notevoli conseguenze, ad esempio, sullo sviluppo delle barriere coralline nelle aree tropicali. La scomparsa della barriera corallina determinerebbe una maggiore erosione della fascia costiera (le barriere coralline espletano una funzione protettiva sulle coste), ed una diminuzione della biodiversità del sistema, con gravi ripercussioni su tutte le attività collegate (ad esempio la pesca).

La maggior probabilità di eventi meteorologici estremi (tempeste e cicloni) incrementa il rischio di allagamenti. Tale impatto risulta particolarmente dannoso per le popolazioni che vivono nelle aree depresse e lungo i corsi d'acqua, soprattutto nelle realtà urbane in cui i servizi primari (sistema idrico, sistema fognario e sistema di gestione dei rifiuti) sono scadenti. In tal caso le potenziali conseguenze di tipo sanitario, dovute alla contaminazione dell'acqua e del suolo da inquinanti antropici, sono decisamente più elevate (Bates et al., 2008). Inoltre, lo scadimento delle qualità dei suoli e delle acque potrebbe provocare nefaste conseguenze a livello ecologico, come l'estinzione delle specie più vulnerabili e la perdita di habitat litoranei e biodiversità.

In particolare, il deterioramento degli "ambienti di transizione" (aree umide, mangrovieti, paludi marine) potrebbe compromettere la capacità di resistenza e recupero dell'uomo di fronte ai cambiamenti climatici. Tali ambienti, infatti, garantiscono una importante serie di servizi ecosistemici, ospitano biodiversità, forniscono prodotti agricoli e legname, mantengono le riserve ittiche, ed inoltre proteggono contro tempeste e inondazioni, riparando gli insediamenti umani dal moto ondosso del mare (IPCC, 2007).

In generale, i principali impatti di tipo socio-economico, legati alle possibili conseguenze dei cambiamenti climatici possono includere (ISMEA, 2009):

- Potenziali danni fisici alle persone.
- Potenziali perdite di strutture private.
- Potenziali danneggiamenti alle infrastrutture pubbliche.
- Aumento del rischio di diffusione di malattie.
- Perdita di risorse rinnovabili (ecosistemi) e beni primari di sussistenza.
- Impatti sulle attività agricole ed ittiche, per il deterioramento delle qualità dell'acqua e del suolo.
- Impatti sulle attività industriali.
- Impatti sulle attività turistiche e ricreative.
- Perdita di risorse culturali.

Determinare il grado di vulnerabilità delle comunità costiere rispetto a tali possibili effetti del cambiamento climatico, diventa essenziale per implementare azioni di mitigazione o adattamento, che si integrino con una pianificazione sostenibile e strategica del territorio costiero.

### *2.2.3. L'intrusione salina negli acquiferi costieri*

Si definisce come intrusione salina il movimento temporale o permanente di acqua salata all'interno di un acquifero. Tale fenomeno può essere indotto da differenti cause, quali:

- Antica o attuale penetrazione nella falda acquifera di acqua salata proveniente dal mare (intrusione marina).
- Risalita di acqua salata lungo estuari e fiumi.
- Lisciviazione di terreni o rocce (in particolare la dissoluzione di rocce evaporitiche) da parte dell'acqua sotterranea durante il proprio flusso idrico.
- Apporti di acque mineralizzate in zone vulcaniche o a squilibrio tettonico.
- Penetrazione nella falda acquifera di acque di scarico di origine civile, industriale, agricola o zootecnica.
- Distruzioni di barriere naturali che separano le acque dolci da quelle salate.

L'intrusione salina può essere considerata fra i principali responsabili del deterioramento delle caratteristiche qualitative degli acquiferi, in termini di salinizzazione, delle acque dolci, in grado di compromettere in breve tempo grandi volumi di acqua.

Negli ambienti costieri uno dei principali fattori di contaminazione salina della falda acquifera è rappresentato dal fenomeno dell'intrusione marina, che consiste nell'ingressione di acqua marina all'interno dell'acquifero, a causa di differenti fattori, che verranno descritti successivamente (per gli acquiferi costieri infatti i termini "intrusione salina" ed "intrusione marina" spesso si riferiscono allo stesso fenomeno, data la prevalenza, in molti casi, di tale fattore di contaminazione salina sugli altri).

Un acquifero si definisce costiero quando è parzialmente o totalmente delimitato dal mare.

Le caratteristiche principali di un acquifero costiero sono le seguenti (Sappa et al., 2000):

- buoni caratteri di permeabilità delle rocce affioranti alla superficie e/o sul fondo marino

lungo lo sviluppo costiero;

- livello base della circolazione idrica sotterranea coincidente con il livello medio-mare, ossia i carichi piezometrici decrescono da monte verso valle e si annullano quando la superficie piezometrica arriva alla quota del livello medio marino;
- il deflusso della falda avviene attraverso sorgenti costiere (subaeree o subacquee), normalmente drenanti acque salmastre;
- almeno nelle zone più prossime alla costa le acque dolci di falda sono sostenute alla base da acque salate di origine marina penetrante entroterra.

Negli acquiferi costieri il deflusso delle acque sotterranee avviene nel rispetto di un equilibrio tra il flusso di acqua dolce diretto verso il mare ed il flusso di acqua di mare diretto verso l'interno dell'acquifero (connessione idraulica tra l'acquifero ed il mare).

Il cuneo salino (*salt-wedge*) rappresenta il limite di separazione (interfaccia) che si crea naturalmente fra la superficie di acqua dolce dell'acquifero e l'acqua salata del mare adiacente, che, a causa della maggiore densità, tende a penetrare (incunearsi) nella zona sottostante l'acquifero, più vicino allo strato confinato.

Nella realtà, trattandosi di liquidi miscibili, al contatto tra l'acqua dolce e l'acqua salata non esiste una superficie di interfaccia netta, ma una zona di miscelamento, detta “zona di transizione”, dove la salinità dell'acqua aumenta, più o meno rapidamente, con la profondità dai valori caratteristici dell'acqua dolce (0,4 g/l) sino a quelli caratteristici dell'acqua di mare (38-40 g/l).

I principali fenomeni che determinano lo spessore della zona di transizione sono la diffusione e la dispersione. La dispersione è un processo legato al movimento dell'acqua attraverso un mezzo poroso secondo linee di corrente con velocità variabile, in funzione della permeabilità del mezzo attraversato.

La diffusione si manifesta a scala molecolare o ionica, in relazione all'agitazione termica delle particelle e come risultato della presenza di gradienti di concentrazione. Contrariamente alla dispersione, la diffusione non richiede movimento del fluido, per cui la dispersione predomina in presenza di alte velocità, mentre la diffusione prevale in presenza di basse velocità. Il risultato congiunto dei processi di dispersione meccanica e di diffusione molecolare è noto come dispersione idrodinamica.

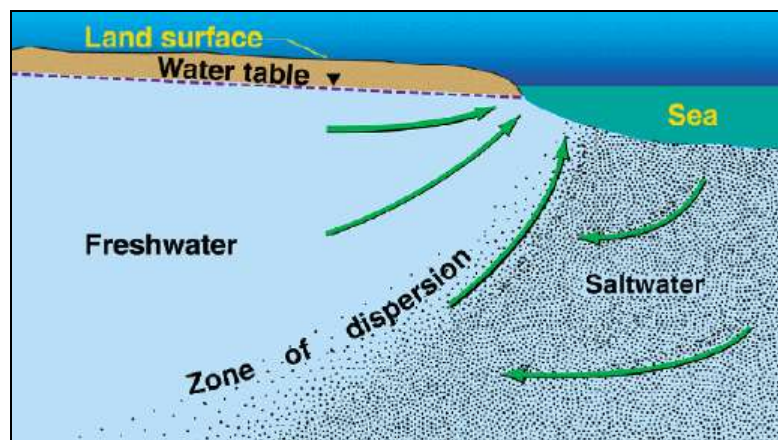


Figura 2.13 Zona di transizione tra acqua dolce ed acqua salata

Il primo problema che si pone nello studio di un acquifero costiero è la determinazione della profondità alla quale, nei vari punti dell'acquifero, si può presumere debba trovarsi l'acqua salata (posizionamento dell'interfaccia).

Tale problema fu affrontato per la prima volta da due ricercatori (B. Ghyben, 1889; B. Herzberg, 1901) che, pur lavorando indipendentemente tra di loro, pervennero alla medesima espressione che pone in relazione la profondità di rinvenimento dell'acqua salata con il carico idraulico della falda dolce in un determinato punto dell'acquifero. La legge, che mantiene ancora una sua validità per una valutazione in prima approssimazione del parametro in questione, va sotto il nome di “ Legge di Ghyben-Herzberg” (Sappa et al, 2000).

Il calcolo della profondità dell'interfaccia si basa sull'equilibrio statico di due colonne di differente densità, a partire da 3 ipotesi principali, quali:

- L'acqua dolce ed l'acqua salata sono immiscibili: esistenza di una interfaccia netta tra le due fasi.
- L'acqua di mare è immobile.
- La componente orizzontale del moto dell'acqua dolce è costante lungo una verticale (flusso perfettamente orizzontale): le superfici equipotenziali sono verticali.

Fissando un determinato punto sull'interfaccia, perché vi sia equilibrio, deve verificarsi l'uguaglianza delle pressioni sullo stesso punto esercitate dalla colonna dell'acqua dolce e dalla colonna d'acqua salata.

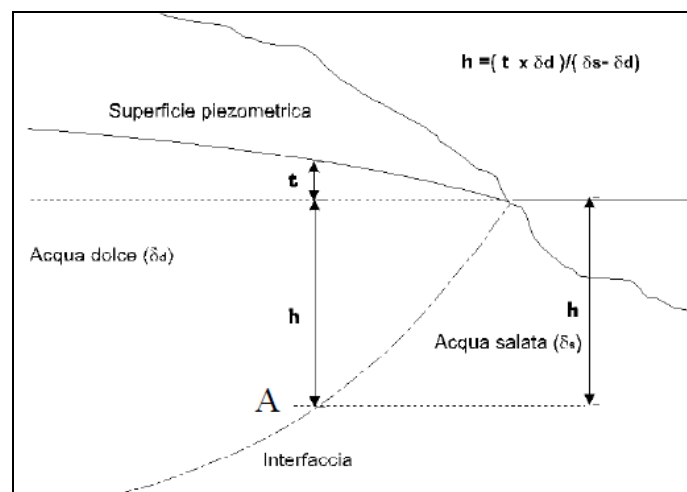


Figura 2.14 Schema dei rapporti di equilibrio tra acqua dolce ed acqua salata secondo Ghyben-Herzberg

Da cui:

$$(h + t) \cdot \delta_d = h \cdot \delta_s \quad \rightarrow \quad h = [\delta_d / (\delta_s - \delta_d)] \cdot t$$

dove:

$h$  = profondità dell'interfaccia dal livello medio del mare (m);

$t$  = carico idraulico della falda acquifera (m)

$\delta_d$  = densità dell'acqua dolce (circa 1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\delta_s$  = densità dell'acqua di mare (1025 kg/m<sup>3</sup> a circa 42 g/l di contenuto salino)

La profondità dell'interfaccia ( $h$ ) dipenderà quindi dal carico idraulico della falda e dalla densità dei 2 liquidi.

Con i valori di densità precedentemente definiti, la relazione fornisce un valore di  $h \approx 40t$ .

In relazione ai valori di densità reali dell'acqua dolce e dell'acqua salata, il coefficiente può variare tra 33 e 50, ammettendo 40 come valore medio. Quindi secondo la relazione di Ghyben-Herzberg per ciascun metro di carico di acqua dolce corrispondono 40 m di profondità dell'interfaccia, sempre rispetto al livello mare.

I limiti principali delle ipotesi formulate da Ghyben-Herzberg sono:

- L'acqua dolce e l'acqua salata sono due liquidi perfettamente miscibili tra di loro, per cui al posto di una interfaccia netta esiste in realtà una zona a salinità variabile (zona di transizione).
- Esistono componenti verticali della velocità dell'acqua dolce in prossimità della costa, laddove la sezione di flusso diminuisce.
- L'acqua di mare non può considerarsi perfettamente immobile: essa deve ritenersi dotata di movimento almeno nelle zone più prossime alla costa.

Infatti, nella realtà, le sorgenti costiere, subaeree o subacquee, attraverso le quali avviene la discarica di un acquifero costiero, normalmente drenano acque salmastre. Ciò significa che le sorgenti trasportano a mare sia una componente di acqua dolce, che una componente di acqua salata.

Le quantità d'acqua salata così trasportate a mare dovranno essere rimpiazzate attraverso un movimento di acqua di mare dalla costa verso l'entroterra.

Si realizza quindi, almeno nelle zone più prossime alla costa, un cosiddetto "flusso ciclico" di acqua salata che entra nel continente e viene riportata a mare dal deflusso di acqua dolce (Sappa et al., 2000).

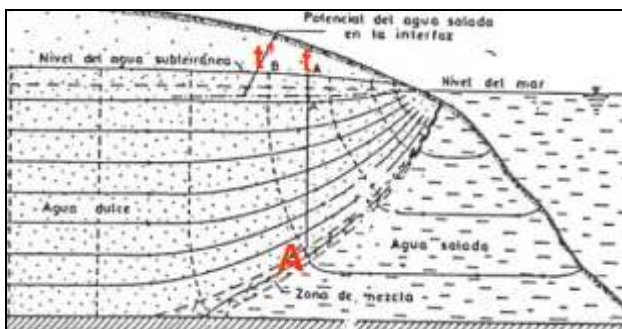


Figura 2.15 Rete di flusso in un acquifero costiero (Sappa et al., 2000)

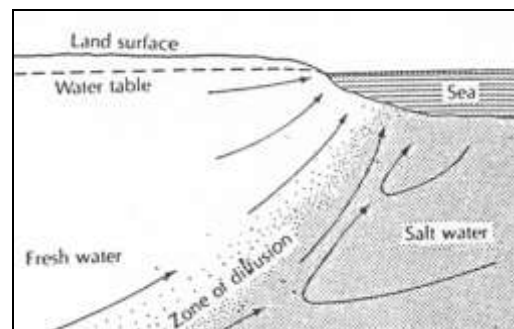


Figura 2.16 Schema della circolazione delle acque dolci, salmastre e salate nelle zone prossime alla costa in un acquifero costiero (Sappa et al., 2000)

Ad ogni modo la Legge di Ghyben-Herzberg può ritenersi una buona approssimazione nelle aree non prossime alla costa, dove lo spessore della zona di transizione può essere ritenuto trascurabile rispetto allo spessore dell'acqua dolce.

Considerando l'effetto della presenza di una componente verticale dell'acqua dolce in prossimità della costa, Hubbert (1940) ha proposto una correzione alla Legge di Ghyben-Herzberg che consiste nel tenere in conto, sul punto dell'interfaccia considerato, il vero carico idraulico, non

coincidente con quello misurabile sulla verticale, ma corrispondente all'equipotenziale passante per il punto considerato (Sappa et al., 2000).

La posizione in A dell'interfaccia dipende in realtà da un carico idraulico ( $t'$ ) maggiore di quello che si può misurare sulla sua verticale ( $t$ ). Infatti nelle vicinanze della zona di deflusso, la minore sezione del corpo dolce comporta una inflessione delle linee di flusso e, di conseguenza, una curvatura delle linee equipotenziali.

Hubbert introduce nel calcolo della profondità dell'interfaccia i concetti dei carichi di acqua dolce e di acqua salata. Considerando due piezometri, il primo sfinestrato nella zona occupata dall'acqua dolce appena sopra l'interfaccia (quindi pieno di acqua dolce) ed il secondo sfinestrato nella zona occupata dall'acqua salata appena al disotto dell'interfaccia (quindi pieno di acqua salata), il primo piezometro fornisce il carico dell'acqua dolce ( $h_f$  = carico secondo la correzione di Hubbert) mentre il secondo fornisce il carico dell'acqua salata ( $h_s$ ), entrambi realmente agenti sul punto dell'interfaccia considerato.

Il carico dell'acqua salata è generalmente inferiore al livello mare; ciò è in accordo con il presupposto che l'acqua di mare al disotto dell'interfaccia, sia in movimento dalla costa verso l'entroterra e che tale movimento debba comportare una perdita di carico.

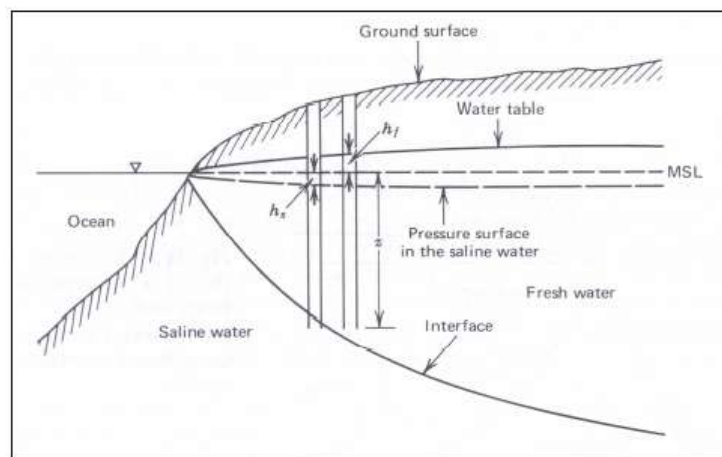


Figura 2.17 Disposizione dei piezometri per il calcolo della formula di Hubbert (Mjemah, 2007)

Si può quindi ricalcolare l'equazione dell'equilibrio tra acqua dolce ed acqua salata considerando i reali carichi idraulici agenti, dovuti all'effettivo andamento delle equipotenziali in acqua dolce (correzione di Hubbert) ed alla perdita di carico dell'acqua salata.

Considerando quindi i pesi delle colonne agenti su uno stesso punto dell'interfaccia si ottiene:

$$(h + h_f) \cdot \delta_d = (h - h_s) \cdot \delta_s \quad \rightarrow \quad h = [\delta_d / (\delta_s - \delta_d)] \cdot h_f + [\delta_s / (\delta_s - \delta_d)] \cdot h_s$$

Rispetto alla legge di Ghiben- Herzberg, la formula di Hubbert fornisce un valore maggiore della profondità dell'interfaccia, sia per il maggior valore del carico d'acqua dolce da considerare rispetto al valore dato dalla superficie piezometrica sulla verticale del punto scelto, sia per la diminuzione della colonna salata dovuta alla perdita di carico dell'acqua salata nel movimento verso l'entroterra (Sappa et al., 2000).

In condizioni naturali, dunque, il rapporto fra superficie d'acqua dolce e salata è in equilibrio (interfaccia stazionaria), in quanto, essendo la superficie freatica della falda superiore al livello del mare, è garantito il carico idraulico necessario a non fare avanzare l'acqua salata.

Quando si modificano le condizioni naturali, per esempio per incremento del flusso di acque dolci dovuto ad apporti idrici (ricarica artificiale, irrigazione) o per diminuzione del flusso di acque dolci (eccessivo sfruttamento dell'acquifero, diminuzione del tasso di ricarica), la tendenza al raggiungimento di un nuovo stato di equilibrio idrodinamico tra il carico idraulico della porzione di acqua dolce e quello della porzione di acqua salata determina lo spostamento delle fasi a contatto (spostamento della superficie di interfaccia).

Si definisce, dunque, come intrusione marina il movimento, temporaneo o permanente, di acqua marina dalla costa verso l'entroterra all'interno di un acquifero dovuto sia a cause naturali che a fattori antropici (Sappa et al., 2000).

Tale processo (risalita del cuneo salino) è una conseguenza della diminuzione del flusso d'acqua dolce nell'acquifero verso il mare, ossia della diminuzione del carico idraulico della porzione di acqua dolce.

Secondo la componente predominante del movimento che l'ha causata, l'intrusione può essere distinta in:

- laterale (*lateral intrusion*), quando la massa d'acqua salata proviene lateralmente dalla costa (formazione di cunei e lingue d'acqua salata);
- dal basso (*upconing*), quando la massa d'acqua salata, soggiacente alle acque dolci di falda, è richiamata verso l'alto (formazione di coni e creste di acqua salata).

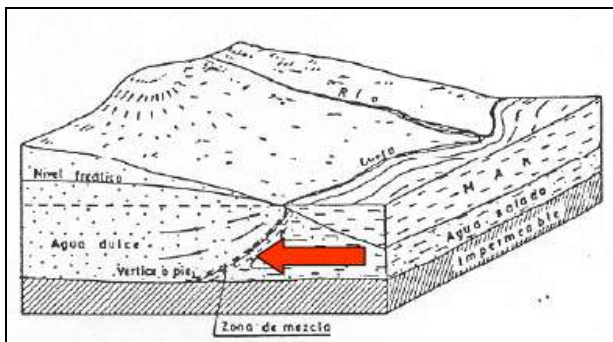


Figura 2.18 Intrusione marina laterale (Sappa et al., 2000)

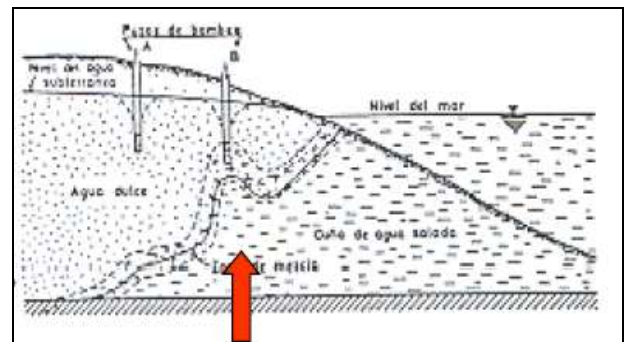


Figura 2.19 Intrusione marina dal basso (Sappa et al., 2000)

L'intrusione marina spesso è un fenomeno che avviene spontaneamente in funzione delle variazioni naturali della ricarica dell'acquifero (alternarsi dei periodi di alimentazione e deflusso della falda acquifera) e delle fluttuazioni periodiche del livello del mare.

Tuttavia l'intrusione marina può essere accelerata da fattori di origine antropica come:

- Sovrasfruttamento degli acquiferi costieri (estrazione dall'acquifero di un volume idrico annuo superiore o non commisurato alla ricarica totale).
- Modifiche del territorio a scala di bacino idrogeologico (urbanizzazione ed impermeabilizzazione del suolo, regimazione dei fiumi, modificazioni della linea di costa, bonifiche, deforestazione) che riducono la ricarica naturale dell'acquifero.
- Cambiamenti climatici.



In generale, i crescenti processi di urbanizzazione delle aree costiere (in atto soprattutto nei paesi del sud del mondo), a cui sono associati un aumento della popolazione (aumento della domanda idrica ed inadeguatezza dei servizi primari) ed un incremento delle aree costruite (aumento dell'impermeabilizzazione del suolo), potrebbero determinare il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee (abbassamento del livello piezometrico della falda acquifera), l'aumento delle fonti di inquinamento, nonché la riduzione del tasso di ricarica dell'acquifero. Tutti fattori che concorrono al deterioramento delle qualità dell'acquifero e all'aumento del fenomeno dell'intrusione salina.

La Figura 2.20 mostra in generale gli impatti dei processi di urbanizzazione sul regime idrogeologico e sulla qualità dell'acquifero (in particolare rispetto al fenomeno dell'intrusione salina).



Figura 2.20 Impatti dei processi di urbanizzazione sul fenomeno dell'intrusione salina e sulla qualità dell'acquifero

Inoltre il fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera potrebbe essere amplificato, nel medio e lungo periodo, dalle conseguenze attese del cambiamento climatico, come l'innalzamento del livello dell'oceano e le modifiche nel clima locale (variazione nei regimi pluviometrici ed aumento della temperatura media), che, in generale, possono rappresentare fattori estremamente critici per tutti gli ambienti litoranei (Figura 2.21).

In generale, la variazione dei regimi pluviometrici (diminuzione della piovosità media ed aumento in intensità delle precipitazioni), associata ad un aumento della temperatura media, potrebbe indurre ad un aumento del tasso di evapotraspirazione, alla diminuzione del deflusso medio dei corsi d'acqua, all'aumento del tasso di runoff ed alla diminuzione del tasso di infiltrazione nel suolo. Tali fattori concorrono alla diminuzione del tasso annuo di ricarica di un acquifero, favorendo l'incremento dell'intrusione salina.

Mentre l'innalzamento del livello del mare, a cui è associato un aumento dell'erosione delle coste (aumento dell'energia del moto ondoso e distruzione della barriera corallina nelle aree tropicali e subtropicali) ed un rischio maggiore di inondazione delle aree depresse (infiltrazione

diretta di acqua salata), potrebbe indurre ad un arretramento della linea di costa, favorendo così l'incremento dell'intrusione salina.

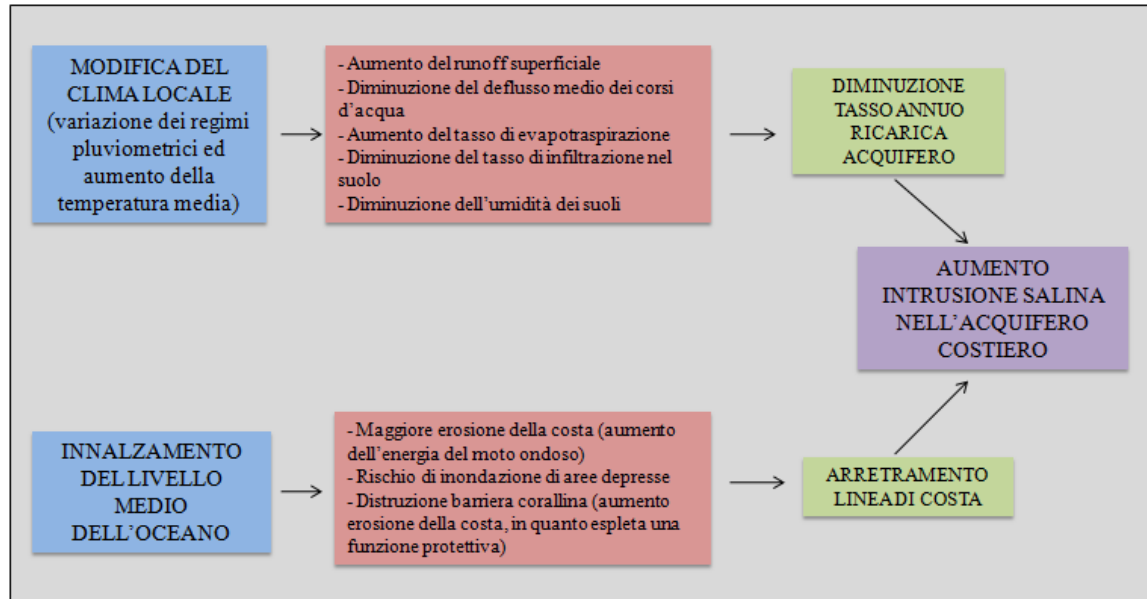


Figura 2.21 Influenza degli effetti del cambiamento climatico sul fenomeno dell'intrusione salina

Il fenomeno dell'intrusione marina può essere considerato come uno dei processi più importanti responsabili del peggioramento della qualità delle acque nelle zone costiere. Ad esso è imputabile un innalzamento del contenuto salino fino al superamento dei livelli accettabili per gli standard di potabilità ed irrigazione.

Infatti oltre a limitare sempre più la disponibilità di acqua dolce, può portare ad un lento ma irreversibile stato di salinizzazione del territorio, causando problemi alla produttività delle colture, alla vegetazione ed a tutti gli habitat interessati (ecosistemi fluviali e deltizi di transizione), nonché alla biodiversità ed al paesaggio.

Si consideri che, in generale, all'aumentare della salinità dell'acqua corrisponde una diminuzione della crescita delle piante. La tolleranza delle colture a livelli alti di salinità è estremamente variabile. Ad esempio i cereali sono più tolleranti rispetto alle specie ortofrutticole.

In generale, la riduzione della disponibilità di un'acqua di buona qualità è un elemento molto impattante per le comunità costiere, soprattutto nelle aree dove la risorsa idrica risulta già di per sé molto scarsa.

Difatti il fenomeno della salinizzazione delle falde acquifere è un problema diffuso e molto condizionante per lo sviluppo socio-economico delle grandi città costiere del sud del mondo, dove il tasso di urbanizzazione è estremamente elevato e l'agricoltura urbana rappresenta spesso l'attività primaria.

Considerando il fatto che le zone costiere ospitano alte concentrazioni di popolazione (in particolare oltre il 70% della popolazione mondiale vive entro i 60 km dalla linea di costa), e che i sistemi sotterranei impiegano decenni o anche secoli per ritornare ai valori di salinità originari, emerge la necessità, specialmente nelle aree costiere densamente popolate, di studiare approfonditamente le dinamiche e le possibili conseguenze del fenomeno dell'intrusione salina e di adottare, per quanto possibile, strategie di intervento, sia tecniche che politiche, che favoriscano una gestione corretta e sostenibile della risorsa idrica sotterranea, soprattutto in quei

paesi dove l'esigua disponibilità d'acqua risulta già attualmente un fattore limitante per lo sviluppo delle attività sociali ed economiche.

## 2.3. La vulnerabilità al cambiamento climatico

### 2.3.1. I concetti di vulnerabilità e sensibilità

Nella prima parte di questo capitolo sono stati descritti i principali effetti che le conseguenze dei cambiamenti climatici potrebbero determinare sui differenti sistemi umani ed ambientali, in particolare rispetto alla risorsa idrica negli ambienti costieri.

In questo paragrafo verranno introdotti i concetti che sono alla base di un processo di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto agli effetti del cambiamento climatico. Tale attività, che verrà descritta nel paragrafo successivo, diventa estremamente importante per comprendere come i sistemi umani possano rispondere ai futuri rischi climatici, e rappresenta il punto di partenza per l'implementazione di azioni di mitigazione ed adattamento.

Le conseguenze del cambiamento climatico possono determinare impatti, positivi o negativi, sul sistema geofisico, biologico e socioeconomico. Un impatto descrive appunto uno specifico cambiamento nel sistema, a causa dell'esposizione ad un determinato fattore.

In generale gli impatti di un evento dannoso sono solitamente distribuiti in modo diseguale tra differenti nazioni, regioni, comunità e gruppi di individui.

I gruppi vulnerabili rappresentano quelle comunità o gruppi demografici (anziani, donne e bambini) maggiormente soggetti a subire le conseguenze di eventi dannosi.

In letteratura il concetto di vulnerabilità non possiede una definizione universalmente accettata, ma varia a seconda del settore e della tipologia di analisi che si intende perseguire.

Secondo l'IPCC, la vulnerabilità al cambiamento climatico si può definire come:

*Il grado al quale un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, agli effetti negativi dei cambiamenti climatici, includendo la variabilità climatica e gli eventi estremi. La vulnerabilità è una funzione del tipo, della grandezza, e del tasso dei cambiamenti climatici al quale un sistema è esposto, della sua sensibilità e della sua capacità di adattamento (IPCC, 2007).*

$$\text{Vulnerability} = f(\text{Exposure, Sensitivity, Adaptive Capacity})$$

Tale definizione integra le pressioni, l'esposizione, le conseguenze (impatti) e la capacità di adattamento di un sistema.

In generale, si può ricondurre alla letteratura sull'analisi del Rischio, con la differenza principale che la valutazione del Rischio si basa sullo studio probabilistico dell'evento, e sulla quantificazione degli impatti e delle risposte (analisi multicriteria), mentre la metodologia proposta dall'IPCC si basa sulla costruzione di scenari futuri di tipo qualitativo.

Secondo la tradizione epidemiologica, la vulnerabilità è definita come:

*Il grado per il quale una unità esposta è suscettibile a danneggiarsi a causa di una perturbazione o di una pressione, unitamente alla sua abilità (o mancanza di abilità) di far fronte, recuperare, o adattarsi a tale perturbazione (Kasperson et al., 2002).*

Mentre la letteratura sullo studio della povertà e dello sviluppo, si focalizza sulle condizioni sociali, economiche e politiche delle comunità. In tale contesto la vulnerabilità è definita come:  
*La misura aggregata del “benessere” umano, che considera le conseguenze ambientali, sociali, economiche e politiche, derivanti da una esposizione ad un insieme di perturbazioni dannose (Bohle et al., 1994).*

L’aspetto chiave delle ultime due definizioni è che la vulnerabilità si distingue dal Rischio, riferendosi soprattutto al grado di suscettibilità del sistema nei confronti dell’esposizione alle perturbazioni (variabilità climatiche), piuttosto che alla probabilità di incidenza della stesse.

Tali definizioni si focalizzano sulle condizioni sociali, economiche e politiche, al tempo presente, dei gruppi sociali, riferendosi alle unità sociali (persone) o ai sistemi sociali (comunità), piuttosto che ai sistemi biofisici, che dovrebbero essere descritti come “sensibili” alle pressioni.

Secondo tale visione la vulnerabilità è considerata come sistemica e rappresenta una conseguenza dello stato di sviluppo delle comunità. La vulnerabilità unisce l’insieme delle pressioni (sul sistema biofisico) ed i differenti aspetti delle capacità e delle condizioni dei gruppi sociali, come, ad esempio, il grado di povertà, la sicurezza alimentare, il reddito, la salute o la dotazione di abitazione (Downing et al., 2003).

Il risultato finale è determinato dalla combinazione tra i pericoli indotti dalla variabilità climatica e la vulnerabilità del sistema sociale.

In tale contesto la vulnerabilità delle persone o delle comunità rispetto al cambiamento climatico è funzione di due fattori principali:

- La sensibilità del sistema biofisico rispetto agli effetti del cambiamento climatico.  
Tale fattore (rischio di evento pericoloso) determina il grado di esposizione delle persone o delle comunità all’evento (dipendenza dei gruppi sociali verso il sistema biofisico).
- La sensibilità del sistema sociale, ossia la capacità delle persone o delle comunità di far fronte alle perturbazioni, assorbire gli impatti (resistenza), recuperare (resilienza), o adattarsi al cambiamento.  
Tale fattore determina il grado di suscettibilità alla perturbazione, causata dall’evento, e si riferisce alla vulnerabilità sociale ed economica dei differenti gruppi sociali (definizione dei gruppi vulnerabili).

Secondo tale approccio focalizzarsi sulle capacità di adattamento dei gruppi sociali, rappresenta la principale strada per la riduzione della vulnerabilità.

La sensibilità del sistema biofisico rispetto agli effetti del cambiamento climatico è definita dall’IPCC come:

*Il grado per il quale il sistema è sollecitato, positivamente o negativamente, da stimoli connessi al clima. Tali stimoli includono tutti gli elementi e processi correlati al cambiamento climatico, come la variabilità delle caratteristiche medie, la frequenza e la dimensione degli eventi estremi (IPCC, 2007).*

La sensibilità del sistema biofisico rappresenta la potenzialità o la possibilità (rischio) che un determinato sistema possa essere danneggiato rispetto ad una certa perturbazione, a causa essenzialmente dell'incapacità di tollerare tale perturbazione.

Con il termine “sistema” si intendono sia i singoli elementi ambientali, come l'acqua, il suolo, o l'aria, che i sistemi o i sottosistemi correlati alla differenti componenti ambientali, come, ad esempio, il sistema idrologico o l'ecosistema marino costiero.

Pertanto, la sensibilità ai cambiamenti climatici di un determinato sistema ambientale misura la possibilità che quel sistema subisca danni o modifiche irreversibili a seguito di cambiamenti del clima. Viceversa, la resilienza, invece, è la potenzialità o la possibilità che un determinato sistema possa resistere ad un danno, a causa delle proprie capacità di elasticità o di recupero rispetto alla perturbazione.

Gli effetti possono essere diretti (come, ad esempio, il cambiamento nella produttività delle colture, a seguito della variazione della temperatura media, o la maggior frequenza ed intensità delle alluvioni), o indiretti (come, ad esempio, i danni economici causati da un incremento delle inondazioni nelle aree costiere, a seguito dell'innalzamento del livello del mare, o la riduzione nelle disponibilità di cibo, con il conseguente aumento dei prezzi).

Inoltre, la sensibilità del sistema biofisico potrebbe essere incrementata anche da fattori non climatici, ma legati alle attività antropiche, soprattutto nei contesti urbani.

Secondo la definizione proposta dall'IPCC, che si ricollega alla letteratura sull'analisi del Rischio, la sensibilità del sistema biofisico è funzione della pressione (probabilità di incidenza degli effetti causati dalla variabilità climatica), e della vulnerabilità intrinseca del sistema biofisico (caratteristiche del sistema biofisico che determinano il grado di esposizione).

$$\text{Risk} = \text{Hazard (climate)} \times \text{Vulnerability (exposure)}$$

La sensibilità descrive gli effetti delle forze guida (pressioni) e delle perturbazioni sugli ecosistemi e sulle risorse naturali. Implica una distinzione tra processi ed effetti biofisici, ed il ruolo che le persone posseggono in questi cambiamenti. Sicuramente gli ecosistemi e le risorse naturali influiscono sui mezzi di sostentamento delle popolazioni ed in questo senso la sensibilità determina il grado di esposizione delle persone o delle comunità alla perturbazione (diretta connessione con il concetto di vulnerabilità).

La capacità delle persone o delle comunità di far fronte alle perturbazioni, assorbire gli impatti o recuperare (ad esempio attraverso riserve monetarie e assicurazioni) (sensibilità del sistema sociale), è influenzata da diversi fattori sociologici, economici, politici e geografici, come, ad esempio, l'età ed il sesso, la struttura familiare e le reti sociali, la disabilità, l'etnia di provenienza, il reddito e le risorse materiali a disposizione, l'occupazione, e la tipologia e la localizzazione delle strutture abitative.

Tali fattori determinano il grado di suscettibilità delle persone o delle comunità alla perturbazione, e permettono di individuare i gruppi sociali maggiormente vulnerabili ai possibili impatti della variabilità climatica.

In generale, l'argomento centrale di una valutazione di vulnerabilità sono le persone, intese come gruppi demografici (giovani, donne, anziani), comunità e relativi mezzi di sostentamento (i

poveri nella città, economia informale), ossia la popolazione maggiormente soggetta a subire le conseguenze dannose del cambiamento climatico.

E' importante sottolineare il fatto che nella società le persone sono organizzate in gruppi a varia scala (dal singolo individuo alla famiglia, dalla comunità fino all'agglomerato urbano), che si relazionano in modi differenti con il sistema ambientale, economico ed istituzionale.

Ad ogni livello ci possono essere differenti insiemi di risorse, relazioni ed istituzioni, che determinano non solo il livello di interazione con il clima, ma anche l'abilità di percepire i problemi, formulare risposte e prendere decisioni (Downing et al., 2003).

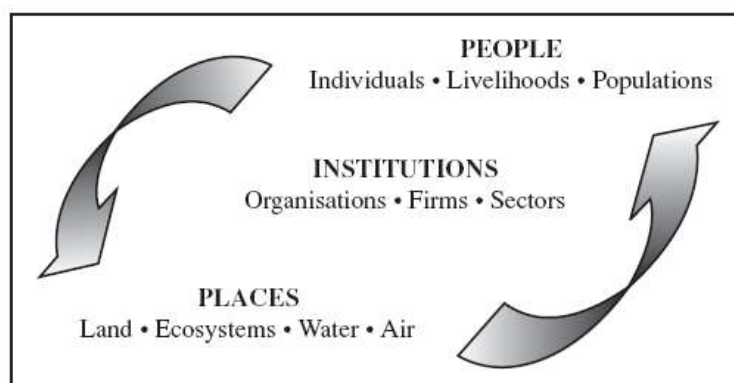


Figura 2.22 Unità di analisi per la valutazione di vulnerabilità (Downing et al., 2003)

In generale, gli scenari dei cambiamenti climatici forniscono un contesto per individuare le variazioni strutturali dei sistemi meteorologici. Come si è visto, la misura in cui tali variazioni si ripercuotono sullo sviluppo umano è condizionata dall'interazione di rischio e vulnerabilità. Mentre il rischio riguarda l'esposizione a pericoli esterni sui quali le persone hanno un controllo limitato, la vulnerabilità misura la capacità di gestire tali pericoli senza subire sul lungo periodo una perdita di benessere potenzialmente irreversibile.

Le minacce poste dai cambiamenti climatici esemplificano la differenza tra rischio e vulnerabilità.

Ad esempio, le persone che vivono sul delta del Gange e gli abitanti di Manhattan condividono i rischi di inondazione associati all'innalzamento del livello dei mari, ma non le stesse vulnerabilità. Il delta del Gange, infatti, è caratterizzato da alti livelli di povertà e bassi livelli di protezione delle infrastrutture. I cicloni e le alluvioni che colpiscono Manila, nelle Filippine, espongono l'intera città a dei rischi, ma le vulnerabilità si concentrano negli alloggi improvvisati e sovraffollati delle baraccopoli, lungo le sponde del fiume Pasig, non certo nelle zone più ricche della città (UNDP, 2007).

In tutti i paesi, i processi di conversione del rischio in vulnerabilità sono influenzati dallo stato dello sviluppo umano, comprese le disuguaglianze di reddito, opportunità e potere politico.

In generale, i paesi del sud del mondo, e i loro cittadini più poveri, sono i più vulnerabili ai cambiamenti climatici. L'elevata dipendenza economica dall'agricoltura, i redditi medi inferiori, le già delicate condizioni ecologiche e l'ubicazione in aree tropicali esposte a modelli meteorologici più estremi, rappresentano importanti fattori di vulnerabilità.

### 2.3.2. Valutazione di vulnerabilità ed adattamento

Come affermato in precedenza, la vulnerabilità presente può essere espressa come l'unione tra la sensibilità del sistema biofisico alle conseguenze del cambiamento climatico, che determina il grado di esposizione alla perturbazione, e la sensibilità dei differenti gruppi sociali (gruppi vulnerabili), che mostra il grado di suscettibilità delle comunità (capacità di resistere, recuperare ed adattarsi) alla perturbazione (Clark et al., 1998).

La valutazione della vulnerabilità delle comunità rappresenta un'attività estremamente importante per aiutare i decisori politici ad elaborare risposte appropriate che si confrontino con i rischi determinati dai possibili cambiamenti climatici.

Tale attività di valutazione dovrebbe partire da un'istantanea della situazione presente, e cercare di sviluppare una comprensione qualitativa dei processi che possono trasformare le conseguenze del cambiamento climatico in possibili fattori di rischio per le comunità (vulnerabilità futura), nonché identificare i punti di intervento e le opzioni di risposta alle possibili pressioni.

La vulnerabilità futura dipende dall'evoluzione di differenti fattori e processi strettamente correlati tra loro, come i pericoli associati all'instabilità climatica, la conseguente variabilità della sensibilità del sistema biofisico (anche rispetto a fattori antropici), il grado di esposizione e suscettibilità dei gruppi vulnerabili, dei settori economici e delle società in generale, nonché la capacità endogena di adattamento, autonoma o pianificata. La comprensione dei punti di unione tra gruppi vulnerabili, fattori socio-istituzionali, risorse ed attività economiche, con il tipo di minacce (ed opportunità) che derivano da un cambiamento climatico, diventa un fattore estremamente importante nella determinazione della vulnerabilità futura (Downing et al., 2003).

Secondo l'IPCC, i fattori chiave (*key vulnerabilities*) per la definizione della vulnerabilità, dovrebbero essere individuati seguendo vari criteri, come:

- Entità degli impatti.
- Tempo di impatto.
- Persistenza e reversibilità degli impatti.
- Probabilità degli impatti.
- Potenziale di adattamento.
- Aspetti distribuzionali degli impatti e delle vulnerabilità.
- Rilevanza dei sistemi a rischio.

La vulnerabilità è un aspetto essenziale del sistema sociale ed economico ed in questo senso la valutazione di vulnerabilità è una attività prettamente qualitativa, così come gli scenari di vulnerabilità futura possono essere considerati come uno strumento per illustrare possibili variazioni di vulnerabilità e per revisionare eventuali risposte politiche (Downing et al., 2003).

L'identificazione e la caratterizzazione del modo in cui i sistemi naturali ed umani sono vulnerabili alla variazione climatica, diventa un fattore chiave per individuare, formulare e stimare politiche di adattamento, che possano modificare i processi per cui la variabilità climatica risulta un fattore di rischio per le comunità.

In questo senso, la valutazione di vulnerabilità dovrebbe individuare le regioni ed i gruppi sociali maggiormente soggetti alla conseguenza della variabilità climatica, focalizzare le opzioni di adattamento per i gruppi più vulnerabili, e produrre dati ed indici rilevanti per l'attività di monitoraggio.



| Climate-driven phenomena          | Evidence for current impact/ vulnerability                                                                                                                         | Other processes/ stresses                                                                                              | Projected future impact/ vulnerability                                                                                                                                                                   | Zones, groups affected                                                                                                                             |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>a) Changes in extremes</b>     |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                    |
| Tropical cyclones, storm surge    | Flood and wind casualties & damages; economic losses; transport, tourism, infrastructure (e.g. energy, transport), insurance                                       | Land use/ population density in flood-prone areas; flood defences; institutional capacities                            | Increased vulnerability in storm-prone coastal areas; possible effects on settlements, health, tourism, economic and transportation systems, buildings & infrastructures                                 | Coastal areas' settlements, and activities; regions and populations with limited capacities and resources; fixed infrastructures; insurance sector |
| Extreme rainfall, Riverine floods | Erosion/landslides; land flooding; settlements; transportation systems; infrastructure                                                                             | Similar to coastal storms plus drainage Infrastructure                                                                 | Similar to coastal storms plus drainage infrastructure                                                                                                                                                   | Similar to coastal storms                                                                                                                          |
| Heat- or cold-waves               | Effects on human health; social stability; requirements for energy, water and other services (e.g. water or food storage), infrastructures (e.g. energy transport) | Building design and internal temperature control; social contexts; institutional capacities                            | Increased vulnerabilities in some regions and populations; health effects; changes in energy requirements                                                                                                | Mid-latitude areas; elderly, very young, and/or very poor populations                                                                              |
| Drought                           | Water availability, livelihoods, energy generation, migration, transportation in water bodies                                                                      | Water systems; competing water uses; energy demand; water-demand constraints                                           | Water-resource challenges in affected areas; shifts in locations of population & economic activities; additional investments in water supply                                                             | Semi-arid and arid regions; poor areas and populations; areas with human-induced water scarcity                                                    |
| <b>b) Changes in means</b>        |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                    |
| Temperature                       | Energy demands and costs; urban air quality; thawing of permafrost soils; tourism and recreation; retail consumption; livelihoods; loss of meltwater               | Demographic and economic changes; land-use changes; technological innovations; air pollution; institutional capacities | Shifts in energy demand; worsening of air quality; impacts on settlements and livelihoods depending on melt water; threats to Settlements / infrastructure from thawing permafrost soils in some regions | Very diverse, but Greater vulnerabilities in places and populations with more limited capacities and resources for adaptation                      |
| Precipitation                     | Agricultural livelihoods, saline intrusion, tourism, water infrastructures, tourism, energy supplies                                                               | Competition from other regions/ sectors; water-resource allocation                                                     | Depending on the region, vulnerabilities in some areas to effects of precipitation increases (e.g. flooding, but could be positive) and in some areas to decreases (see drought above)                   | Poor regions and populations                                                                                                                       |
| Saline intrusion                  | Effects on water infrastructures                                                                                                                                   | Trends in groundwater withdrawal                                                                                       | Increased vulnerabilities in coastal areas                                                                                                                                                               | Low-lying coastal areas, especially those with limited capacities and resources                                                                    |
| Sea-level rise                    | Coastal land uses: flood risk, water logging, water infrastructures                                                                                                | Trends in coastal development, settlement and land uses                                                                | Long-term increases in vulnerabilities of low-lying coastal areas                                                                                                                                        | Same as above                                                                                                                                      |
| <b>c) Abrupt climate change</b>   | Analyses of potentials                                                                                                                                             | Demographic, economic, and technological changes; institutional developments                                           | Possible significant effects on most places and populations in the world, at least for a limited time                                                                                                    | Most zones and groups                                                                                                                              |

Tabella 2.3 Possibili impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi umani e sui sistemi ambientali e gruppi particolarmente vulnerabili. Il colore delle caselle indica la significatività dell'effetto (più scuro = più certo) (Satterthwaite, 2008)

In generale, la valutazione della vulnerabilità dovrà includere (Downing et al., 2003):

- La descrizione e l'analisi della vulnerabilità presente, comprendendo una rappresentazione dei gruppi vulnerabili.
- La descrizione della vulnerabilità potenziale nel futuro, includendo l'evoluzione dei fattori che relazionano il presente con il futuro.
- Scenari di vulnerabilità sotto differenti condizioni socio-economiche e risposte di adattamento.
- Identificazione delle opzioni di intervento che possono portare alla formulazione di risposte di adattamento adeguate. Gli indicatori prodotti nella valutazione di vulnerabilità dovrebbero essere usati per valutare le strategie di adattamento e per monitorare lo stato di sviluppo.

Il processo di valutazione della vulnerabilità, dunque, fornisce la base conoscitiva utile per implementare strategie di mitigazione ed adattamento, nonché piani di sviluppo, da integrare nella pianificazione territoriale, per ridurre i rischi derivanti dal cambiamento climatico.

La prima strategia è rappresentata dalle azioni di mitigazione dei cambiamenti climatici, che consistono nella riduzione delle emissioni di gas serra da parte degli Stati. Tale strategia potrebbe essere determinante nel lungo periodo, ma, sul breve periodo, nemmeno gli sforzi di mitigazione più stringenti potrebbero evitare alcune conseguenze dei cambiamenti climatici (come il rischio maggiore di eventi estremi e l'innalzamento del livello del mare). L'IPCC stima che le emissioni passate implicino un riscaldamento inevitabile (aumento della temperatura media circa 0,6 C° alla fine del XXI secolo rispetto al 1980-1999), anche se le concentrazioni atmosferiche di gas serra rimanessero ai livelli del 2000; il che rende essenziale la seconda strategia, ossia l'incremento della capacità di adattamento dei gruppi sociali.

La mitigazione è un'attività di tipo globale che deve essere implementata dallo Stato (attraverso gli accordi internazionali), mentre l'adattamento è un'attività essenzialmente di tipo locale, che richiede l'impegno dei governi locali nel lavorare con i gruppi maggiormente vulnerabili (Satterthwaite, 2008).

Le azioni di mitigazione nei paesi industrializzati si focalizzano principalmente su strategie che puntano ad aumentare l'efficienza energetica dei processi produttivi. Tali strategie, nei paesi del sud del mondo, hanno minor importanza, dato che le percentuali di emissioni di gas serra risultano spesso sensibilmente inferiori a quelle dei paesi industrializzati (l'emissione pro capite in molti paesi del sud del mondo è pari al 1% rispetto a quella nei paesi industrializzati).

Di conseguenza, nei paesi del sud del mondo, la priorità dovrebbe essere assegnata ai processi di adattamento, che si dovrebbero focalizzare sull'espansione e lo sviluppo di infrastrutture e servizi protettivi (Satterthwaite, 2008).

In generale, la pianificazione e lo sviluppo di strategie di adattamento, che si confrontino con i rischi associati alla variabilità climatica, è considerata un'azione necessaria complementare alla mitigazione.

La capacità di adattamento di un sistema, sociale o naturale, nei confronti delle conseguenze del cambiamento climatico, è definita dall'IPCC, come:

*L'abilità di un sistema di adeguarsi ai cambiamenti climatici (includendo la variabilità climatica e gli eventi estremi) per ridurre i potenziali danni, sfruttare le opportunità, e per far fronte alle conseguenze dannose (IPCC, 2007).*

L'adattamento rappresenta il processo di aggiustamento che i sistemi ecologici ed i sistemi umani e socio-economici effettuano o sono in grado di effettuare in relazione ad una perturbazione introdotta, al fine di raggiungere un differente punto di equilibrio, adeguato alle mutate condizioni.

Nello specifico, si tratta di processi, che, da una parte, tendono a minimizzare le conseguenze negative della perturbazione introdotta e, dall'altra parte, tendono a sfruttare le opportunità positive di tale perturbazione.

Le capacità di adattamento di un dato sistema sono tanto maggiori quanto maggiore è la resilienza del sistema considerato (o quanto minore è la sua vulnerabilità) e quanto minore è la sensibilità di tale sistema alla perturbazione introdotta o alle variazioni delle condizioni preesistenti.

Di conseguenza, aumentare o favorire l'adattamento di un sistema significa prioritariamente diminuire la vulnerabilità di tale sistema ai cambiamenti del clima (eventi estremi), innalzare la soglia di rischio, ridurre gli impatti negativi, aumentare i positivi, e promuovere uno sviluppo maggiormente sostenibile, secondo varie dimensioni (IPCC, 2007).

Le capacità di adattamento nei sistemi umani variano considerevolmente tra i differenti paesi, regioni e gruppi socioeconomici. L'abilità di adattarsi e far fronte ai possibili impatti del cambiamento climatico è funzione di differenti fattori, come, ad esempio, il potere economico, la tecnologia, l'informazione, le istituzioni, e l'equità.

In particolare, nei contesti urbani, la capacità di adattamento dipende da quattro fattori principali (Ricci, 2010):

- La struttura e l'assetto fisico del tessuto insediativo.
- L'efficacia delle azioni di enti pubblici e/o attori internazionali nella gestione e trasformazione delle aree vulnerabili (piani, progetti, programmi, regolamenti).
- L'entità delle trasformazioni ambientali dovute al cambiamento climatico.
- Fattori locali di tipo culturale, sociale ed economico (pratiche di adattamento autonomo, attività e insediamenti informali).

In generale, le capacità tecniche, finanziarie ed istituzionali, i processi di pianificazione del territorio, nonché l'implementazione di misure di adattamento, attualmente risultano estremamente limitati in molte regioni della Terra, soprattutto nei paesi del sud del mondo (IPCC, 2007).

Gruppi e regioni con limitate risorse economiche, bassi livelli tecnologici, scarsa informazione, scadenti infrastrutture, instabili situazioni politiche, ed iniquità nello sviluppo e nell'accesso alle risorse, hanno limitate capacità di adattamento autonomo (non sufficienti a compensare i possibili danni), risultando maggiormente vulnerabili agli effetti dannosi del cambiamento climatico.

Il rafforzamento delle capacità di adattamento, attraverso la pianificazione di strategie di adattamento, diventa un'azione necessaria per i paesi, le regioni ed i gruppi socioeconomici maggiormente vulnerabili.

La pianificazione di strategie di adattamento preventive ha la potenzialità di ridurre la vulnerabilità e fornire opportunità associate al cambiamento climatico, indipendentemente dalle azioni di adattamento autonomo.

In generale, le azioni di adattamento autonomo hanno una importanza maggiore nei paesi del sud del mondo, dove le limitate capacità economiche e gestionali dei governi locali, così come, in alcuni casi, il minor interesse degli stessi verso le comunità più povere, non consentono una pianificazione adeguata di strategie di adattamento per i gruppi maggiormente vulnerabili.

Di seguito viene mostrato il *framework* elaborato dall'IPCC per la valutazione degli effetti del cambiamento climatico e delle possibili tipologie di risposte (mitigazione ed adattamento).

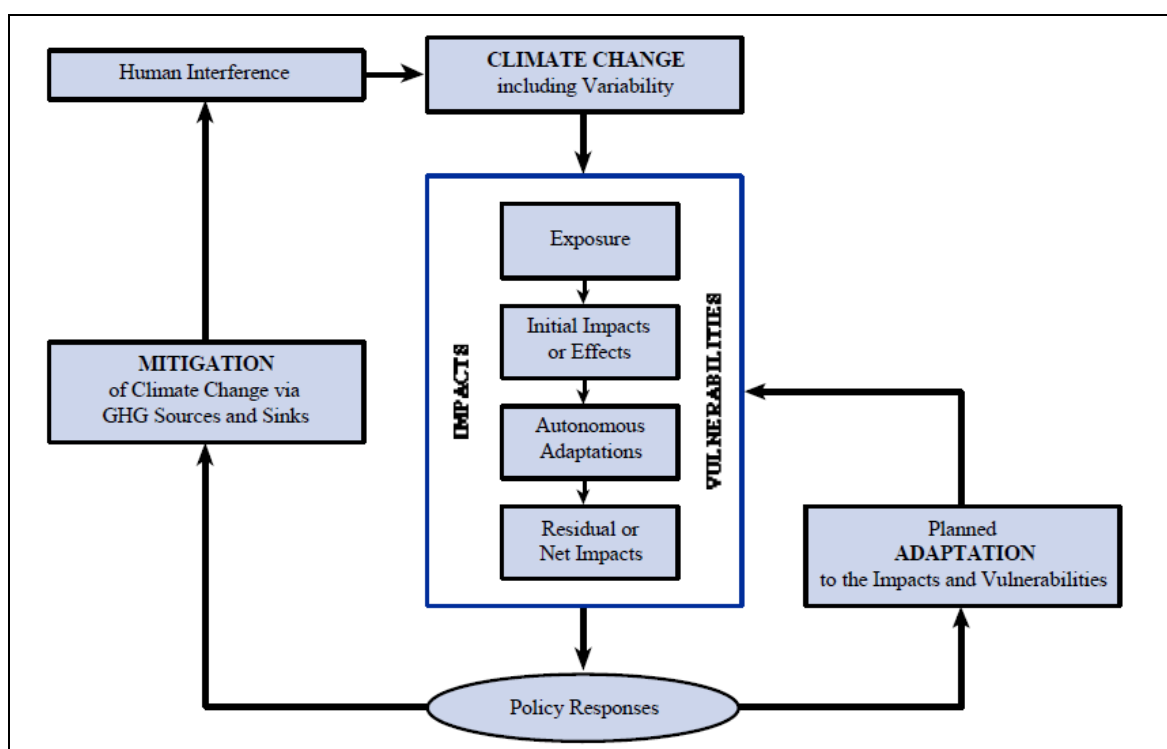


Figura 2.23 Framework elaborato dall'IPCC per la valutazione degli effetti del cambiamento climatico e delle possibili risposte (IPCC, 2007)

### 2.3.3. Gruppi vulnerabili e strategie di adattamento negli ambienti urbani dei paesi del sud del mondo

La dimensione urbana del cambiamento climatico è ancora poco presente nel dibattito politico e scientifico.

I centri urbani maggiormente a rischio generalmente sono quelli dove già attualmente gli eventi climatici estremi causano danni molto gravi, ad esempio nelle aree tropicali e sub-tropicali (UN-HABITAT (1), 2009).

In generale, la prosperità economica di molti centri urbani nel mondo potrebbe essere colpita dagli impatti diretti ed indiretti del cambiamento climatico, in particolar modo nei paesi emergenti.

In generale, c'è una profonda disuguaglianza tra chi è la causa dei cambiamenti climatici (crescita e consumi eccessivi dei paesi industrializzati) e chi, invece, ne subirà le più gravi conseguenze, ossia i paesi del sud del mondo, che meno contribuiscono al cambiamento climatico e, paradossalmente, sono più vulnerabili agli effetti dello stesso (Ricci, 2010).

Vi sono almeno tre ragioni per cui è necessario focalizzarsi sulle aree urbane nei paesi a basso e medio reddito:

1. Rappresentano gran parte della popolazione mondiale.
2. Ospiteranno la maggior parte della crescita della popolazione dei prossimi anni, ed avranno quindi un ruolo determinante nella produzione dei gas serra.
3. Ospitano una porzione ampia e sempre in crescita di popolazione mondiale maggiormente esposta al rischio di tempeste, inondazioni e altri eventi/effetti legati al cambiamento climatico.

In particolare, nelle aree urbane, la scala del rischio prodotto dagli eventi climatici estremi è influenzata dalla qualità e dalla localizzazione delle abitazioni, dal livello delle infrastrutture e dei servizi, dalla capacità di gestire il territorio da parte delle amministrazioni locali, che dovrebbero assicurare una riduzione dei pericoli e servizi di emergenza, e dal livello di preparazione della popolazione (Satterthwaite, 2008).

Naturalmente l'attuale crescita di popolazione urbana nei paesi del sud del mondo determina problematiche non solo rispetto alla disponibilità di abitazioni ed infrastrutture, ma anche in termini di gestione della città da parte delle amministrazioni.

In generale, i gruppi sociali e le regioni con limitate risorse economiche, bassi livelli tecnologici, scarsa informazione, scadenti infrastrutture, instabili situazioni politiche, ed iniquità nello sviluppo e nell'accesso alle risorse, hanno limitate capacità di adattamento autonomo (non sufficienti a compensare i possibili danni), risultando maggiormente vulnerabili agli effetti dannosi del cambiamento climatico.

L'elevata dipendenza economica dall'agricoltura, i redditi medi inferiori, le già delicate condizioni ecologiche e l'ubicazione in aree tropicali esposte a modelli meteorologici più estremi, rappresentano importanti elementi di vulnerabilità per le popolazioni più povere dei paesi emergenti. Tra i fattori che determinano un aumento del grado di vulnerabilità rientrano:

- Povertà e basso sviluppo umano.

Le alte concentrazioni di povertà tra popolazioni esposte a rischi climatici sono fonte di vulnerabilità.

Il 40 % della popolazione mondiale (2,6 miliardi di persone), che vive con meno di 2 USD al giorno, è intrinsecamente vulnerabile poiché possiede minori risorse con cui gestire i rischi.

In gran parte dei paesi del sud del mondo (compresi i paesi appartenenti alla categoria di medio sviluppo umano), esiste un'interazione reciproca tra vulnerabilità legata al clima, povertà e sviluppo umano, specialmente nelle aree caratterizzate da siccità e bassa produttività, dove la popolazione più povera ha problemi di sicurezza alimentare, risultando di per sé maggiormente vulnerabile ai rischi climatici (UNDP, 2007).

- Disparità nello sviluppo umano.

Le disuguaglianze all'interno dei paesi sono un ulteriore indicatore di vulnerabilità alle crisi climatiche.

In generale, i paesi con profonde disuguaglianze di reddito risentono maggiormente degli effetti delle catastrofi climatiche, rispetto alle società più paritarie (UNDP, 2007).

- Disuguaglianze di genere.

Le disuguaglianze di genere si intersecano con i rischi e le vulnerabilità climatiche. Le donne risultano maggiormente vulnerabili ai cambiamenti climatici per via degli svantaggi di cui storicamente soffrono, dall'accesso ristretto alle risorse, alla limitazione dei diritti, al fatto di non partecipare spesso ai processi decisionali. I cambiamenti climatici potrebbero accentuare gli attuali modelli di svantaggio di genere.

Ad esempio, in molti paesi del sud del mondo, le donne rappresentano i produttori primari di alimenti di base, essendo maggiormente impegnate degli uomini nell'attività agricola, un settore fortemente esposto ai rischi associati alla siccità e all'incertezza delle precipitazioni. In molti paesi, il clima può costringere donne e bambine a dover coprire distanze maggiori per procurare l'acqua, soprattutto nella stagione secca, nonché a prestare il grosso della manodopera necessaria ad adeguarsi ai rischi climatici tramite opere di conservazione dell'acqua e del terreno, ed una maggiore occupazione in settori non agricoli (UNDP, 2007).

- Carenze nelle infrastrutture di difesa dagli eventi climatici.

Le disparità in termini di infrastrutture spiegano il motivo per cui impatti climatici simili producono effetti totalmente diversi nei differenti paesi colpiti.

- Accesso limitato alle assicurazioni.

Le assicurazioni possono rivestire un ruolo importante consentendo agli individui di gestire i rischi climatici senza dover ridurre i consumi o impoverire i patrimoni. Nei paesi più ricchi, le famiglie hanno accesso alle assicurazioni private per proteggersi contro eventuali perdite associate al clima. Mentre non è così per gran parte delle famiglie povere nei paesi in via di sviluppo.

La previdenza sociale rappresenta un'ulteriore protezione contro la vulnerabilità, poiché consente di far fronte ai rischi senza intaccare le opportunità di lungo termine per lo sviluppo umano. In termini di gestione globale dei rischi associati ai cambiamenti climatici, ciò si traduce in una relazione inversa tra vulnerabilità (concentrata nei paesi poveri) e sistemi previdenziali (concentrati nei paesi ricchi) (UNDP, 2007).

Gli impatti del cambiamento climatico, diretti (come l'aumento delle alluvioni, la riduzione della disponibilità idrica, le perdite di beni) ed indiretti (come problemi sanitari e di malnutrizione, a causa della contaminazione delle risorse ambientali o a causa dell'aumento dei prezzi del cibo, associato alla minor produttività delle colture), possono essere particolarmente gravi soprattutto per i gruppi più vulnerabili ed avere conseguenze devastanti sullo sviluppo umano.

In generale, nelle aree urbane, i gruppi sociali maggiormente vulnerabili sono (Moser et al., 2008):

- Le comunità con minor capacità di evitare gli impatti diretti o indiretti degli eventi climatici estremi, a causa della ristrettezza economica, della mancanza di servizi primari, o della bassa qualità abitativa.
- I gruppi demografici con minor capacità di resistere agli impatti, come bambini, donne o anziani.
- Le persone con minor capacità di adattarsi e recuperare a seguito dei danni provocati dai possibili eventi climatici estremi, ed, in particolare, nei confronti delle malattie o delle perdite economiche (casa, occupazione o attività).

I maggiori danni fisici ed economici associati ad eventi climatici estremi, come inondazioni e tempeste, sono principalmente concentrati nelle aree urbane informali, caratterizzate spesso dall'assenza di infrastrutture e servizi (sistemi idrici e fognature), nonché localizzate in zone particolarmente pericolose.

In molte città nei paesi del sud del mondo, i gruppi sociali più poveri sono concentrati in stanziamenti informali (a volte vere e proprie baraccopoli), sviluppatasi in aree particolarmente a rischio a livello ambientale (le uniche che possono permettersi), come versanti instabili (ad esempio: Rio de Janeiro, La Paz, Caracas), o pianie alluvionali (ad esempio: Delhi, Bangkok, Jakarta, Buenos Aires, Mumbai, Mombasa).

In generale, gli abitanti più ricchi sono in grado di far fronte alle crisi ricorrendo alle assicurazioni private, vendendo i propri beni o attingendo ai risparmi, mentre la popolazione più povera non ha alternativa se non diminuire i consumi, ridurre l'alimentazione, ritirare i figli da scuola o vendere i beni produttivi dai quali dipende la loro ripresa. Queste opzioni limitano le capacità umane e accentuano le disuguaglianze.

Come detto precedentemente, la portata delle conseguenze ambientali, economiche e sociali che il cambiamento climatico è suscettibile di produrre sulle città e sul loro hinterland, dipenderà in gran parte dal modo in cui esse verranno organizzate e gestite, dal loro assetto fisico, dalla qualità delle infrastrutture e dal modo in cui verranno gestite le risorse (Satterthwaite, 2008).

La pressante necessità di implementare strategie di adattamento nelle aree urbane dei paesi del sud del mondo è dettata dal fatto che tali nazioni rappresentano la maggior parte della popolazione mondiale, ed ospitano le aree maggiormente a rischio, ed i gruppi sociali con minor capacità di adattamento.

Senza azioni di adattamento, le conseguenze per la vita e per il benessere di milioni di persone, nonché per le attività economiche cittadine, potrebbero essere nefaste.

In generale, le strategie e piani di mitigazione ed adattamento per ridurre i rischi derivanti dal cambiamento dovrebbero essere integrati nelle politiche e nei piani di sviluppo del territorio. Difatti tra le strategie di adattamento ed i programmi di sviluppo locale vi sono sostanziali sinergie negli obiettivi, come la riduzione dei livelli di povertà ed il miglioramento della qualità abitativa, dei servizi e delle infrastrutture.

Le strategie di mitigazione sono importanti sul lungo periodo, soprattutto nei paesi industrializzati e nei paesi a medio reddito (Cina, India), dove si concentrano la maggior parte delle emissioni di gas serra globali, mentre nei paesi a basso reddito, dove le emissioni sono decisamente inferiori, la priorità dovrebbe essere data alle strategie di adattamento, che sul breve periodo rappresentano l'unica soluzione per limitare i rischi sociali ed economici associati al cambiamento climatico.

L'implementazione di politiche, programmi e misure di adattamento dovrebbe essere coerente ed integrata con decisioni e programmi che mirano ad uno sviluppo sostenibile, ed a una riduzione dello stress climatico. Tale obiettivo potrebbe essere favorito dal fatto che, nella maggior parte dei casi, i costi dell'adattamento risultano marginali rispetto ai costi di gestione o sviluppo dei programmi (Moser et al., 2008).

Infatti, le misure di adattamento raramente sono prese in considerazione solamente come risposta ai cambiamenti climatici, ma possono essere integrate, per esempio, nella gestione delle risorse idriche, della difesa delle coste, e nelle strategie di riduzione del rischio.



La varietà delle potenziali risposte di adattamento disponibili per le società umane è molto ampia, andando da quelle puramente tecnologiche (ad esempio, le opere di difesa dal mare), a quelle comportamentali (ad esempio, i cambiamenti nelle scelte sul cibo), a quelle gestionali (ad esempio, cambiamenti nelle pratiche agricole), sino a quelle politiche (ad esempio, le norme ed i piani di sviluppo).

Gli obiettivi di adattamento ed equità possono essere perseguiti congiuntamente attraverso iniziative che promuovano il miglioramento delle condizioni sociali dei gruppi più poveri, come, per esempio, l'aumento della sicurezza alimentare, la facilitazione nell'accesso alle risorse idriche potabili ed ai servizi sanitari, o la fornitura di abitazioni ed altre risorse.

In generale, l'integrazione dei rischi climatici nella pianificazione e nell'implementazione di programmi di sviluppo, è un fattore molto importante per ridurre la vulnerabilità, aumentare l'adattamento e favorire la sostenibilità, ad esempio includendo misure di adattamento nella pianificazione dell'uso del suolo e nella progettazione delle infrastrutture, o favorendo misure per ridurre la vulnerabilità nelle strategie già esistenti per la riduzione del rischio da disastri naturali (IPCC, 2007).

Infatti la vulnerabilità futura dipende non solo dai cambiamenti climatici ma anche dalla tipologia di sviluppo. Uno sviluppo più sostenibile può ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici, e, viceversa, i cambiamenti climatici possono limitare le capacità delle nazioni di intraprendere dei percorsi di sviluppo sostenibile.

La tipologia di governo del territorio, sia a livello nazionale, che soprattutto a livello locale, influenza il livello di esposizione al "rischio climatico" per la popolazione, attraverso l'attuazione di varie strategie, come (UNDP, 2007):

- La fornitura di servizi e di infrastrutture adeguati, che dovrebbe aumentare la resilienza degli stanziamenti urbani.
- La disposizione di misure di allarme e strategie di prevenzione degli effetti negativi.
- La pianificazione e coordinazione di misure di emergenza, in risposta agli effetti negativi, come servizi di salvataggio o investimenti a favore della ricostruzione.
- Misure che favoriscono la partecipazione sociale per la pianificazione delle strategie precedenti, favorendo ed indirizzando le strategie di adattamento autonomo.

Nei paesi del sud del mondo, le città ed i governi locali generalmente posseggono il ruolo primario nella pianificazione, fornitura e gestione di una vasta gamma di servizi essenziali per le comunità, come i sistemi idrico, sanitario e di gestione dei rifiuti, l'istruzione ed i servizi d'emergenza. Il livello con cui le amministrazioni locali assolvono a tale ruolo ha una grande implicazione sulla qualità della vita e dell'ambiente urbano (riduzione della vulnerabilità delle comunità), e sulle capacità di adattamento degli abitanti.

La realtà è che, nella maggior parte dei casi, le amministrazioni locali nei paesi emergenti, a causa della loro instabilità o debolezza, non riescono ad assolvere completamente alle loro responsabilità, con la grave conseguenza che la parte più indigente della popolazione non ha accesso ai servizi primari.

Infatti, la mancanza di investimenti in infrastrutture protettive o programmi di adattamento per le aree più vulnerabili della città, è un fatto legato sia alla ristrettezza economica delle amministrazioni locali, che alla relazione problematica tra i governi locali e le comunità più povere, che, vivendo in stanziamenti informali (incluso aree occupate illegalmente) e lavorando

nei settori informali dell'economia, risultano escluse dalle politiche e dagli interessi dei governi locali.

Mentre i gruppi sociali più forti economicamente, oltretutto possedere le risorse per risolvere i problemi autonomamente, potendo permettersi, ad esempio, una fornitura privata d'acqua, di elettricità, o un'assistenza medica adeguata, spesso hanno un'influenza maggiore nei confronti delle autorità pubbliche, riuscendo a indirizzare a proprio favore le scelte e gli investimenti nelle infrastrutture e nei servizi (Satterthwaite, 2008).

Sebbene le strategie di adattamento possano affrontare efficacemente parte degli effetti conseguenti alla variabilità climatica, un aumento dei rischi climatici determina una diminuzione delle opzioni per un adattamento efficace ed un aumento dei costi associati. Attualmente non si ha una visione chiara dei limiti e dei costi dell'adattamento, proprio perché le misure efficaci di adattamento sono profondamente dipendenti da fattori locali specifici (sia rispetto alle variabili fisiche, che sociali), così come da impedimenti istituzionali, politici e finanziari.

Sino ad oggi c'è stata relativamente poca considerazione del ruolo che le strategie di adattamento potrebbero avere nei paesi del sud del mondo. Infatti la conoscenza attuale dei processi di adattamento e delle capacità di adattamento risulta insufficiente per una previsione affidabile ed una valutazione rigorosa delle opzioni e delle misure per una pianificazione adeguata delle strategie di adattamento (IPCC, 2007).

Ad ogni modo, le misure di adattamento dovrebbero essere associate ai piani di sviluppo locale, in modo da favorire un miglioramento nelle politiche e nelle pratiche dei governi locali.

Tuttavia, al momento, nella maggior parte delle realtà urbane nei paesi del sud del mondo, risultano poco numerosi i piani attuati per la promozione della sostenibilità e dello sviluppo locale che includano esplicitamente strategie di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici, presupponendo investimenti per il miglioramento delle infrastrutture e dei servizi nelle aree urbane più vulnerabili; e, nel caso esistano, quasi sempre il miglioramento della qualità urbana per i gruppi più svantaggiati non rientra negli investimenti pianificati (Satterthwaite, 2008).

## **2.4. Obiettivo della ricerca e metodo di studio proposto: descrizione del frame work concettuale**

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti i principali effetti che le conseguenze dei cambiamenti climatici potrebbero determinare sui differenti sistemi umani ed ambientali, in particolare rispetto alla risorsa idrica negli ambienti costieri, ed i concetti che sono alla base di un processo di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto ad una perturbazione indotta da un evento o da un insieme di eventi dannosi (pressioni naturali ed antropiche, effetti del cambiamento climatico), rispetto al quale dovrebbero essere implementate possibili strategie di adattamento.

Focalizzando l'attenzione sul fenomeno naturale dell'intrusione salina negli acquiferi costieri, è stato mostrato come esso possa essere accelerato ed amplificato nel breve periodo da fattori di origine antropica che provocano un abbassamento del livello della falda acquifera, come

l'eccessivo emungimento di acqua dolce dai pozzi, o l'impermeabilizzazione del suolo (diminuzione dell'infiltrazione), e nel medio-lungo periodo dalle potenziali conseguenze del cambiamento climatico (aumento temperatura, cambiamento nei regimi pluviometrici ed innalzamento del livello del mare), che potrebbero favorire una intrusione diretta di acqua salata od una diminuzione del tasso di ricarica di un acquifero (aumento evapotraspirazione e runoff). In generale, l'aumento dell'ingressione di acqua marina nella falda acquifera costituisce uno dei problemi più grandi nelle zone costiere, specialmente nelle città del sud del mondo in cui l'agricoltura urbana rappresenta l'attività economica primaria, perché, oltre a limitare sempre più la disponibilità di acqua dolce per le attività domestiche, può portare ad un lento ma irreversibile stato di salinizzazione del suolo, inducendo ad una diminuzione della produttività dei terreni coltivati e causando problemi alla vegetazione ed a tutti gli habitat interessati (ecosistemi fluviali e deltizi di transizione), nonché alla biodiversità ed al paesaggio.

Il presente lavoro di tesi deve essere considerato come uno studio pilota, il cui obiettivo generale è quello di proporre una metodologia di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero, da testare in un contesto urbano di un paese del sud del mondo, e destinata ad orientare un futuro e più approfondito processo di valutazione della vulnerabilità delle comunità insediate nell'area di studio selezionata.

La necessità di focalizzarsi sulle zone urbane del sud del mondo è dettata dal fatto che tali aree ospitano una porzione ampia e sempre in crescita di popolazione mondiale maggiormente esposta al rischio di eventi legati al cambiamento climatico. Senza azioni di adattamento, le conseguenze per la vita e per il benessere di milioni di persone, nonché per le attività economiche cittadine, potrebbero essere nefaste.

Il metodo di studio proposto si inserisce all'interno di un framework di riferimento internazionale per la valutazione degli effetti del cambiamento climatico e delle possibili tipologie di risposte, costruito a partire dal Protocollo di Kyoto ed espresso principalmente nel lavoro dell'UNFCCC e dell'IPCC, nel quale l'obiettivo primario del processo di valutazione della vulnerabilità è quello di fornire la base conoscitiva utile per implementare strategie di adattamento, da integrare all'interno dei piani di sviluppo del territorio.

Secondo tale approccio, come è stato mostrato in precedenza, la vulnerabilità delle persone o delle comunità rispetto ad una determinata perturbazione può essere espressa in funzione di due fattori:

- La sensibilità del sistema biofisico.
- La sensibilità del sistema sociale.

La sensibilità del sistema biofisico rappresenta la potenzialità che il sistema biofisico possa essere danneggiato dalle conseguenze di un evento dannoso, ed individua il grado di esposizione delle persone o delle comunità alla perturbazione (dipendenza dei gruppi sociali verso il sistema biofisico; connessione tra mezzi di sostentamento ed ecosistema).

Tale parametro è funzione dei fattori di pressione sul sistema biofisico, sia naturali che antropici, e della vulnerabilità intrinseca del sistema biofisico (caratteristiche biofisiche del sistema che determinano il grado di esposizione).

La sensibilità del sistema sociale rappresenta la capacità delle persone o delle comunità di far fronte alla perturbazione, assorbire gli impatti (resistenza), recuperare (resilienza), o adattarsi al cambiamento.

Tale parametro è influenzato da diversi fattori sociologici, economici, politici e geografici, come, ad esempio, l'età ed il sesso, la struttura familiare e le reti sociali, la disabilità, l'etnia di provenienza, il reddito e le risorse materiali a disposizione, l'occupazione, la tipologia e la localizzazione delle strutture abitative, il livello delle infrastrutture e dei servizi primari, e la capacità di gestire il territorio da parte delle amministrazioni locali.

Tali fattori determinano il grado di suscettibilità delle persone o delle comunità alla perturbazione, e permettono di individuare i gruppi sociali maggiormente sensibili (gruppi vulnerabili) ai possibili impatti di una certa perturbazione sul sistema biofisico.

In generale, dunque, l'argomento centrale di una valutazione di vulnerabilità sono le persone, intese come gruppi demografici (giovani, donne, anziani), comunità e relativi mezzi di sostentamento (i poveri nella città, insediamenti ed attività economiche informali), ossia la popolazione maggiormente soggetta a subire le conseguenze dannose di una perturbazione, che il cambiamento climatico potrebbe amplificare.

La vulnerabilità rappresenta un aspetto essenziale del sistema sociale ed economico ed in questo senso la valutazione di vulnerabilità è una attività prettamente qualitativa.

In Figura 2.24 viene mostrato lo schema concettuale utilizzato per lo sviluppo del metodo di studio proposto.

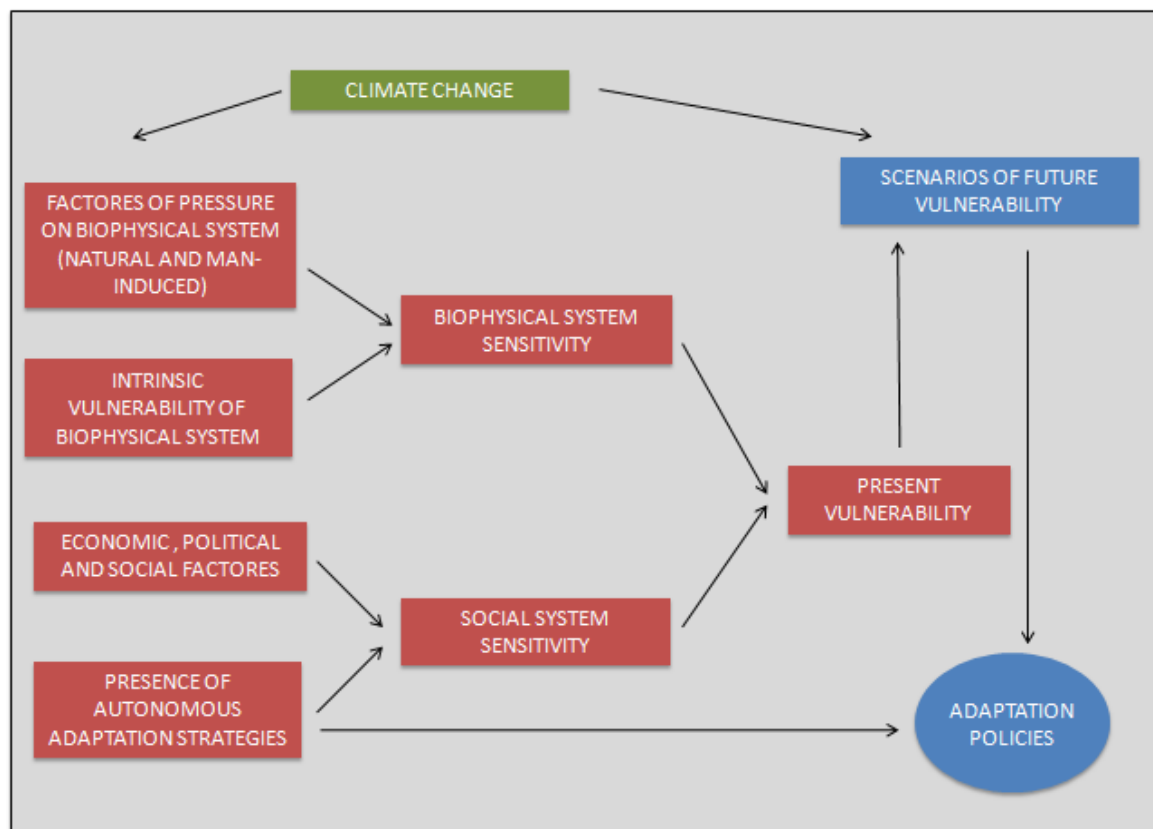


Figura 2.24 Schema concettuale utilizzato per lo sviluppo del metodo di studio proposto

Seguendo tale modello concettuale, la struttura della ricerca è dunque articolata in 3 fasi:

- Fase 1 e Fase 2: raccolta ed elaborazione dati.
- Fase 3: esposizione dei risultati.

La prima fase del processo di valutazione consiste nell'analisi della sensibilità del sistema biofisico rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera.

Come visibile dallo schema mostrato in Figura 2.24 la sensibilità del sistema biofisico può essere espressa in funzione di 2 fattori:

- I fattori di pressione sul sistema, sia naturali che antropici (sovrasfruttamento della falda; impermeabilizzazione del suolo; effetti del cambiamento climatico).
- La vulnerabilità intrinseca del sistema biofisico, dipendente dalle caratteristiche chimico-fisiche del sistema, che determinano il grado di esposizione (caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero; fattori naturali di salinizzazione).

All'interno di questa parte della ricerca viene proposta una metodologia di analisi del fenomeno dell'intrusione salina negli acquiferi costieri (entità ed evoluzione nel tempo del fenomeno), compatibile con l'area di studio selezionata e la disponibilità di dati, che spesso nei contesti urbani dei paesi del sud del mondo può essere piuttosto limitata.

Tale attività richiede una fase di lavoro sul campo necessaria per comprendere le dinamiche territoriali che possono rappresentare fattori di pressione sul sistema biofisico (processo di urbanizzazione e tipologia di uso del suolo, gestione della risorsa idrica, variabilità climatica), nonché per raccogliere i dati necessari a definire le proprietà del sistema costiero (caratteristiche climatiche, morfologiche, geologiche, idrogeologiche, parametri fisico-chimici delle acque sotterranee).

I fattori di pressione sono definiti rispetto allo stato attuale, considerando il cambiamento climatico come una possibile fonte di incremento dello stress sul sistema biofisico.

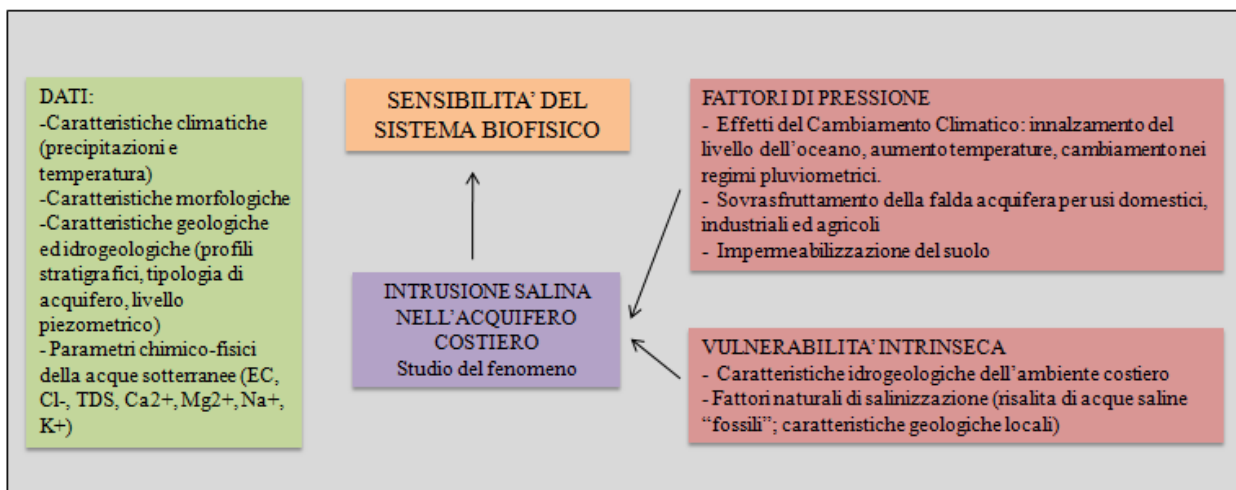


Figura 2.25 Sensibilità del sistema biofisico rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero

La seconda fase del processo di valutazione consiste nell'analisi della sensibilità del sistema sociale rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee. Tale parametro, come si è

visto, è influenzato da fattori sociologici, economici, politici e geografici, propri del territorio in studio.

All'interno di questa parte della ricerca viene proposta, compatibilmente con i dati disponibili, una metodologia di analisi basata sull'individuazione di un indice che rappresenti il grado di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee (grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea), attraverso la costruzione di opportuni indicatori che, descrivendo le caratteristiche socio-economiche, insediative e funzionali del territorio in studio, permettano di definire la tipologia prevalente di approvvigionamento idrico delle comunità insediate.

Tale attività richiede una fase di lavoro sul campo necessaria per raccogliere i dati utili a definire le proprietà del sistema sociale (distribuzione demografica, potere economico dei differenti gruppi sociali, tipologia e qualità del tessuto urbano, tipologia e composizione delle attività economiche, tipologia di uso del suolo, qualità del servizio idrico cittadino, pratiche di approvvigionamento idrico).

Le attività di ricerca svolte sul campo necessarie per lo sviluppo delle prime 2 fasi del processo di valutazione sono di 3 tipologie:

- Raccolta di dati bibliografici ed istituzionali (sistema biofisico e sistema sociale).
- Monitoraggio idrogeologico (sistema biofisico).
- Rilievi spaziali ed interviste qualitative (sistema sociale).

La terza fase del processo di valutazione consiste nell'individuazione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera, attraverso la sovrapposizione dei risultati ottenuti dall'analisi della sensibilità del sistema biofisico, con i risultati ottenuti dall'analisi della sensibilità del sistema sociale.

Il procedimento per la definizione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto alla salinazione dell'acquifero costiero si basa su una serie di operazioni che, partendo dai risultati ottenuti nella precedenti 2 fasi (elaborazione dati), permettono la costruzione di carte tematiche che visualizzano la criticità del territorio in studio sulla base della sua sensibilità fisica e sociale (esposizione risultati).

Coerentemente con l'obiettivo generale di questo lavoro di tesi (testare una metodologia di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero in un contesto urbano del sud del mondo), il metodo di studio proposto si conclude con la definizione della vulnerabilità presente delle comunità, ossia con l'individuazione delle aree da considerarsi prioritarie per le azioni di adattamento al cambiamento climatico, senza focalizzarsi sulle possibili strategie di adattamento specifiche per l'area di studio selezionata.

Difatti la finalità specifica della metodologia di valutazione proposta è proprio quella di individuare le aree che presentano alti livelli di criticità, dove si dovrebbero focalizzare le possibili azioni di adattamento, sia di tipo tecnico che politico. Ed al tempo stesso costituisce un supporto informativo, rispetto al quale è possibile costruire scenari di vulnerabilità futura sotto differenti condizioni climatiche e socio-economiche, con lo scopo di indirizzare ed identificare le opzioni di intervento sulla base di diversi criteri di priorità ed in accordo con i fattori che rendono una comunità socialmente vulnerabile.

### 3. IL CASO DI STUDIO: DAR ES SALAAM, TANZANIA

#### 3.1. Criteri di selezione dell'area di studio

Come è stato mostrato precedentemente, l'obiettivo principale del presente lavoro di tesi è quello di testare, in un contesto urbano di un paese del sud del mondo, una metodologia di studio, inserita all'interno di un framework di riferimento internazionale per la definizione di possibili strategie di adattamento agli effetti del cambiamento climatico (UNFCCC, IPCC), che permetta la valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero.

A tal proposito si aveva la necessità di reperire un'area che possedesse determinati requisiti, in modo da poter sviluppare il metodo di analisi proposto.

I principali criteri utilizzati per l'individuazione dell'area di studio sono stati:

- Appartenenza ad una città costiera di un paese del sud del mondo.
- Presenza all'interno dell'area di zone con caratteristiche insediative diversificate (presenza di aree pianificate ed aree informali).
- Presenza di problematiche relative all'accesso ad una risorsa idrica di buona qualità da parte degli abitanti.
- Presenza di aree dedicate all'agricoltura urbana.
- Esistenza di scenari di cambiamento climatico formulati dall'IPCC.

Come caso di studio è stata selezionata la città di Dar es Salaam, nella Repubblica Unità di Tanzania (Africa Sub-Sahariana). Le ragioni che hanno portato a scegliere tale centro urbano sono state le seguenti:

- La Tanzania è uno dei LDCs (*Least Developed Countries*).
- Dar es Salaam è situata sull'Oceano Indiano e rappresenta la principale città della Tanzania.
- Da 20 anni a questa parte la città sta vivendo una rapida espansione demografica, che ha determinato un incontrollato sviluppo del tessuto urbano (estesa presenza di aree peri-urbane), la proliferazione di insediamenti informali, il deterioramento dei servizi pubblici, nonché la degradazione della qualità del sistema ambientale (in particolare rispetto alla risorsa idrica).
- A Dar es Salaam, nonostante la sufficiente disponibilità di risorsa idrica, l'accesso ad un'acqua di buona qualità risulta piuttosto difficoltoso, soprattutto per fasce più indigenti di popolazione, proprio a causa del crescente inquinamento del sistema ambientale (deterioramento delle acque superficiali e sotterranee).
- A Dar es Salaam l'attività economica principale, che impegna circa l'80% della popolazione in tutti i suoi livelli (dal lavoro sul campo alla vendita nei mercati o per strada), è rappresentata dall'agricoltura urbana.
- Dar es Salaam è una delle città che risente regolarmente dei vari rischi legati alle condizioni climatiche come le inondazioni e la siccità, le quali hanno notevoli ripercussioni sulle condizioni economiche e sulla riduzione della povertà, oltre che sul sistema ambientale.



- La Tanzania ha implementato numerose attività di progetto relative ai cambiamenti climatici, ed in particolare dispone di un Programma Nazionale di Azione per l'Adattamento al Cambiamento Climatico (NAPA, *National Adaptation Programme of Action*).

In particolare, la scelta dell'area di studio è ricaduta su di una zona localizzata lungo la fascia costiera nel quadrante nord di Dar es Salaam. Tale area, estendendosi dalle zone più centrali della città sino alle zone peri-urbane, comprende differenti tipologie di stanziamenti, che possono essere esplicativi dell'intera realtà urbana, in quanto presentano caratteristiche insediative profondamente diverse e differenti modalità di accesso alla risorsa idrica da parte degli abitanti.

In questo capitolo verranno descritte le proprietà territoriali dell'area di studio (localizzazione, caratteristiche climatiche, topografia e geomorfologia, idrologia, geologia ed idrogeologia, uso del suolo e tessuto urbano) e verranno presentate le principali caratteristiche e problematiche della città di Dar es Salaam (sviluppo urbano, caratteristiche socio-economiche ed emergenze ambientali), focalizzandosi in particolare sugli aspetti relativi alla gestione della risorsa idrica.

### 3.2. Inquadramento territoriale dell'area di studio

#### 3.2.1. Localizzazione

La Repubblica Unità di Tanzania è uno stato dell'Africa Sub-Sahariana Orientale. Confina a nord con Kenya e Uganda, a ovest con Ruanda, Burundi e Repubblica Democratica del Congo, e a sud con Zambia, Malawi e Mozambico. Mentre a est è bagnata dall'Oceano Indiano.

La Tanzania comprende, oltre alla grande regione continentale (ex-Tanganica), le isole di Zanzibar, Pemba e Mafia.

E' situata tra il 29° e 41° est di longitudine e tra il 1° e 12° sud di latitudine, coprendo un'area geografica di circa 945000 km<sup>2</sup>, il cui 6,5% è formato da corpi idrici.



Figura 3.1 Localizzazione della Repubblica Unità di Tanzania

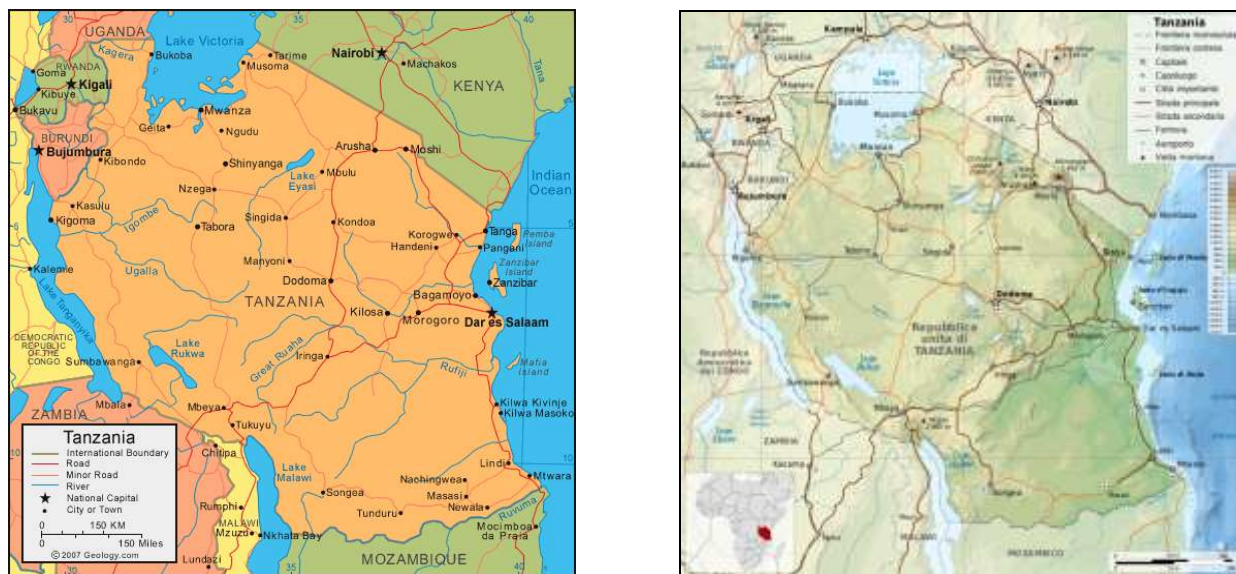


Figura 3.2 Mappa politica e geopolitica della Repubblica Unità di Tanzania

Il continente è formato nell'area centrale e settentrionale da un largo altopiano ed una serie di catene montuose, fra cui il famoso Mt. Kilimanjaro, la più alta vetta d'Africa (5895 m), mentre le aree costiera e meridionale sono prevalentemente pianeggianti. La Great Rift Valley corre lungo tutta la parte centrale del continente, contenendo molti grandi laghi, fra cui il Lago Vittoria ed il Lago Tanganica.

La popolazione della Tanzania è di circa 35 milioni di abitanti, di cui il 20% - 30% vive in aree urbane, con un processo di urbanizzazione in continuo aumento, dovuto alla migrazione dalle aree rurali.

Vi sono due centri urbani che hanno la status di Città (Dar es Salaam e Mwanza) e otto municipalità (Morogoro, Iringa, Tanga, Arusha, Tabora, Mbeya, Moshi e Dodoma). Quattro città hanno una popolazione superiore a 0,5 milioni di abitanti (Dar es Salaam, Mwanza, Dodoma e Mbeya).

La popolazione è in maggioranza di origine bantu, suddivisa in circa 120 etnie. Nel continente, nella regione occidentale, vi sono gruppi nilocamitici, mentre a Zanzibar vi è una minoranza shirazi, di origine persiana. In entrambe le regioni vi sono anche immigrati arabi, indopakistani ed europei.

I Musulmani sono il 35% della popolazione, i Cristiani il 33%, mentre il 32% della popolazione segue i culti tradizionali. A Zanzibar il 99% degli abitanti è musulmano (sciita o sunnita).

Vi sono più di 120 lingue tribali, unite da una lingua comune, lo swahili (lingua franca per l'Africa Centrale e Orientale), che con l'inglese è la lingua ufficiale della nazione.

Dar es Salaam (دار السلام, in arabo "porto/casa della pace"), all'interno della quale è localizzata l'area di studio, è la più grande città della Tanzania, ed il principale polo economico, nonché il primo porto del paese.

E' situata su una baia naturale lungo la linea di costa antistante il tratto di Oceano Indiano compreso fra le isole di Zanzibar e Mafia, che si estende per 100 km fra il fiume Mpiji a nord ed oltre il fiume Mzinga a sud, ad una latitudine fra 6°36' e 7° sud ed una longitudine fra 39° e

33°33' est. Ha un'area di circa 1400 km<sup>2</sup> ed una popolazione di circa 3 milioni di abitanti, con tasso di crescita pari a 4,39%, il quarto più alto in Africa ed il nono al mondo (AA.VV., 2004). Pur avendo perso lo status di capitale nel 1974, formalmente sostituita da Dodoma, Dar es Salaam ospita tuttora la maggior parte delle funzioni governative del paese, oltre a essere capoluogo della regione omonima.

A livello amministrativo la città è divisa in tre municipalità (*Districts*): Kinondoni, Ilala, Temeke, che, a loro volta, sono suddivisi in 73 *Wards*.



Figura 3.3 Le tre municipalità della Regione di Dar es Salaam (AA.VV., 2004)

L'area di studio si trova interamente all'interno del distretto di Kinondoni ed, in particolare, all'interno dei territori amministrativi dei *Ward* di Kunduchi, Kawe, Msasani, Kinondoni, Mwananyamala e Tandale, come si vede nelle Figure 3.4 e 3.5.

Ha una superficie di 100 km<sup>2</sup> circa, e si sviluppa per un tratto di costa di lunghezza pari a circa 29 km a nord del centro città di Dar es Salaam, confinando verso est con l'Oceano Indiano.

Il confine occidentale è rappresentato dall'altopiano (*Dar es Salaam Plateau*) che si erge ad ovest dell'Oceano lungo tutta l'area di studio. Il confine meridionale corrisponde all'ultimo tratto

del Fiume Msimbazi, che scorre nella pianura costiera prima di sfociare nell'Oceano Indiano, a sud della Msasani Peninsula, mentre il confine settentrionale si trova poco a nord del corso del Fiume Tegeta.

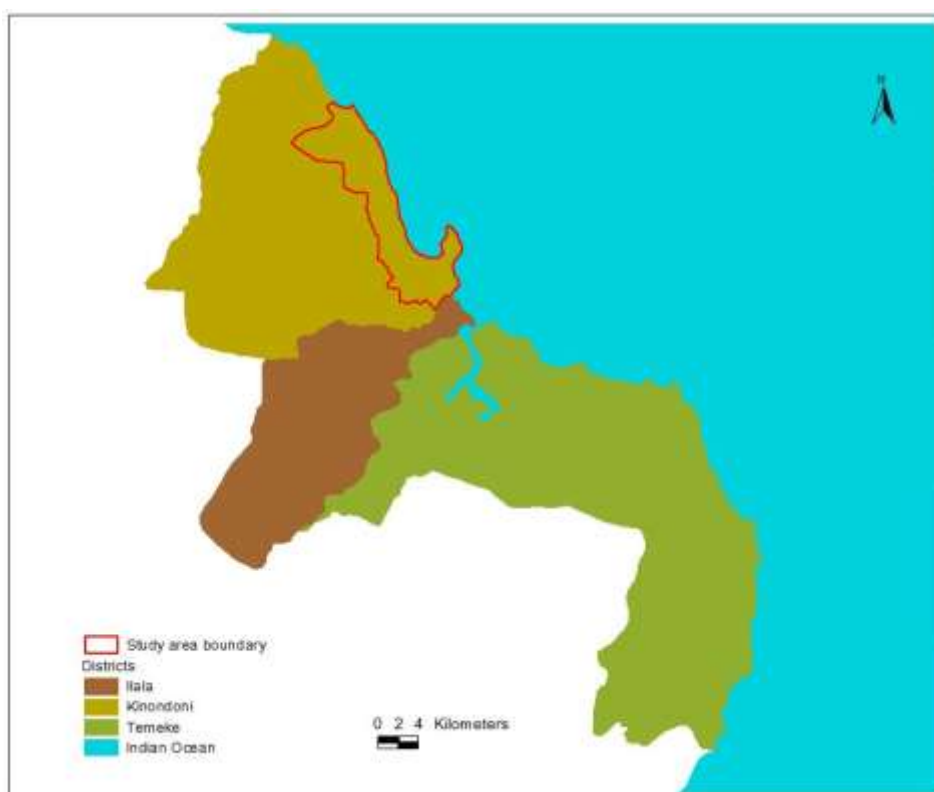


Figura 3.4 L'area di studio e le 3 Municipalità di Dar es Salaam

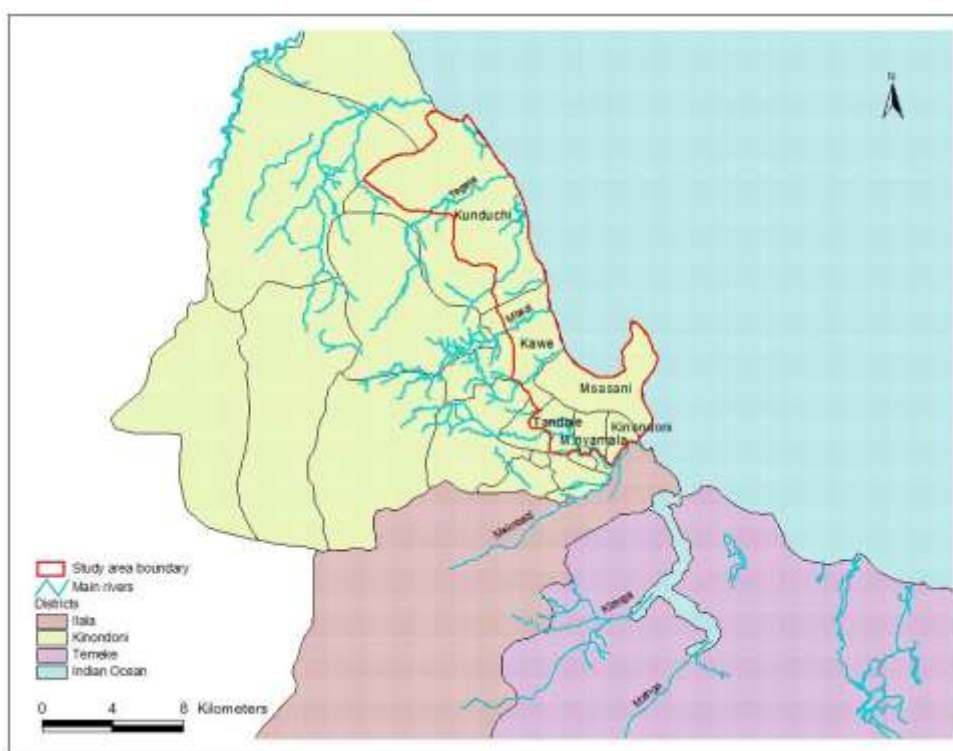


Figura 3.5 I *Ward* corrispondenti all'area di studio



La zona di studio si sviluppa lungo la Bagamoyo Road, una delle strade principali di Dar es Salaam, e comprende parte delle aree urbane di Kinondoni, Oysterbay, Msasani, Mikocheni, Mwananyamala, Kijitonyama, Mwenge, Kawe, Mbezi Beach e le aree più periferiche di Kunduchi e Tegeta.

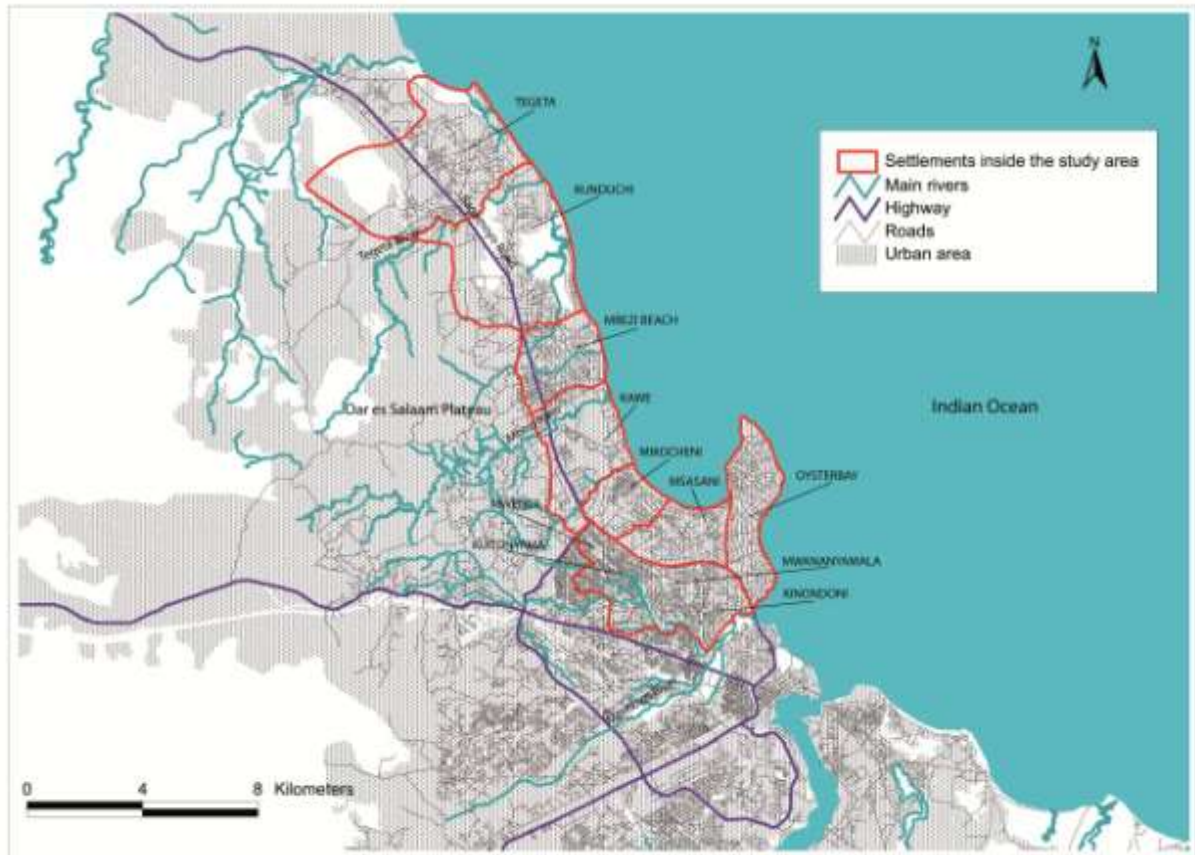


Figura 3.6 Localizzazione dell'area di studio

### 3.2.2. Caratteristiche climatiche

In generale, la variabilità climatica interannuale nell'Africa Orientale è determinata da fattori naturali differenti. L'Oscillazione Meridionale El-Niño (*El Niño-Southern Oscillation*, ENSO), che si verifica nell'Oceano Pacifico Centrale in media ogni 5 anni, rappresenta la principale perturbazione atmosferica interannuale. L'ENSO presenta una componente oceanica, chiamata *El Niño* o *La Niña*, caratterizzato il primo da un riscaldamento e la seconda da un raffreddamento delle correnti dell'Oceano Pacifico centro-orientale, e una componente atmosferica, chiamata *Oscillazione Meridionale*, caratterizzata da cambiamenti della pressione nel Pacifico centro-occidentale. Le due componenti sono accoppiate: quando è in corso la fase di riscaldamento delle acque (*El Niño*), la pressione del Pacifico occidentale è alta e quando è in corso la fase di raffreddamento delle acque (*La Niña*), la pressione del Pacifico occidentale è bassa. Tale oscillazione climatica causa interannualmente condizioni di siccità o, viceversa, condizioni estreme di piovosità, con forte rischio di inondazioni.

Le condizioni climatiche stagionali sono invece influenzate, da Aprile fino ad Ottobre, dal monsone invernale che soffia da sud e da sud-ovest, mentre, tra Novembre e Marzo, dal monsone estivo che spirava da nord-est.

I dati climatici di seguito presentati sono stati ricavati dall'archivio climatico della *Tanzania Meteorological Agency* (TMA) e si riferiscono alla stazione climatica ubicata all'Aeroporto Internazionale di Dar es Salaam (dati relativi al periodo 1971-2006).

La Regione di Dar es Salaam ha un clima tropicale tipico delle aree costiere a queste latitudini, con una temperatura media mensile tra i 24°C e 28°C, una temperatura media annua di 25,8°C ed una umidità relativa del 71%.

La stagione più calda va da Ottobre a Marzo con temperature che possono arrivare anche a 35°C, mentre tra Maggio ed Agosto il clima è più mite, con temperature medie intorno ai 25°C.

Il regime pluviometrico è di tipo bimodale; infatti vi sono due principali stagioni piovose: le *Short Rain* (Piogge brevi) fra Ottobre e Dicembre con una precipitazione media mensile fra 116 mm e 125 mm, e le *Long Rain* (Piogge lunghe) fra Marzo e Maggio con una precipitazione media mensile fra 184 mm e 215 mm.

Come è possibile osservare in Figura 3.7, vi sono due picchi di precipitazioni, corrispondenti al mese di Aprile per le *Long Rain* ed al mese di Ottobre per le *Short Rain*.

In totale la precipitazione media annua risulta essere pari a 1149 mm, mentre l'evapotraspirazione potenziale (PET) media totale, è uguale a 1965 mm per anno. In particolare, solo durante le *Long Rain* il valore di precipitazione media risulta essere sempre superiore al valore di evapotraspirazione potenziale media.

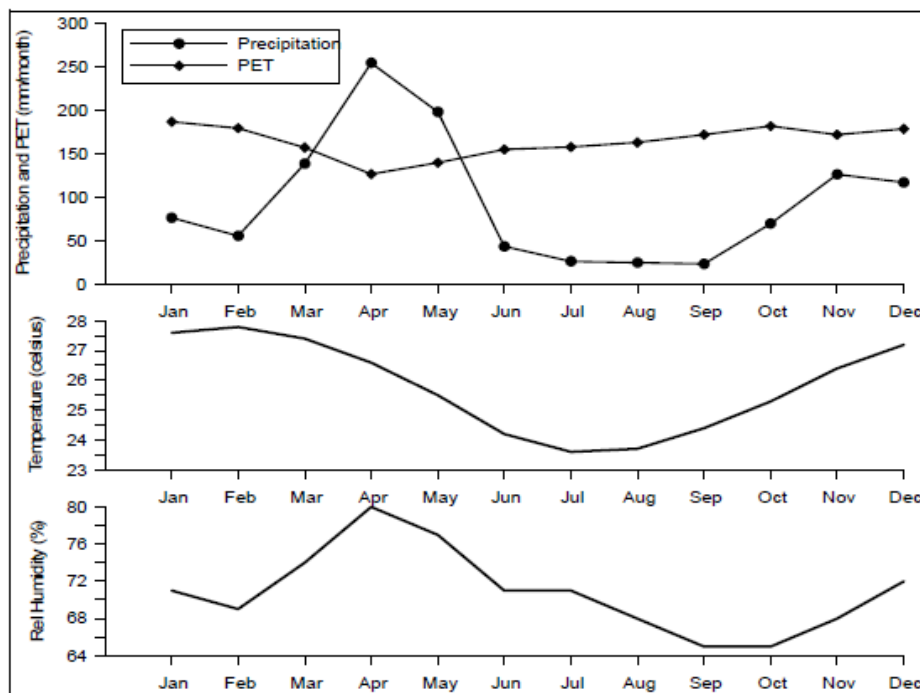


Figura 3.7 Media dei valori medi mensili di Precipitazione (P), Temperatura (T), Umidità relativa (RH) ed Evapotraspirazione Potenziale (PET) (1971-2006) (Mjemah, 2007)

### 3.2.3. Topografia e geomorfologia

La topografia della Regione di Dar es Salaam è piuttosto variabile ed è caratterizzata da una serie di rilievi che formano colline, a nord-ovest e sud-est dell'area urbana, delimitanti una pianura costiera di carattere alluvionale, dove si espande principalmente la città.

La direzione dei due rilievi collinari è NE-SO, fra i quali le più importanti sono le Pugu Hills, con una altitudine massima di 330 m, che si estendono da Dar es Salaam fino a Kirasawe verso sud-ovest. Verso est i rilievi diminuiscono fino a 0 m lungo la linea di costa.



Figura 3.8 Caratteristiche morfologiche dell'area di studio

In generale all'interno della Regione di Dar es Salaam e dell'area di studio si trovano le seguenti forme geomorfologiche:

- La zona costiera strettamente confinante con l'Oceano Indiano e la Pianura Costiera, caratterizzata da spiagge con dune sabbiose e piane di marea. Rispetto all'area di studio, la spiaggia si estende quasi continuamente dal piede nord della Mtwara Peninsula, una penisola formata per lo più da scogliere calcaree di origine corallina, verso nord, lungo i distretti di Mtwara, Kawe e Kunduchi.

E' una spiaggia scoscesa con una leggera pendenza, protetta talvolta da scogliere rocciose sulla terraferma ed in mare dai depositi corallini (ormai profondamente danneggiati dalla

pesca a dinamite), che formano l'arcipelago di isole di origine corallina (Bongoyo, Pangavini e Mbudya Islands), costituenti la Riserva Marina dell'Isola di Bongoyo, che si trovano qualche chilometro di fronte alla linea di costa.

La spiaggia è di origine alluvionale ed è composta principalmente da sabbia fine quarzosa con presenza di minerali dilavati mischiati a materiale calcareo. Inoltre è spesso interrotta dai delta di molti corsi d'acqua di dimensioni variabili (nell'area di studio quelli maggiori sono il Fiume Mbezi, il Fiume Tegeta ed il Fiume Msimbazi), che sfociano nell'Oceano Indiano, con presenza di piane alluvionali. Altre forme morfologiche presenti nell'area costiera sono paludi salate e lagune argillo-limose, presenti soprattutto nell'area di Kunduchi.

- La Pianura Costiera di natura sabbiosa che si estende nell'area centrale di Dar es Salaam verso ovest dalla costa fino alle Pugu Hills, costituita da sabbia bianco-lucida del Quaternario e depositi ghiaiosi. La pianura è relativamente piatta e solcata da numerose ed ampie valli fluviali a forma di U, delimitate da argini piuttosto ripidi, che culminano in insenature o mangrovieti prima di sfociare nell'Oceano Indiano. Inoltre contiene numerosi piccoli laghi, paludi ed aree umide, perlopiù di natura stagionale, e talvolta al di sotto del livello del mare, costituiti da terreno argilloso, che impedisce il naturale drenaggio dell'acqua. Tali lagune, come già detto, nelle vicinanze della costa, diventano paludi salate. La pianura costiera si estende da 0 m a 60 m sul livello del mare, formando terrazzamenti (alcuni ad una altitudine di 100 m), con una pendenza variabile dal 0% al 5% .

Gran parte della città si estende nell'area centrale della piana per un tratto superiore ai 10 km, mentre verso nord, nell'area di studio, la pianura si restringe fino a 2 km nel distretto di Kawe, per poi riallargarsi fino ad 8 km nella zona dell'alveo del Fiume Mpiji. Mentre nella zona a sud-est della città, dove il rilievo è più irregolare l'ampiezza della pianura varia da 5 km a 8 km.

- Un'area collinare di media altitudine che si estende al limite nord-ovest e sud-est della città, fra la pianura costiera e le Pugu Hills, costituita dall'affioramento di depositi sabbiosi-argillosi di natura deltaico-marina (Mio-Pliocene), e di formazioni ghiaiose. Ha una altitudine variabile da 60 m a 160 m, con una pendenza tra il 2% ed l'8% nell'area nord-ovest, e fra il 2% ed il 6% nell'area sud-est.

Tale struttura geomorfologica costituisce il confine occidentale dell'area di studio.

- Il grande affioramento di arenaria caolinica del tardo Miocene, che costituisce il blocco di colline, chiamate Pugu Hills, profondamente sezionate, che circondano la città ad ovest, caratterizzate da versanti ripidi ed a forma di V. Hanno un'altitudine variabile da 120 m a 330 m, con una pendenza superiore al 6%. Le colline sono profondamente segnate dall'erosione e solcate da numerosi torrenti e fiumi. Vi sono comunque creste relativamente piatte, dove si osserva la presenza di insediamenti urbani-rurali. Tale struttura geomorfologica non è presente all'interno dell'area di studio.



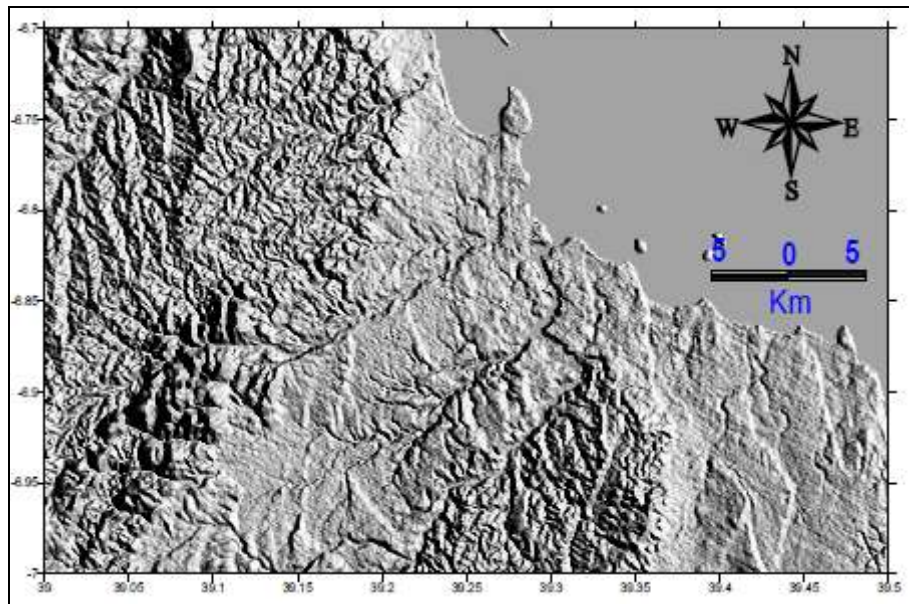


Figura 3.9 DTM dell'area di Dar es Salaam (Mjemah, 2007)

### 3.2.4. Idrologia

La Tanzania è caratterizzata dalla presenza di numerose e differenti tipologie di risorse idriche. Infatti nel territorio vi è abbondanza di fiumi, laghi, aree umide ed acquiferi. Il paese può essere suddiviso in 9 grandi bacini idrografici, come si può osservare in Figura 3.10 (Mjemah, 2007). La Tanzania condivide con i paesi confinanti 11 laghi e fiumi internazionali, fra cui i Grandi Laghi dell' Est Africa (Lago Vittoria, Lago Tanganica e Lago Nyasa), i Laghi Chala e Jipe, ed i Fiumi Kagera, Mara, Pangani, Umba, Ruvuma e Songwe.

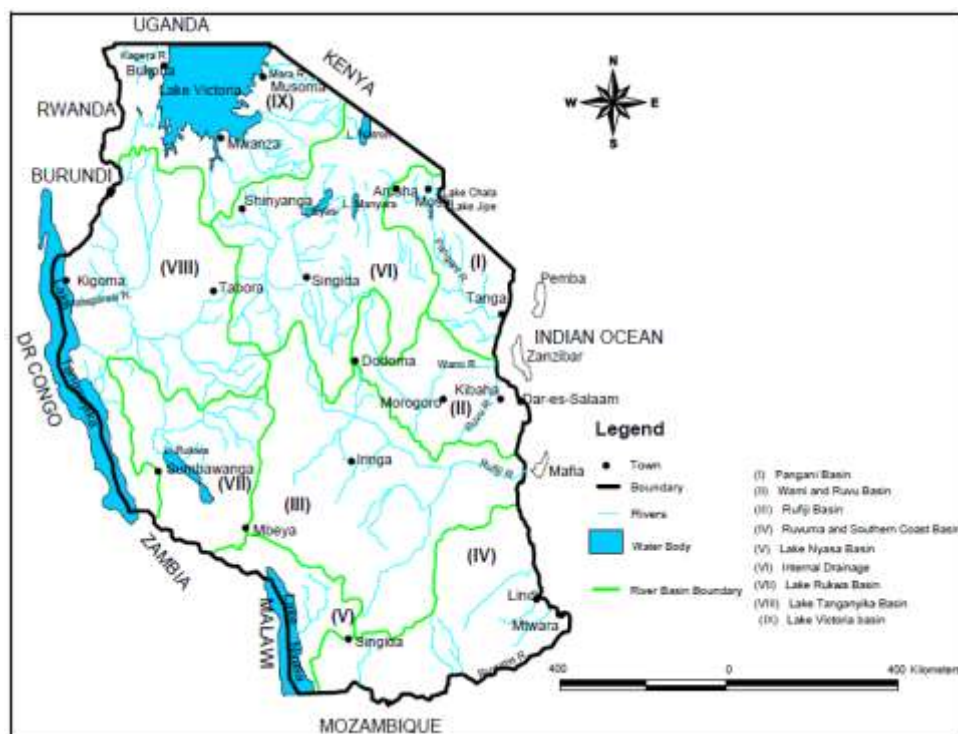


Figura 3.10 Principali bacini idrografici in Tanzania (Mjemah, 2007)

La Regione di Dar es Salaam si trova all'interno del bacino idrografico dei Fiumi Ruvu e Wami. Il sistema idrologico all'interno dell'area urbana di Dar es Salaam comprende quattro fiumi principali, chiamati Fiumi Mzinga, Kizinga, Msimbazi e Mbezi, nonché svariati corsi d'acqua minori, di carattere stagionale.

Nella Figura 3.11 sono mostrati i principali corsi d'acqua presenti nell'area urbana di Dar es Salaam, mentre in Tabella 3.1 sono mostrate le caratteristiche di estensione superficiale ed altitudine dei rispettivi bacini idrografici.



Figura 3.11 Corsi d'acqua presenti nell'area urbana di Dar es Salaam

| River Name      | Basin area [km <sup>2</sup> ] | Average elevation [m] |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|
| <b>Mbezi</b>    | 312                           | 77,7                  |
| <b>Msimbazi</b> | 319                           | 115,4                 |
| <b>Kizinga</b>  | 249                           | 88,9                  |
| <b>Mzinga</b>   | 615                           | 109,5                 |

Tabella 3.1 Caratteristiche dei principali bacini idrografici dell'area urbana di Dar es Salaam (JICA, 2005)

In particolare, all'interno dell'area di studio scorrono due fiumi principali: il Fiume Msimbazi, a sud della Msasani Peninsula, ed il Fiume Mbezi, nell'area di Kawe, oltreché svariati corsi d'acqua minori, fra i quali il più importante è il Fiume Tegeta, che scorre nell'area di Kunduchi. Per quanto concerne le caratteristiche di deflusso, i Fiumi Mzinga, Kizinga e Msimbazi sono corsi d'acqua perenni, mentre il Fiume Mbezi è stagionale, quasi sempre asciutto, eccetto che nelle stagioni piovose.

In particolare, Mjemah (2007) ha effettuato, nella stagione secca, una campagna di misurazioni della portata e del flusso di base dei principali fiumi nell'area urbana di Dar es Salaam, per determinare le dinamiche di scambio d'acqua fra il fiume e la falda acquifera, in assenza di eventi di pioggia.

Essendo il fiume e la falda acquifera dinamicamente connessi, l'acqua sotterranea rappresenta una importante risorsa per il deflusso minimo di un fiume, specialmente nelle stagioni secche, quando l'apporto meteorico risulta ridotto.

Il caso in cui il corso d'acqua incrementi la propria portata verso valle, in assenza di affluenti, implica un aumento del flusso di base, viceversa una diminuzione della portata verso valle significa la perdita dell'acqua superficiale per infiltrazione o per evapotraspirazione.

Dai risultati di Mjemah risulta che il Fiume Mzinga ed il Fiume Kizinga, nella stagione secca, sono sostenuti dalla ricarica proveniente dalla falda acquifera e per questo motivo rimangono perenni per tutto l'anno.

Il fiume Kizinga ha una portata media superiore rispetto al Fiume Mzinga, proprio perché è localizzato completamente all'interno del deposito sabbioso del Pleistocene, che favorisce la ricarica dalla falda acquifera, mentre il fiume Mzinga è localizzato al confine tra il deposito sabbioso del Pleistocene e il deposito sabbioso argilloso del Mio-Pliocene, favorendo un elevato runoff nelle stagioni di pioggia, ma una inferiore ricarica dall'acquifero nelle stagioni secche.

Anche il Fiume Msimbazi risulta essere sostenuto dalla ricarica proveniente dalla falda acquifera e per questo motivo rimane perenne per tutto l'anno.

Mentre il Fiume Mbezi risulta essere stagionale, con presenza di acqua solo nella stagione delle piogge. Ciò può essere relazionato con la tipologia di deposito geologico presente nelle aree di alimentazione (sabbia argillosa del Mio-Pliocene), che, essendo caratterizzato da bassi valori di trasmissività, non favorisce la ricarica dalla falda acquifera, determinando una assenza di deflusso di base, ma garantendo un runoff molto sostenuto nella stagione piovosa.



Foto 3.1 Fiume Mbezi durante la stagione delle piogge

### 3.2.5. Geologia ed idrogeologia

L'area costiera centrale della Tanzania, delimitata dalle piane alluvionali del Fiume Ruvu e del Fiume Rufiji, e dall'Oceano Indiano, è caratterizzata essenzialmente dalla presenza di



affioramenti del Cretaceo e del Neogene. Tale area include gran parte della baia di Dar es Salaam (13000 km<sup>2</sup>), dove la cintura di sedimenti costieri raggiunge la sua massima larghezza di 160 km. Buona parte di queste formazioni rocciose sono ricoperte dai depositi fluviali della pianura costiera, provenienti dalle valli dei fiumi Ruvu e Rufiji, depositatisi tra il Neogene e l'Era Recente. La Figura 3.12 mostra lo spessore e la distribuzione del sistema geologico e di fagliamento della piattaforma costiera (Msindai, 1988).

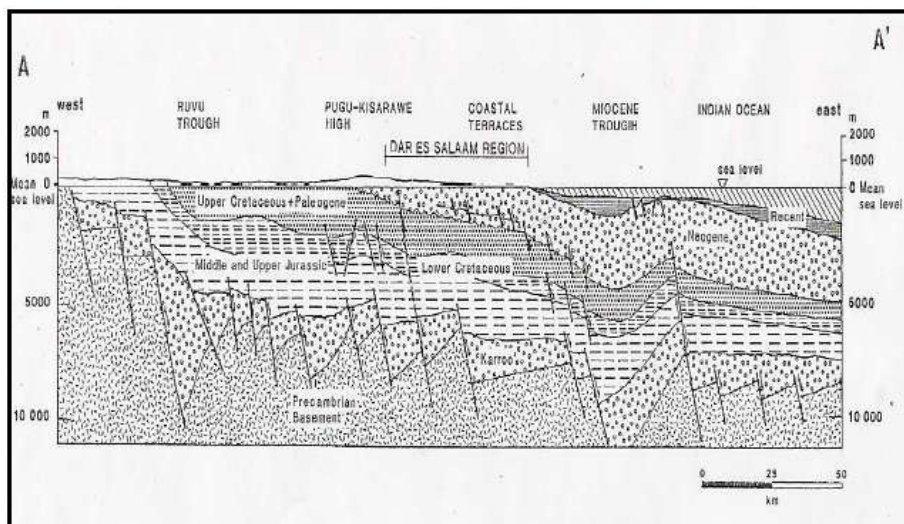


Figura 3.12 Profilo del terreno che mostra il modello di sedimentazione e fagliamento della piattaforma costiera centrale tanzaniana (Msindai, 1988)

La struttura geologica dell'area costiera di Dar es Salaam (che comprende interamente l'area di studio) è costituita da quattro maggiori formazioni geologiche: sabbie e ghiaie miste ad argilla del Neogene (Mio-Pliocene, *Clay-bound sands and gravels*), depositi calcarei di origine corallina del Quaternario (Pleistocene, *Raised coral reef limestones*), sabbie e ghiaie bianche dilavate miste ad argilla del Quaternario (Pleistocene, *White-buff sands and gravels*), nonché depositi alluvionali del Quaternario (Pleistocene to Recent, *Alluvional and river terraces*). Inoltre nell'entroterra di Dar es Salaam, all'esterno dell'area di studio, vi è la presenza di depositi geologici del Neogene (Miocene Inferiore): le arenarie caolinitiche delle Pugu Hills (*Pugu kaolinitic sandstones*).

Dunque nell'area di studio le formazioni affioranti appartengono a due principali periodi geologici: il Quaternario ed il Neogene. Si presuppone che si siano depositati in un ambiente fluvio-deltaico con presenza di intercalazioni marine lungo la linea di costa. Le Montagne Uluguru, che si ergono nei pressi di Morogoro, ad ovest di Dar es Salaam, sono probabilmente la sorgente della maggior parte del materiale deposto nell'area.

All'interno del blocco di Dar es Salaam sono presenti tre gruppi importanti di faglie (Msindai, 1988): le faglie delle Pugu e Kirasawe Hills, che hanno causato l'innalzamento delle Pugu Hills; la faglia al bordo est delle Pugu Hills, che hanno causato l'abbassamento del blocco di Dar es Salaam, con sviluppo della valle costiera, successivamente occupata dai sedimenti fluviali del Quaternario; e la faglia a nord della città, al confine dell'area di studio, che suddivide i depositi deltaici del Mio-Pliocene, con i depositi sabbiosi del Quaternario. La carta geologica dell'area di Dar es Salaam è mostrata in Figura 3.13.

|                 |        |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------|--------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| HOLOCENE/RECENT |        |                                                                           | C.O.D. rising sea levels giving rise to erosion 2m. terrace (Threfall, 1950; Chittick, 1962; Battistini 1966) <u>post-glacial maximum</u><br>Rising sea level to C.O.D                                                                                                                                                                                             |
| PLEISTOCENE     | Upper  | Eustatic fluctuations of sea level-not fully worked out-insufficient data | 40m. submerged channel (koert, 1913)<br>12m. terraces (Alexander, 1968)= 30m terrace at Bagamoyo (Moore, 1963) (23,800)= 1,000 B.P Alexander 1965).<br>Faulting leading to the deformation of the older reefal limestones.                                                                                                                                         |
|                 | Middle |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                 | Lower  |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PLIOCENE        | Upper  |                                                                           | Wazo Kunduchi and? Kimbiji-Buyuni marine limestones (Holroyd, 1954 Moore, 1963)                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                 | Lower  |                                                                           | Faulting probably plio-pleistocene, leading to deformation of the Neogene erosion surface; development of the Ruvu fault? (Saggerson & Baker, 1965).<br>Erosion leading to the development of a Neogene erosion surface (Spence, 1957 Bartholomew, 1963); no upper Miocene or Pliocene rocks in the area.                                                          |
| MIOCENE         | Lower  |                                                                           | Uplift and marine regression? Movement along coastal faults.<br>Clay bound sand mbiji series deltanic estuarine facies with marine intercalations i.e. minor marine oscillations.<br>Minor unconformity.<br><u>Kaolinitic and dolomitic sandstones and shales of the Pugu series.</u><br>(Reck & Dietrich, 1921; Quennel, Mckinlay & Aitken, 1956; Zehnder, 1958). |

Tabella 3.2 Storia geologica dal Neogene al Quaternario (JICA, 2005)

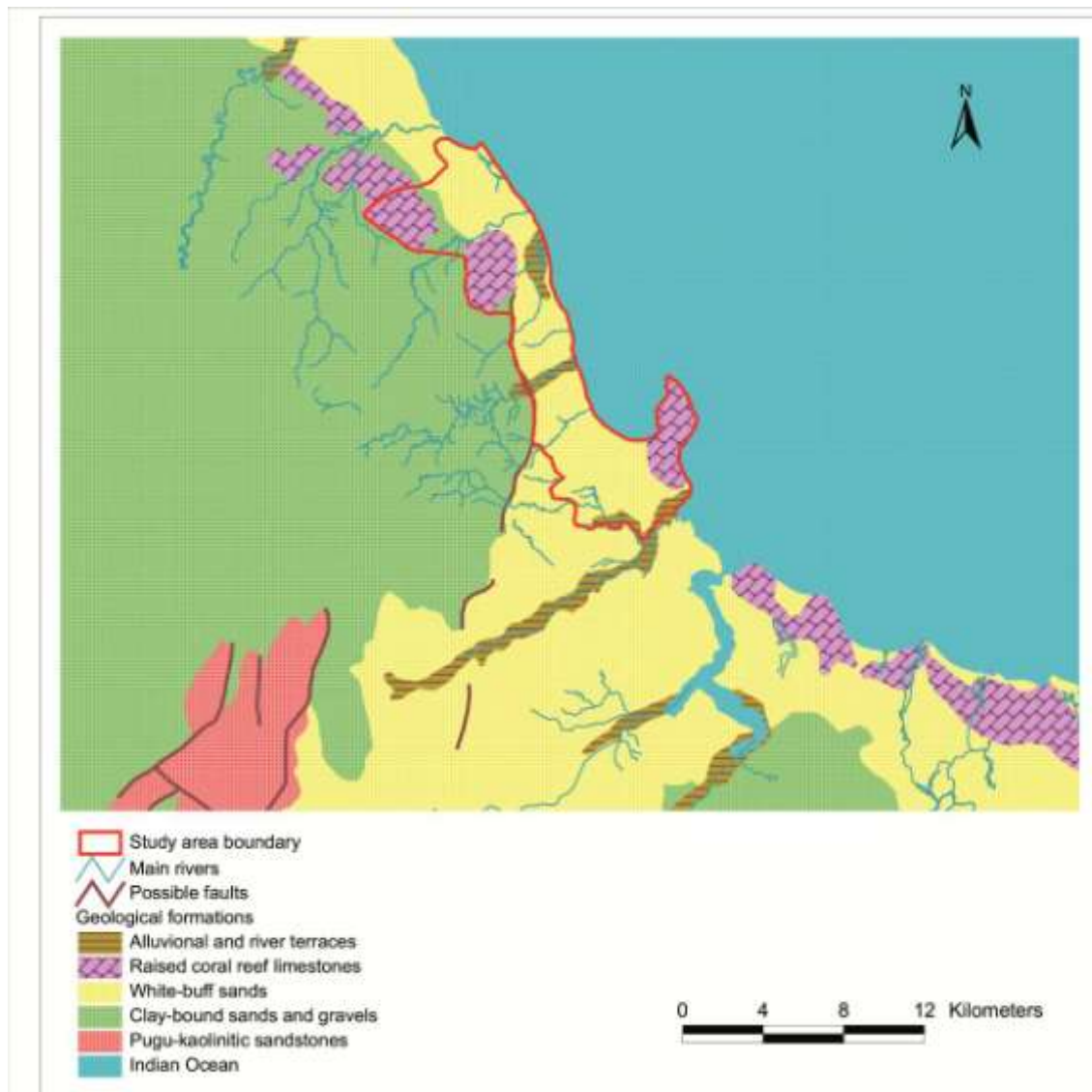


Figura 3.13 Carta geologica dell'area di Dar es Salaam

Per definire l'assetto geologico del sottosuolo sono state ricostruite 4 sezioni geologiche, distribuite lungo l'area di studio (di cui 3 trasversali ed 1 parallela alla linea di costa), attraverso l'interpretazione e la correlazione di sondaggi stratigrafici relativi a 26 pozzi analizzati.

La localizzazione delle sezioni è mostrata in Figura 3.14, mentre le sezioni geologiche sono mostrate in Tavola 1.

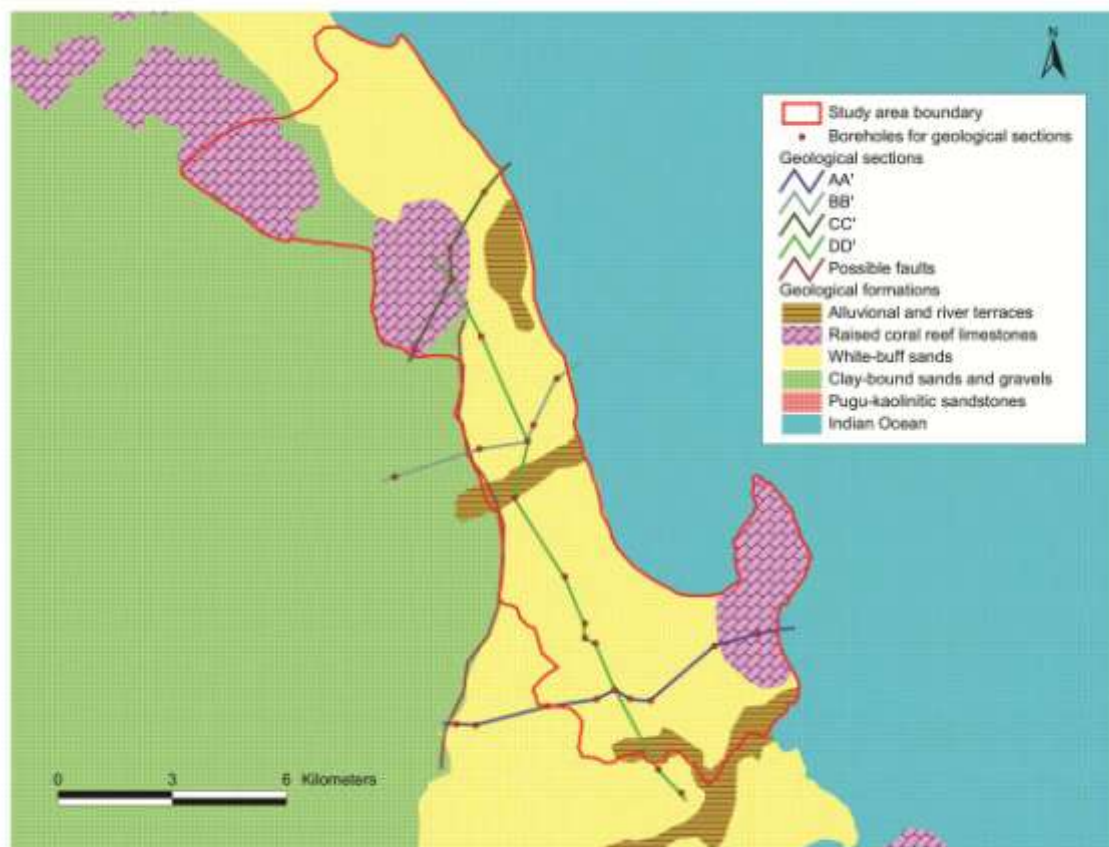


Figura 3.14 Carta geologica con planimetria delle sezioni costruite

Le formazioni del Quaternario (Pleistocene e Olocene), che nei profili stratigrafici di alcuni pozzi arrivano fino a 150 m di profondità, sono diffuse prevalentemente nelle aree prossime alla costa, e colmano la depressione tettonica originatasi dal ribassamento delle formazioni del Neogene. All'interno dell'area di studio, il Quaternario è rappresentato da tre differenti unità stratigrafiche dalle caratteristiche estremamente differenti: depositi alluvionali, depositi sabbiosi della pianura costiera e depositi calcarei.

I depositi alluvionali del Pleistocene e del Olocene consistono essenzialmente di sabbia, argilla e, talvolta, ghiaia e ciottoli grossolani, e si trovano prevalentemente lungo le recenti piane alluvionali dei fiumi Msimbazi e Mbezi, la laguna salata di Kunduchi ed i mangrovieti alla foce (sistema deltizio) dei suddetti corsi d'acqua.

I depositi calcarei del Pleistocene sono costituiti da materiali coralliferi e si trovano principalmente in una stretta striscia che si espande lungo la costa. Sono generalmente erosi e ricoperti sulla superficie dalle sabbie bianche dilavate, eccetto nella Msasani Peninsula ed a nord

di Kunduchi dove affiorano. Talvolta lungo le aree costiere maggiormente inclinate si possono trovare anche depositi limosi trasportati dal vento.

I depositi prevalentemente sabbiosi del Pleistocene sono costituiti da sabbie e ghiaie bianche dilavate, intercalate da lenti argillose, ed affiorano in corrispondenza della pianura costiera interna all'area di studio. Vicino alla costa degradano in sabbia marina o limi, ricchi in frammenti di conchiglie.

Le sabbie bianche dilavate hanno una origine deltaico-fluviale e derivano dall'erosione dei materiali depositi nel Neogene (*Pugu sandstones e clay bound sands*). La parte superficiale di tale formazione sabbiosa è considerata come un deposito recente, come si evince nei profili stratigrafici di alcuni pozzi, che hanno mostrato come tale formazione sia sovrapposta all'argilla che, a sua volta, sovrappone la pietra calcarea ad una profondità di 9-11 m sotto la superficie del terreno.

Le sabbie delle spiagge sono situate parallelamente alla linea di costa e consistono in fasce alternate di minerali pesanti come ilmenite, kyanite, rutilo intercalati con spesse strisce di quarzo e feldspati (Msindai, 1988).

I depositi del Neogene (Miocene e Pliocene) hanno uno spessore superiore ai 1000 m e si estendono nella parte centrale della baia di Dar es Salaam, al bordo della pianura sabbiosa costiera del Quaternario. Tale deposito è caratterizzato da due tipi di formazioni: depositi di materiale indifferenziato e i depositi di arenarie caolinitiche della Pugu Hills, che giacciono al di fuori dell'area di studio.

I depositi di materiale indifferenziato del Mio-Pliocene sono costituiti da argilla sabbiosa interstratificata con sabbia argillosa, con presenza di alcune lenti di sabbia pura, argilla pura e ghiaia e si estendono sull'altipiano al bordo della pianura sabbiosa costiera. Sono generalmente chiamati, come visto precedentemente, "clay-bound sands and gravels". Le parti più grossolane contengono ciottoli arrotondati di quarzo, quarzite e gneiss con feldspato spigoloso (Msindai, 2008). Tali depositi (che possono avere uno spessore superiore ai 700 m) giacciono al di sotto della piana costiera del Quaternario, ed al di sopra delle arenarie delle Pugu Hills, affiorando nella parte superiore dei bacini dei fiumi Msimbazi, Mbezi e Tegeta, ed hanno uno sviluppo discordante rispetto alle arenarie delle Pugu Hills, inclinandosi verso ovest con un angolo apparentemente minore delle arenarie caolinitiche (Mjemah, 2007).

Le arenarie caolinitiche delle Pugu Hills (Miocene Inferiore), che giacciono comunque al di fuori dell'area di studio, hanno uno spessore superiore ai 1000 m, sono composte da sedimenti semi-consolidati, che consistono in sabbia e arenaria quarzose, con grani di dimensioni medie e fini, friabili, del tutto caolinitiche e talvolta feldspatiche (Mjemah, 2007). Inoltre si possono trovare in modo discontinuo anche piccole lenti di argilla o sabbie chiare, e ghiaia, diffusa nell'argilla sabbiosa, o presente in distinti strati ciottolosi.

In alcune località sono presenti frammenti di calcare, che probabilmente derivano dalla cristallizzazione secondaria del carbonato di calcio presente nell'acqua del sottosuolo.

A titolo indicativo, viene riportata in Figura 3.15 una ipotesi di sezione geologica dell'area urbana di Dar es Salaam, ricavata dai profili stratigrafici di pozzi esistenti, costruita da Mjemah (2007). Tale sezione taglia la pianura costiera grossomodo trasversalmente alla linea di costa, dalle Pugu Hills fino alla linea di costa, estendendosi al di fuori dell'area di studio.



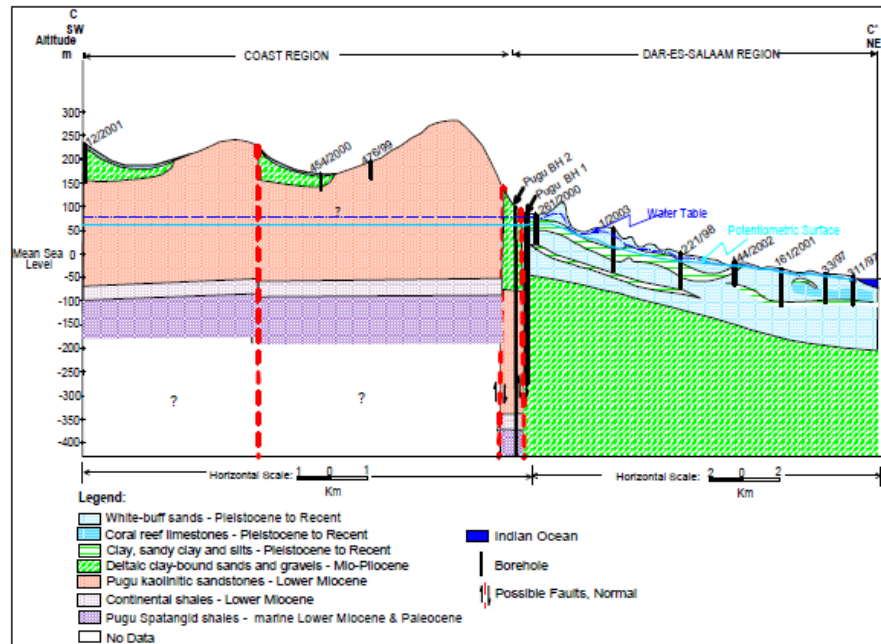


Figura 3.15 Sezione geologica della regione costiera centrale di Dar es Salaam (Mjemah, 2007)

L'interpretazione in chiave idrogeologica delle caratteristiche geologiche dell'area in esame ha permesso di definire lo schema idrogeologico concettuale. In particolare sono state ricostruite, a partire dalle sezioni geologiche prodotte, 4 sezioni idrogeologiche, in cui sono state evidenziate le formazioni acquifere, acquitarde ed acquiclude, il livello piezometrico della falda nei pozzi, e le caratteristiche costruttive dei pozzi utilizzati (localizzazione delle pompe e dei filtri). Le sezioni idrogeologiche costruite sono mostrate in Tavola 1.

Il sistema idrogeologico è costituito da due differenti acquiferi sabbiosi del Quaternario, che si sviluppano principalmente nella piana costiera, ed un acquifero multistrato del Neogene, che si sviluppa nell'altopiano ad ovest della linea di costa. Sono considerati come acquiferi stratificati, nei quali il flusso intergranulare è predominante (JICA, 2005).

Gli acquiferi sabbiosi del Quaternario risultano essere i più sfruttati per l'approvvigionamento idrico e si possono suddividere in un acquifero superficiale non confinato, che ha uno spessore massimo di 50 m ed un acquifero inferiore semi-confinato, che può raggiungere una spessore di 100 m, separati da un acquitardo argilloso. Il tipo di sedimento per entrambi gli acquiferi risulta essere lo stesso; ciò che differisce è la percentuale di elementi di diversa granulometria presenti nel suolo.

In generale, le formazioni geologiche del Quaternario possono considerarsi una buona fonte di acqua sotterranea, a causa della loro permeabilità e dell'elevato tasso di ricarica proveniente dai fiumi (Mjemah, 2007).

Data la tipologia di deposizione delle formazioni del Neogene, le sabbie miste ad argille del Mio-Pliocene e le arenarie caolinitiche delle Pugu Hills (Neogene), formano un acquifero multistrato. In generale, la presenza di strati a differente permeabilità può favorire la formazione di acquiferi confinati (JICA, 2005).

Mjemah (2007) stima che lo spessore massimo del deposito di sabbia mista ad argilla del Mio-Pliocene sia estremamente variabile e che possa raggiungere i 1000 m in alcune aree, mentre in alcune zone delle Pugu Hills risulta avere uno spessore di 100 m, giacendo al di sopra del deposito arenario caolinitico.

A causa del basso sfruttamento degli acquiferi del Neogene, che risultano essere utilizzati soltanto in una piccola porzione dell'area studio, precisamente nell'altopiano ad ovest della linea di costa (con presenza di pozzi comunque di ridotte portate rispetto ai pozzi che attingono dal deposito del Quaternario), le formazioni argillose costituenti il tetto del Neogene possono essere considerate come il basamento impermeabile (acquicludo) dell'acquifero costiero del Quaternario. La Tabella 3.3 mostra le formazioni idrogeologiche presenti nell'area di studio.

| Aquifer/Aquitard      | Period     | Epoch                 | Lithology                                                                                                            | Thickness (m) |
|-----------------------|------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Unconfined aquifer    | Quaternary | Pleistocene to Recent | Fine sand to medium sand with silts and clay, coral reef limestones and calcareous, alluvial clay, silts and gravels | 5 - 50        |
| Aquitard              | Quaternary | Pleistocene to Recent | Clay, sandy clay (clay)                                                                                              | 10 - 50       |
| Semi-confined aquifer | Quaternary | Pleistocene to Recent | Medium to Coarse sand and gravels with clay                                                                          | 100           |
| Aquitard              | Neogene    | Mio-Pliocene          | Clay-bound sands and gravels (clay), dolomite, calcareous                                                            | ~1000         |

Tabella 3.3 Le formazioni idrogeologiche dell'area di studio (Mjemah, 2007)

In generale, l'acquifero sabbioso non confinato è costituito da materiale sciolto, essenzialmente sabbia di granulometria fine e media con presenza variabile di argilla e limo, localizzata principalmente lungo i depositi alluvionali dei principali corsi d'acqua. Ha uno spessore variabile da 5 m a 50 m, ed è più superficiale nella area sud-ovest di Dar es Salaam, con uno spessore medio di 10 m, mentre risulta essere più profondo verso est, vicino all'Oceano Indiano (Mjemah, 2007). Lungo la linea di costa è formato, invece, da calcare di origine corallina. La profondità della superficie piezometrica rispetto al piano campagna varia da pochi metri nelle aree a bassa quota, fino ad una decina di metri nelle aree più elevate.

L'acquifero semi-confinato è costituito da materiale sciolto, formato da sabbie di granulometria media e grossolana, talvolta ghiaia, immerse in una matrice a prevalente componente argillosa. Ha uno spessore medio di 100 m e giace al di sopra del basamento della riserva idrica del Quaternario, costituito dal deposito sabbioso argilloso del Mio-Pliocene.

Gli acquiferi non confinato e semi-confinato sono separati da strati argillosi (acquitardo) di spessore variabile da 10 m a 50 m. In particolare nell'area vicino all'Oceano Indiano lo strato superiore di argilla risulta essere frammentato, a causa dell'erosione, in lenti di argilla (Mjemah, 2007). Di conseguenza, soprattutto nella aree prossime alla linea di costa i due acquiferi risultano maggiormente interconnessi dal punto di vista idraulico.

Le aree di alimentazione degli acquiferi sono differenziate, sia distanti dall'area di studio, che in situ, ma si presume che la ricarica in situ sia maggiormente significativa, proprio a causa della natura sabbiosa (elevata permeabilità) del suolo di Dar es Salaam. In particolare l'infiltrazione dagli argini dei fiumi è il principale meccanismo di ricarica (Mato, 2002). Ciò implica che la qualità delle acque superficiali incide sulla qualità delle acque sotterranee. In generale, la

produttività potenziale delle formazioni acquifere del Quaternario risulta piuttosto elevata, a causa degli alti valori dei parametri idraulici (trasmissività e capacità di immagazzinamento), associati ai depositi sabbiosi (JICA, 2005).

A titolo indicativo, sono riportate nelle Figure 3.16 e 3.17 due ipotesi di sezioni idrogeologiche dell'area urbana di Dar es Salaam, ricavate dai profili stratigrafici di pozzi esistenti, costruite da Mjemah (2007). La prima sezione taglia la pianura costiera grossomodo parallelamente alla linea di costa, mentre la seconda trasversalmente.

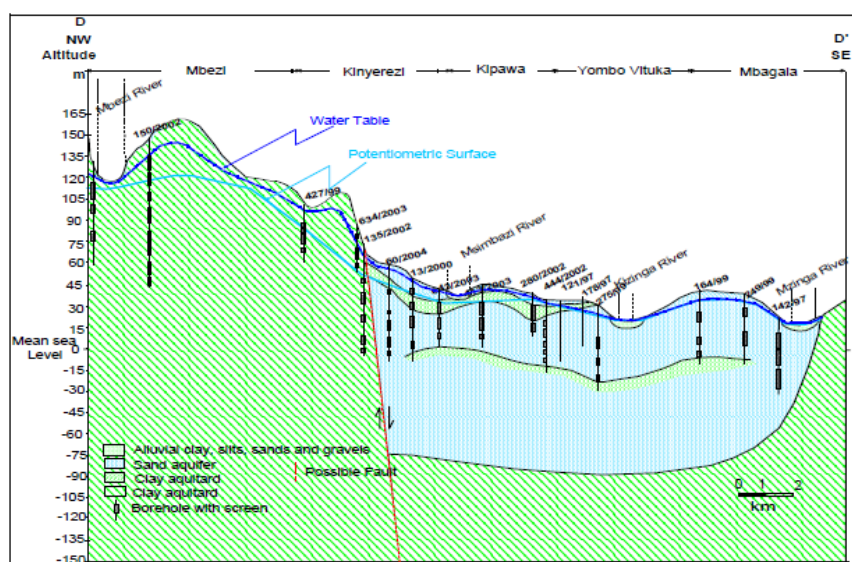


Figura 3.16 Sezione idrogeologica disposta parallelamente alla linea di costa (Mjemah, 2007)

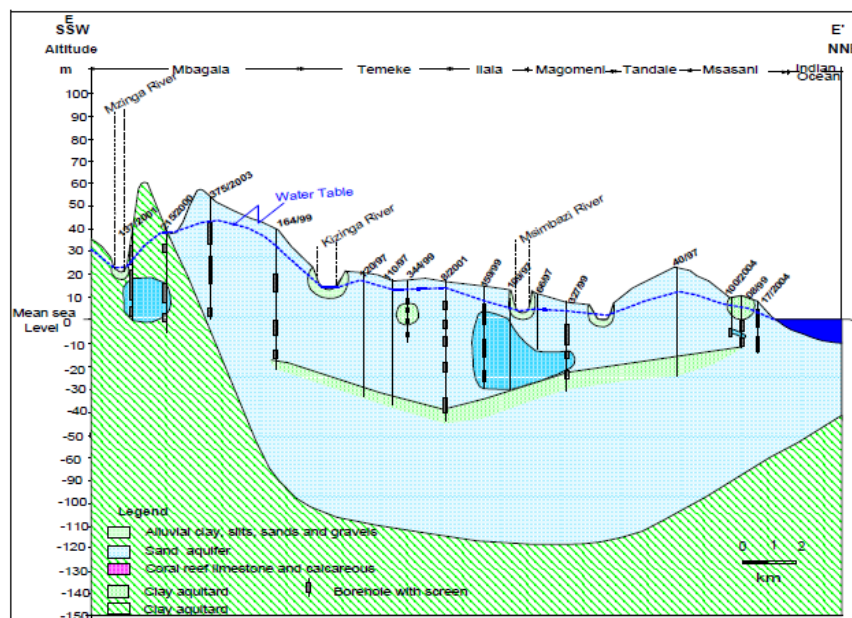


Figura 3.17 Sezione idrogeologica disposta in modo trasversale rispetto alla linea di costa (Mjemah, 2007)

### 3.2.6. Uso del suolo e tessuto urbano

L'area di studio presenta caratteristiche di uso del suolo variegata, ed, in generale è possibile fare una differenziazione tra le aree prossime al centro di Dar es Salaam, che presentano caratteri



tipicamente urbani (aree residenziali con prevalenza di attività commerciali ed industriali), e le aree più periferiche, nelle quali gli insediamenti sono “immersi” nella vegetazione (interazione urbano-rurale) e dove prevalgono le attività agricole.



Figura 3.18 Insediamenti urbani all'interno dell'area di studio (Dar es Salaam 1997)

La parte sud dell'area di studio, più vicina al centro città, è un'area essenzialmente di tipo urbano residenziale e corrisponde ai quartieri di Mikocheni, Msasani, Oysterbay, Mwenge, Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni, caratterizzati da una morfologia insediativa variabile.

I quartieri di Oysterbay e Kinondoni sono aree urbane pianificate che si sono sviluppate prima del 1970, precedentemente all'indipendenza della Tanganica dal Regno Unito.

Oysterbay è un'area principalmente di tipo residenziale, ed è caratterizzata da una bassa densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,16) ed alta qualità delle abitazioni, molto

spaziose e fornite di giardini privati, ed una buona dotazione di servizi ed infrastrutture, essendo zona un tempo dedicata agli stanziamenti coloniali. Sicuramente rappresenta una delle aree urbane di maggior qualità a Dar es Salaam, destinata ad occidentali e tanzaniani ricchi (Kironde, 1994).

Kinondoni è un'area di tipo residenziale, caratterizzata da una media-alta densità delle abitazioni (rapporto costruito/vuoto pari a 0,37). E' costituita principalmente dalla tipologia cittadina delle *Swahili Houses* (le classiche *Swahili Houses* sono in fango con tetto di makuti e generalmente si possono trovare soprattutto in aree rurali), strutture abitative in cemento, rettangolari e compatte perlopiù disposte regolarmente, in cui le condizioni igienico-sanitarie sono piuttosto problematiche, a causa della carente dotazione di servizi, nonché della scarsa ventilazione e del calore interno, dovuto alla presenza di tetti in metallo. Furono costruite in epoca coloniale, ed erano destinate alla popolazione africana che lavorava negli uffici europei (Lupala J.M., 2002). I quartieri di Kijitonyama, Mwenge e Mikocheni sono aree pianificate che si sono sviluppate dal 1970 in poi.

Mikocheni è un'area in parte residenziale a media-alta densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,44), ed in parte industriale a bassa densità (rapporto costruito/vuoto pari a 0,16), con una sufficiente dotazione di infrastrutture e servizi. Le strutture abitative sono generalmente caratterizzate da costruzioni indipendenti di 2/3 piani, spesso con giardini privati. Sicuramente è un'area urbana di buona qualità, destinata agli abitanti tanzaniani di reddito medio-alto.

Mwenge e Kijitonyama sono aree principalmente di tipo residenziale, caratterizzate rispettivamente da alta (rapporto costruito/vuoto pari a 0,54) e media (rapporto costruito/vuoto pari a 0,36) densità delle abitazioni.

Le strutture abitative sono generalmente basse a Kijitonyama, e di altezza variabile a Mwenge, dove vi sono anche palazzi di 5 piani. Le strade sono strette e sterrate e la dotazione di servizi risulta piuttosto carente. Sono aree destinate generalmente agli abitanti tanzaniani di medio-basso reddito (Kironde, 1994).

I quartieri di Msasani e Mwananyamala sono insediamenti non pianificati sviluppatisi prima del 1980.

Msasani è un'area di tipo residenziale con un tessuto urbano variabile, essendo formato da aree a bassa densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,16) con una buona dotazione di servizi ed infrastrutture, dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto, ed aree informali ad alta densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,41), che ospitano fasce più povere di popolazione, dove i servizi risultano carenti.

Mwananyamala è un'area di tipo residenziale, caratterizzata da un tessuto urbano a media-alta densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,37), ed una disposizione irregolare delle abitazioni. Le strade sono strette e spesso le vie di accesso sono limitate dalle attività informali localizzate negli spazi aperti, talvolta favorendo una mobilità esclusivamente pedonale. Generalmente i servizi e le infrastrutture hanno una bassa qualità, mentre in alcune zone possono essere del tutto assenti (Kironde, 1994).

Nella parte sud della zona di studio le aree dedicate all'attività agricola sono poco diffuse e si concentrano lungo le sponde del Fiume Msimbazi e dei corsi d'acqua minori che attraversano i differenti insediamenti.

Le aree dedicate all'attività commerciale si sviluppano lungo le principali arterie stradali, come la Bagamoyo Road, mentre le aree dedicate all'attività industriale sono presenti solamente in una porzione del quartiere di Mikocheni, dove si concentrano per lo più industrie alimentari, chimiche e manifatturiere (lavorazione del legno e del metallo).

Gli spazi aperti e le aree non antropizzate risultano poco diffusi. In particolare, alla foce del Fiume Msimbazi vi è la presenza di un grande mangrovieta, molto importante per la protezione della costa e per la riproduzione dei pesci (e quindi l'attività di pesca).



Foto 3.2 Attività commerciali lungo la Bagamoyo Road



Foto 3.3 Mangrovieta alla foce del Fiume Msimbazi

La parte nord dell'area di studio, più lontana al centro città, è un'area essenzialmente di tipo peri-urbano, che possiede caratteristiche sia urbane che rurali, dove i differenti insediamenti presenti “convivono” con spazi aperti ed aree dedicate all'attività agricola.

Corrisponde ai quartieri di Kawe, Mbezi Beach, Kunduchi e Tegeta, caratterizzati da una morfologia insediativa variabile.

Kawe è un insediamento non pianificato sviluppatosi prima del 1980, caratterizzato da un tessuto urbano variabile, essendo formato da aree con una bassa densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,16), localizzate soprattutto nella fascia costiera, dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto, ed aree con una medio-alta densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,37), che ospitano fasce più povere di popolazione. La disposizione delle abitazioni è regolare nelle zone a bassa densità ed irregolare nelle zone ad alta densità. La dotazione di servizi ed infrastrutture per l'intera area è piuttosto scarsa.

Mbezi Beach è un insediamento pianificato sviluppatosi dal 1970 in poi. E' un'area principalmente di tipo residenziale destinata principalmente alla “middle and upper class” tanzaniana, caratterizzata da una bassa densità dell'edificato (rapporto costruito/vuoto pari a 0,16), alta qualità degli edifici ed una relativa povertà nei servizi e nelle infrastrutture. In alcuni casi perfino le strade sono inesistenti. Il paradosso osservabile è rappresentato dalla presenza di abitazioni di ottima qualità che non sono facilmente accessibili a causa della mancanza di infrastrutture adeguate (Kironde, 1994).

Le aree di Kunduchi e Tegeta sono insediamenti peri-urbani, in parte formati prima del 1980 (Kunduchi era un villaggio di pescatori), ed in parte di recente formazione. Le aree di recente formazione sono localizzate principalmente lungo la Bagamoyo Road che dopo Kawe, si divide in due tronchi, il primo verso Tegeta e Bunju, il secondo verso Kunduchi. Le principali

caratteristiche di tali aree sono la medio-bassa densità delle abitazioni (rapporto costruito/vuoto pari a 0,26 nelle zone più costruite), che posseggono una disposizione perlopiù irregolare, e la quasi totale assenza di servizi primari ed infrastrutture (Lupala J.M., 2002).

Nella parte nord della zona di studio le aree dedicate all'attività agricola e all'allevamento sono molto diffuse (soprattutto nelle aree di Kawe, Kunduchi e Tegeta) e si concentrano lungo zone alluvionali dei numerosi corsi d'acqua presenti (i più importanti sono il Fiume Mbezi ed il Fiume Tegeta) e nella maggior parte delle aree libere intorno alle abitazioni. L'agricoltura urbana consiste prevalentemente nella coltivazione di colture alimentari (*food crops*) come cassava, sorgo, mais, riso, patate, legumi e banane.

Le aree commerciali ed industriali si sviluppano lungo le principali arterie stradali, come la Bagamoyo Road, dove sono presenti attività su piccola scala operanti nel settore manifatturiero (lavorazione del legno e del metallo). Nell'area di Kunduchi l'attività mineraria è molto sviluppata, e comprende l'estrazione di sabbia, ghiaia, pietra calcarea ed argilla (la cava più importante è localizzata a Wazo Hill, lungo Bagamoyo Road), nonché l'estrazione di sale dalle saline localizzate nell'area lagunare.

Per quanto riguarda le aree dedicate ai servizi pubblici ed istituzionali, è da rilevare la presenza, nell'area di Kawe, di una grande area militare, chiamata Lugalo Area.

Gli spazi aperti, non dedicati all'attività agricola, sono caratterizzati perlopiù dalla presenza di boscaglia e vegetazione bassa. Inoltre nell'area di Kunduchi vi è la presenza di una ampia area lagunare.



Foto 3.4 Coltivazione di banana e cassava nell'area di Kunduchi (Mjemah, 2007)



Foto 3.5 Attività manifatturiera lungo la Bagamoyo Road

In Figura 3.21 è mostrata la carta di uso del suolo. Le classi considerate sono:

- Aree urbane pianificate.
- Aree urbane non pianificate.
- Aree dedicate a servizi pubblici ed istituzionali
- Aree industriali e commerciali
- Foreste, zone umide, spazi aperti ed aree non coltivate
- Aree coltivate
- Strade

Nelle zone peri-urbane la classe “aree urbane non pianificate” include le aree dedicate all'agricoltura urbana, in quanto, essendo un'attività a conduzione familiare (di sussistenza)



localizzata nei dintorni delle abitazioni, la distinzione tra aree urbane e rurali non è facilmente attuabile.



Figura 3.19 Particolare delle aree di Tegeta, Kunduchi e Mbezi Beach (Dar es Salaam 1997)



Figura 3.20 Particolare delle aree di Kawe, Mikocheni, Msasani, Oysterbay, Kijitonyama, Mwananyamala, Kinondoni e Mwenge (Dar es Salaam 1997)

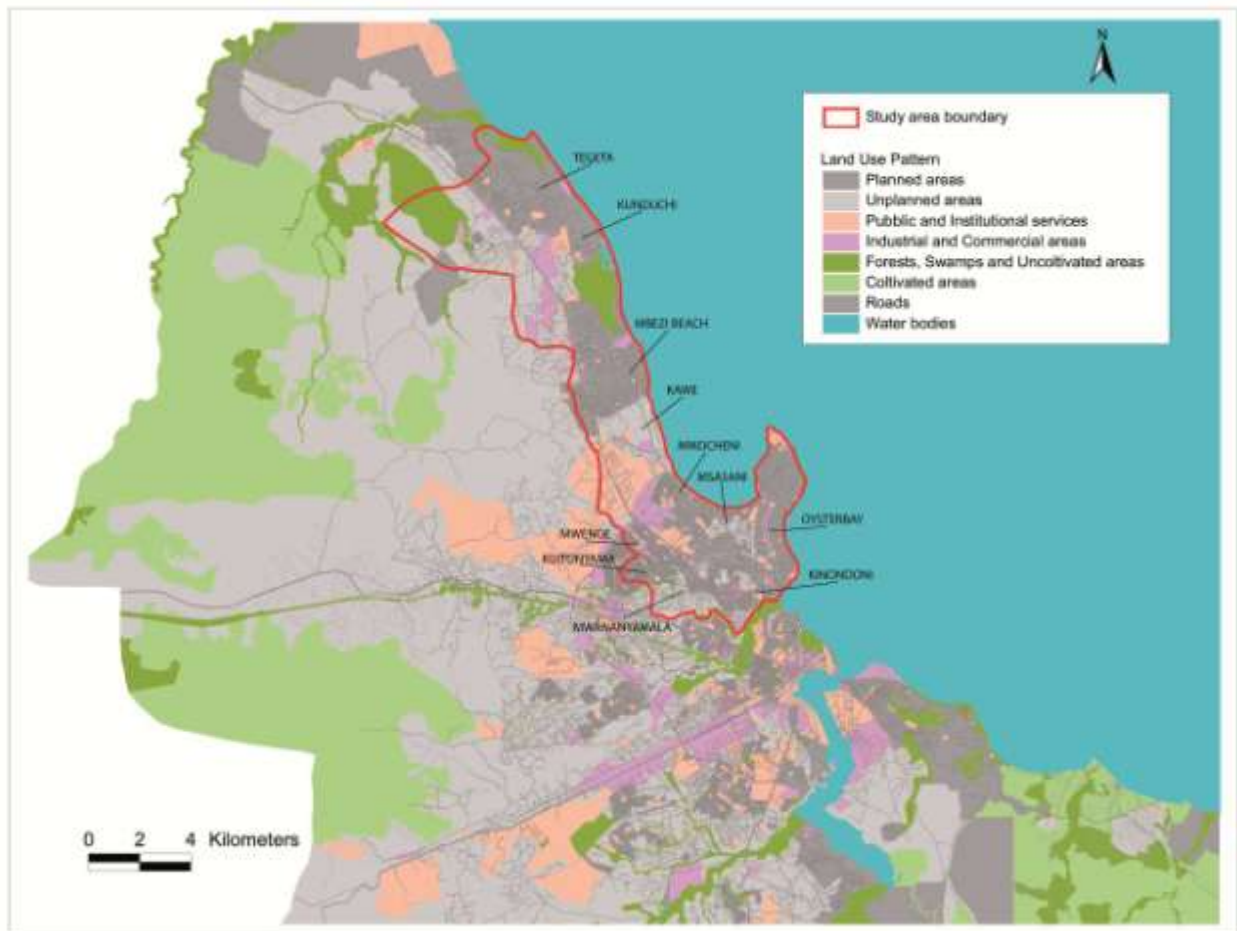


Figura 3.21 Carta di uso del suolo dell'area di studio (Dar es Salaam 2008)

### 3.3. Lo sviluppo urbano di Dar es Salaam

Dalla metà del 1800 all'inizio del ventunesimo secolo Dar es Salaam si è sviluppata da una moltitudine di villaggi sparsi sino a divenire la maggiore Città-Regione della Tanzania.

Fu fondata nel 1862, dal Sultano Seyyid Majid di Zanzibar, come nuovo porto e centro commerciale per supportare i sempre maggiori scambi commerciali con India, Europa e Continente Americano, di merci (soprattutto avorio) e schiavi provenienti dall'interno del Continente Africano.

Successivamente Dar es Salaam crebbe molto rapidamente ed assunse lo status di capitale dell'Africa Orientale Tedesca nel 1891, a seguito dello spostamento da Bagamoyo deciso dai coloni tedeschi.

Dopo la Prima Guerra Mondiale, dal 1917 al 1961, fu capitale del neonato Stato delle Tanganica, sotto l'occupazione britannica, ed infine nel 1961, anno di indipendenza della Tanganica dal Regno Unito, divenne capitale della Repubblica Unita di Tanzania, formalmente costituita nel 1964 a seguito dell'unione con Zanzibar. Pur avendo perso lo status di capitale nel 1974, a favore di Dodoma, Dar es Salaam rimane il principale centro commerciale ed economico della

Tanzania ed ospita tuttora la maggior parte delle funzioni amministrative del paese, oltre a essere capoluogo della regione omonima.

La Regione di Dar es Salaam è una delle 27 regioni della Tanzania. Come detto precedentemente, è suddivisa in 3 Municipalità (*Districts*), chiamate Ilala, Temeke e Kinondoni. Ogni Municipalità è formata da *Divisions*, che, a loro volta sono suddivisi in *Wards*. I *Wards* sono formati da Villaggi (*Villages*) nel caso di aree rurali e da Strade (*Mtaa*) nel caso di aree urbane. Talvolta i Villaggi e le Strade sono suddivisi in *Hamlets* (borghi o piccoli villaggi), che rappresentano l'unità più ridotta.

| Municipality | Division  | Wards     | Streets    | Villages  | Hamlets    |
|--------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| Ilala        | 3         | 22        | 65         | 9         | 37         |
| Temeke       | 3         | 24        | 97         | 15        | 62         |
| Kinondoni    | 5         | 27        | 114        | 14        | 14         |
| <b>TOTAL</b> | <b>11</b> | <b>73</b> | <b>276</b> | <b>38</b> | <b>113</b> |

Tabella 3.4 Suddivisione territoriale delle tre Municipalità di Dar es Salaam (AA.VV., 2004)

La Regione di Dar es Salaam è principalmente di tipo urbano: il 45% della Regione è considerato come “area costruita” (“built-up area”), in cui vivono il 94% degli abitanti, mentre la parte rimanente è occupata da piccoli insediamenti, foreste e terreno dedicato all'attività agricola ed all'allevamento, che rappresentano le principali attività economiche della popolazione (Kombe, 2005).

Con una popolazione attuale superiore ai 3 milioni di abitanti ed una estensione di circa 1400 km<sup>2</sup>, Dar es Salaam è l'area più densamente popolata della Tanzania, con circa 1800 persone al km<sup>2</sup>, e con un tasso di crescita della popolazione pari al 4,39% (NBS, 2002), fra i più alti per le città dell'Africa Sub-Sahariana. Dal 1948 al 2002 la popolazione è passata da soli 67000 a più di 2400000 abitanti (NBS, 2002).

| TABLE 1: DAR ES SALAAM POPULATION GROWTH (1948-2002)* |      |            |
|-------------------------------------------------------|------|------------|
| S/N                                                   | Year | Population |
| 1                                                     | 1948 | 67,227     |
| 2                                                     | 1957 | 128,742    |
| 3                                                     | 1961 | 272,821    |
| 4                                                     | 1978 | 843,090    |
| 5                                                     | 1988 | 1,360,850  |
| 6                                                     | 2002 | 2,497,940  |

Source: United Republic of Tanzania (URT), 2002 Population and Housing Census Report Summary  
\*Growth rate = 4.3 percent per annum (2002)

Tabella 3.5 Crescita demografica della popolazione di Dar es Salaam dal 1948 fino al 2002 (UN-HABITAT (1), 2009)

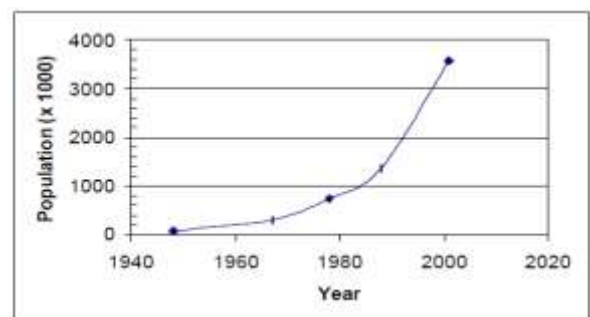


Figura 3.22 Andamento della crescita demografica della popolazione di Dar es Salaam (Mato, 2002)

La prima crescita, sino al 1964, era connessa allo sviluppo del commercio e delle infrastrutture di trasporto della città. La notevole richiesta di manodopera favorì la migrazione di giovani uomini dalle aree rurali verso la città. Dal 1964 l'importanza di Dar es Salaam incrementò notevolmente, ed, in quanto capitale della neonata Tanzania, assunse un ruolo strategico, attraendo sempre più persone ed investimenti.



La vertiginosa crescita di popolazione negli ultimi 30 anni è dovuta principalmente al massiccio processo di immigrazione dalle aree rurali (10% in più all'anno), in questo caso di tipo più "familiare" rispetto al precedente, ed al naturale tasso di crescita.

Il rapido processo di urbanizzazione di Dar es Salaam ha determinato una incontrollata espansione della città, oltre alla densificazione degli insediamenti esistenti, alla nascita di nuovi stanziamenti informali, al deterioramento dei servizi sociali pubblici, nonché all'allargamento del settore economico informale.

La città si sviluppa da nord a sud per 35 km e da est a ovest per 30 km, ed è caratterizzata da un modello di espansione di tipo radiale. Tale tipologia di espansione è dovuta essenzialmente alla comparsa nelle aree peri-urbane, dagli anni '80 in poi, di nuovi agglomerati, principalmente di tipo informale, disposti perlopiù lungo la costa e lungo le principali strade dirette verso nord, ovest e sud (Bagamoyo Road, Morogoro Road, Pugu Road e Kilwa Road).

In Figura 3.23 viene mostrato lo sviluppo urbano di Dar es Salaam dal 1945 al 1998.

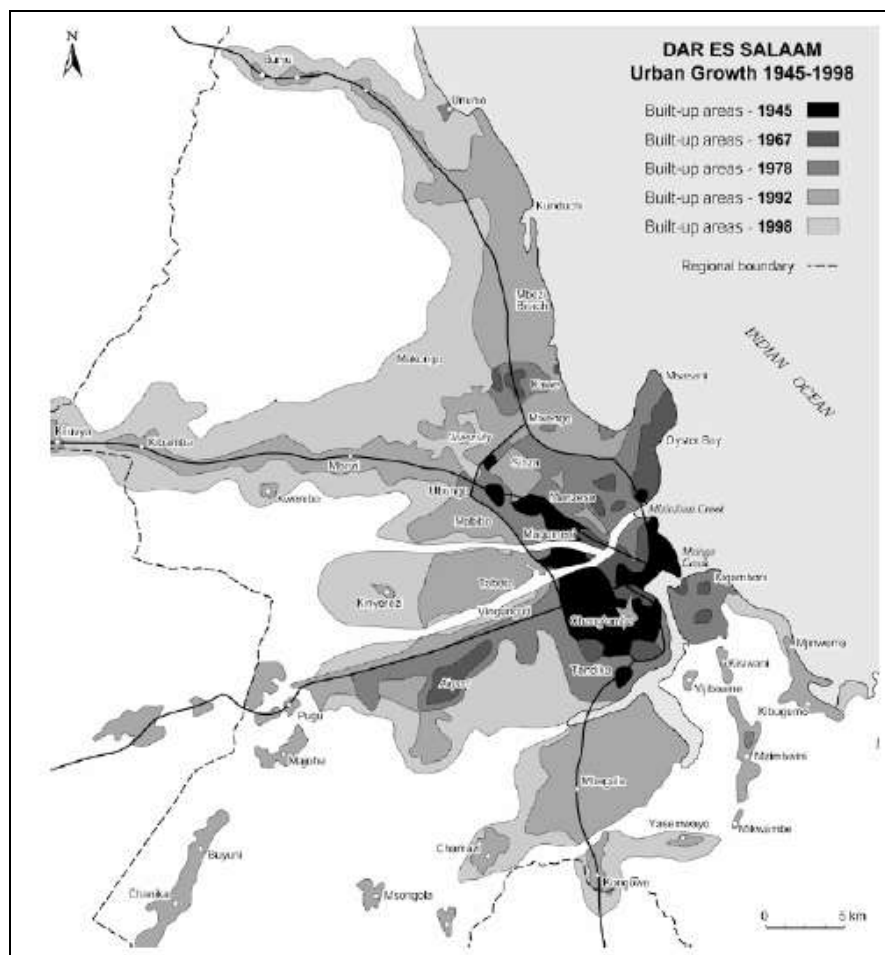


Figura 3.23 Lo sviluppo urbano di Dar es Salaam (Kjellen, 2006)

Lo sviluppo di Dar es Salaam avrebbe dovuto essere guidato, in linea teorica, da tre successivi Piani costruiti nel 1948, 1968 e 1979, che, in realtà, si sono rivelati totalmente incapaci di confrontarsi con la grande crescita di popolazione. L'effettiva mancanza di misure di

pianificazione del territorio ha avuto come conseguenza principale l'emergere di aree residenziali non pianificate o "squatter areas".

Ci sono almeno 40 aree non pianificate, che ospitano il 70% della popolazione di Dar es Salaam (Mato, 2002), costituite da 170000 unità abitative contro 50000 nelle aree pianificate.

Gli insediamenti informali sono caratterizzati da una elevata densità delle abitazioni, dall'irregolarità nella disposizione degli edifici e dall'inadeguatezza o assenza di infrastrutture e servizi.

In aggiunta, alcuni stanziamenti informali sono localizzati in aree a rischio idrogeologico, come versanti di colline o valli alluvionali di corsi d'acqua.

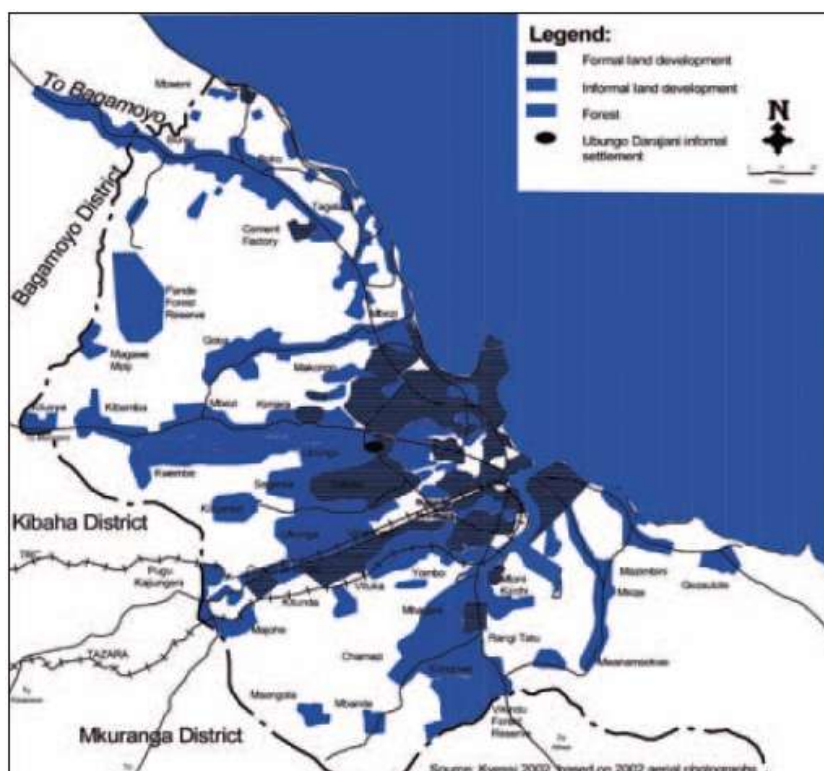


Figura 3.24 Sviluppo "formale" ed "informale" del tessuto urbano di Dar es Salaam (UN-HABITAT (1), 2009)

Il tessuto urbano di Dar es Salaam è stato classificato da Kironde (1994) in quattro categorie in funzione della tipologia e del periodo di sviluppo dell'insediamento, come presentato di seguito:

- *The old "planned" areas* (aree di prima pianificazione): sono aree urbane che si sono sviluppate prima del 1970, ed includono il centro della città e quartieri come Oysterbay, Kariakoo, Upanga, Kinondoni, Ilala, Magomeni, Temeke e le zone industriali di Chang'ombe e l'area nei pressi di Nyerere Road.

Talune di queste aree, principalmente di tipo residenziale (ad esempio Oysterbay), sono caratterizzate da una bassa densità delle abitazioni ed una sufficiente dotazione di servizi, essendo le zone un tempo dedicate agli stanziamenti coloniali.

Il centro città e l'area di Upanga sono aree ad alta e media densità dell'edificato destinate a funzioni amministrative, istituzionali e commerciali. Tali zone, così come il quartiere Kariakoo, area a media densità con funzioni commerciali e residenziali, che rappresenta

lo stanziamento storico della popolazione africana in epoca coloniale, hanno una dotazione di servizi ed infrastrutture che si rivela comunque inadeguata.

Lo stesso vale per gli stanziamenti residenziali ad alta densità di Magomeni e Kinondoni, destinati anch'essi in epoca coloniale alla popolazione africana, con le tipiche *Swahili Houses*, strutture compatte, di forma rettangolare, disposte perlopiù regolarmente, in cui le condizioni igienico-sanitarie risultano piuttosto problematiche.

- *The new “planned” areas* (aree di recente pianificazione): sono aree che si sono sviluppate dal 1970 in poi, ed includono i quartieri di Kijitonyama, Mwenge, Sinza, Mikocheni, Mbezi Beach e Tabata.

Tali aree sono principalmente di tipo residenziale, caratterizzate generalmente da una densità variabile delle abitazioni (minore dove lo standard abitativo è superiore), ed una relativa povertà nei servizi e nelle infrastrutture.

- *The old informal settlements* (vecchi insediamenti informali): sono insediamenti sviluppati prima del 1980, ed includono i quartieri di Keko, Buguruni, Msasani, Mwananyamala, Hanna Nassif, Manzese, Mtoni e Tandika.

Le principali caratteristiche di tali aree, principalmente di tipo residenziale, sono l'alta densità dell'edificato e la disposizione irregolare delle abitazioni. Le strade sono strette e spesso le vie di accesso sono limitate dalle attività informali localizzate negli spazi aperti, talvolta favorendo una mobilità esclusivamente pedonale. Generalmente i servizi e le infrastrutture hanno una bassa qualità, mentre in alcune aree sono del tutto assenti.

- *The new “unplanned” areas* (recenti insediamenti informali): sono insediamenti sviluppati nelle ultime tre decadi, ed includono i quartieri di Ubungo Kibangu, Savei, Kimara, Mabibo, Goba, Boko, Bunju, Mbagala e Ukonga.

La maggior parte degli insediamenti residenziali emergenti a Dar es Salaam ricadono sotto questa categoria. Sono localizzati per lo più in aree peri-urbane lungo le principali vie di comunicazione (Bagamoyo Road, Morogoro Road e Pugu Road).

Le principali caratteristiche di tali aree sono la medio-bassa densità delle abitazioni e la quasi totale assenza di servizi primari ed infrastrutture. Il suolo e le aree libere sono molto utilizzate per l'agricoltura e l'allevamento. La qualità delle abitazioni, sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ (allacciamento all'acquedotto, presenza di serbatoi di immagazzinamento per l'acque e *septic tanks* per le acque di scarico) è variabile da zona a zona in relazione al reddito di chi ne è il proprietario.

Il rapido e non coordinato processo di urbanizzazione, con lo sviluppo di aree a densità insediativa differenziata, ha inevitabilmente creato pressioni sulle infrastrutture e sui servizi pubblici, molti dei quali, a causa della esiguità di fondi disponibili unitamente alle mancanze nella gestione del territorio da parte delle autorità, non sono stati propriamente adeguati alla veloce crescita urbana.

La mancanza e l'inadeguatezza dei sistemi idrico e fognario, la scarsità di misure igienico-sanitarie, l'inquinamento ed il degrado del territorio urbano, dovuto anche alla difficoltà di



smaltimento dei rifiuti solidi, i difetti nel sistema di fornitura elettrica, nonché l'inadeguatezza delle infrastrutture esistenti espongono gli abitanti a enormi rischi sanitari, economici ed ambientali.

Perfino nelle aree pianificate la dotazione di infrastrutture e servizi risulta spesso carente ed irregolare. In aggiunta tale mancanza di servizi ed infrastrutture si rivela un'altro motivo di ulteriore espansione del tessuto urbano:

*“Unlike cities like Nairobi and Harare, Dar es Salaam has no comprehensive sewer network. This has important implications on urban land use because structure densities must be relatively low and plots must be relatively large to accommodate septic tanks and pit latrines. This therefore increases urban sprawl in the peripheral areas of the city in attempts to acquire large residential plots” (Kironde, 1994).*

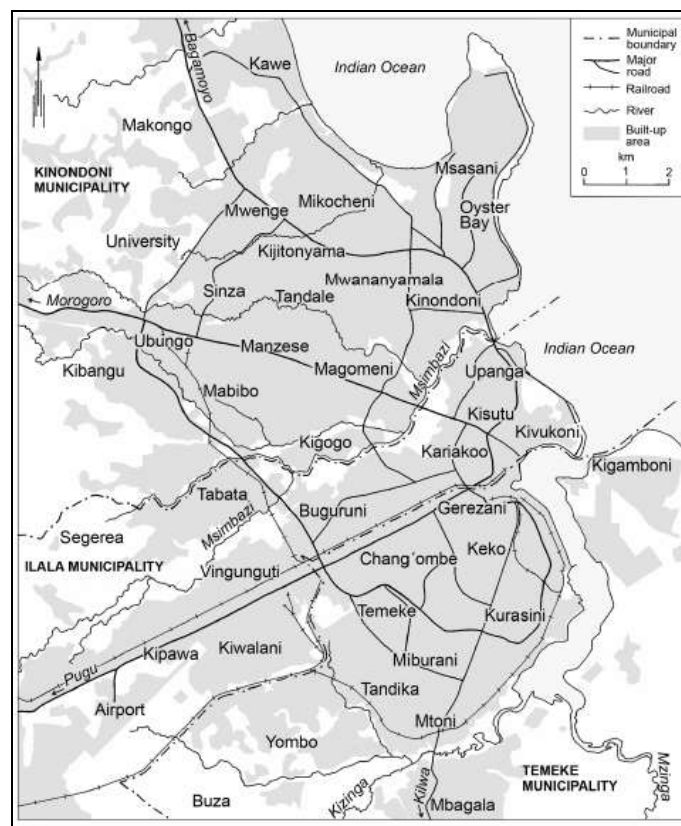


Figura 3.25 Il centro città e le aree più limitrofe al centro di Dar es Salaam (Kjellen, 2006)

La struttura radiale della città e la presenza di un uso del suolo fortemente suddiviso, in cui le differenti funzioni residenziali, commerciali ed industriali sono separate, aggravano ulteriormente i problemi di trasporto ed accessibilità incrementando le distanze effettive (Kjellen, 2006).

In generale è dunque possibile sostenere che il tasso di espansione del tessuto urbano ha decisamente superato le capacità di pianificazione delle autorità; molti dei servizi parzialmente provvisti nel recente passato, attualmente non sembrano essere adeguabili alla crescita esponenziale della popolazione.



Foto 3.6 Area informale di Manzese



Foto 3.7 Il centro di Dar es Salaam

Attualmente Dar es Salaam possiede una struttura amministrativa regionale, presieduta dal *Regional Commissioner's Office*, così come una struttura amministrativa locale (*City Administration*), presieduta dal *Mayor of Dar es Salaam*. L'autorità regionale dovrebbe focalizzarsi sugli aspetti nazionali, mentre l'amministrazione municipale sulle questioni locali. Il confine dei poteri fra le due autorità amministrative non risulta essere comunque molto chiaro e definito (Kjellen, 2006).

In particolare le Autorità municipali dovrebbero provvedere, non sempre riuscendoci, a tali servizi per le comunità: salute "primaria", gestione dei rifiuti urbani, infrastrutture stradali, gestione delle risorse naturali, sviluppo del commercio "formale ed informale", sviluppo del tessuto urbano, educazione primaria e parte dell'educazione secondaria, cultura, sviluppo dell'agricoltura, dell'allevamento e della pesca, sviluppo della cooperazione fra le comunità e sviluppo delle tecnologie di comunicazione ed informazione (AA.VV., 2004). E' interessante il fatto che il sistema di approvvigionamento idrico della città sia stato sempre gestito dal governo centrale e dalle autorità nazionali, mentre le problematiche igienico-sanitarie relative alla gestione del sistema fognario siano state, in varie occasioni, responsabilità delle autorità cittadine.

L'attuale politica di governo del territorio, le cui maggiori risorse economiche si basano su tasse di proprietà, imposte sui servizi urbani, dazi sulle merci, sovvenzioni, donazioni, sussidi governativi e contributi delle comunità, in un certo senso, obbliga gli abitanti senza o con basso reddito a vivere in stanziamenti informali e non autorizzati. Per ovviare a tale problematica è necessario che la politica e la pianificazione del territorio urbano si rinnovino per rispondere alle sfide della rapida urbanizzazione.

In particolare provvedere a fornire alloggi a basso costo, servizi di base ed occupazioni sicure per la comunità, dovrebbe essere un obiettivo primario per la futura amministrazione di Dar es Salaam. I cambiamenti nella gestione del territorio e nella governance urbana dovrebbero favorire una maggiore partecipazione e collaborazione ed includere il governo locale e nazionale, nonché le comunità stesse, nella pianificazione del territorio (UN-HABITAT (1), 2009).

E sebbene il governo della città abbia fatto uno sforzo nello sviluppare politiche e leggi per la gestione del territorio, che supportino una pianificazione più partecipata, e la formalizzazione di diritti di proprietà sugli stanziamenti informali, al fine di cercare di ridurre il numero di “squatter areas”, la mancanza di capacità, soprattutto economica, nel fornire i servizi primari rende tali sforzi inutili (UN-HABITAT (1), 2009).

### 3.4. Caratteristiche socio-economiche e principali emergenze ambientali

#### 3.4.1. Popolazione e condizioni sociali

L'attuale popolazione di Dar es Salaam si presume essere superiore ai 3 milioni di abitanti. Nell'ultimo censimento, eseguito dal *National Bureau of Statistics* (NBS) nel 2002, la popolazione risultava pari a 2,49 milioni di abitanti, con il 50,45% di uomini ed il 49,55% di donne. La Municipalità più popolata risultava Kinondoni (superiore al milione di abitanti), seguita da Temeke (intorno ai 770000) e Ilala (circa 630000).

| Municipality/City-Region                                                                                                         | Square kilometers | Population       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| Kinondoni                                                                                                                        | 527               | 1,088,867        |
| Ilala                                                                                                                            | 210               | 637,573          |
| Temeke                                                                                                                           | 656               | 771,500          |
| <b>Dar es Salaam Region (total)</b>                                                                                              | <b>1,393</b>      | <b>2,497,940</b> |
| Source: National Bureau of Statistics Tanzania (2002b: Table A.3 Area of Regions and Districts and 2002 Regional Census Results) |                   |                  |

Tabella 3.6 Popolazione e estensione di Dar es Salaam, divisa per Municipalità (Kjellen, 2006)

Il principale ed originario gruppo etnico della Regione di Dar es Salaam è rappresentato dai Wazaramo. Vi sono anche altre tribù originarie dell'area costiera, come i Wadengereko ed i Wakwere, ma sono sicuramente inferiori in numero di individui che vi appartengono. Ad ogni modo, a causa della rapida urbanizzazione di Dar es Salaam, una notevole quantità di persone di differenti origini ed etnie sono migrate verso la città, determinando una grande mescolanza di culture e pratiche (Kjellen, 2006).

La percentuale ed il numero di abitanti divisi per età sono mostrati in Figura 3.26 ed in Figura 3.27. Da notare l'abbassarsi del livello di popolazione dai 0 ai 10 anni; ciò indica un alto tasso di mortalità infantile. La fascia di età con più abitanti a Dar es Salaam risulta essere quella dai 20 ai 29 anni.

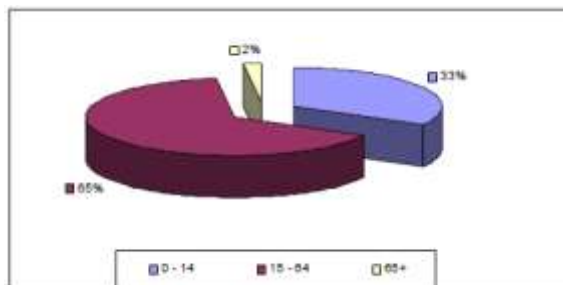


Figura 3.26 Percentuale di abitanti divisi per gruppi di età (NBS, 2002)

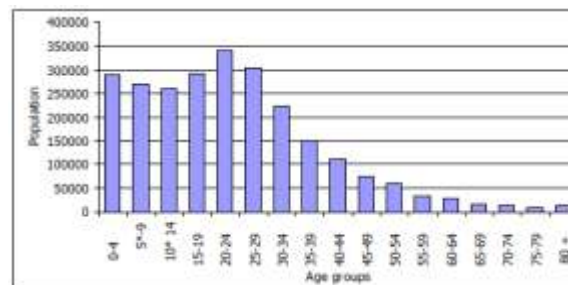


Figura 3.27 Numero di abitanti divisi per gruppi di età (NBS, 2002)

La distribuzione totale della popolazione rispetto al sesso divisa per gruppi di età è mostrata in Tabella 3.7 e Figura 3.28.

| Age Group    | Male             | Female           | Total            |             |
|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
|              |                  |                  | Number           | Percentage  |
| 0-14         | 403,241          | 413,498          | 816,739          | 33.55%      |
| 15-64        | 826,910          | 791,634          | 1,618,544        | 64.23%      |
| 65+          | 24,702           | 27,303           | 52,005           | 2.22%       |
| <b>TOTAL</b> | <b>1,254,853</b> | <b>1,232,435</b> | <b>2,487,288</b> | <b>100%</b> |

Source: 2002 Population and Housing Census

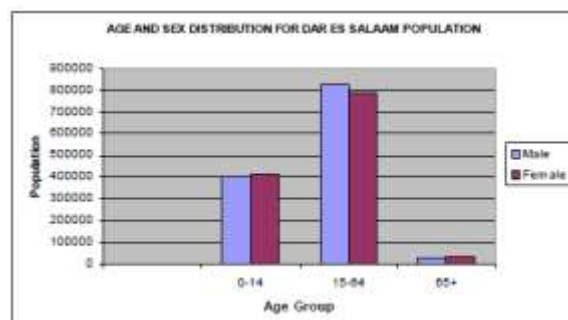


Tabella 3.7 e Figura 3.28 Distribuzione totale della popolazione rispetto al sesso divisa per gruppi di età (AA.VV., 2004)

I tassi di natalità, fecondità, mortalità, mortalità infantile ed aspettativa di vita per la popolazione di Dar es Salaam sono mostrati in Tabella 3.8 e Tabella 3.9. I valori degli indicatori demografici per Dar es Salaam risultano comunque inferiori ai livelli medi nazionali, espressi in Tabella 3.10.

| Indicator                | Data        |
|--------------------------|-------------|
| Crude Birth Rate         | 40          |
| Total Fertility Rate     | 5.5         |
| Crude death Rate         | 14 per 1000 |
| Life Expectancy at Birth | 48 years    |

Source: World Bank Century Study 2002

Tabella 3.8 Tassi di natalità, fecondità, mortalità ed aspettativa di vita per la popolazione di Dar es Salaam (AA.VV., 2004)

| City          | Neonatal Mortality | Post-neonatal Mortality | Infant Mortality | Child Mortality | Under-five Mortality |
|---------------|--------------------|-------------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| Dar es Salaam | 28.4               | 42.5                    | 70.9             | 42.0            | 110.0                |

Source: Demographic and Health survey 1996

Tabella 3.9 Tassi di mortalità infantile per la popolazione di Dar es Salaam (AA.VV., 2004)

L'andamento degli indicatori demografici della Tanzania, rilevati nel 1967, 1978 e 1988, mostra una generale diminuzione dei tassi di mortalità, mortalità infantile, fecondità, natalità, indicando un miglioramento generale della qualità della vita negli ultimi decenni, sebbene tali valori rimangano comunque molto elevati.

| Index                   | 1967 | 1978 | 1988 |
|-------------------------|------|------|------|
| Population (million)    | 12.3 | 17.5 | 23.1 |
| Intercensal growth rate | 2.6  | 3.2  | 2.8  |
| Sex ratio               | 95.2 | 96.2 | 94.2 |
| Crude birth rate        | 47   | 49   | 46   |
| Total fertility rate    | 6.6  | 6.9  | 6.5  |
| Crude death rate        | 24   | 19   | 15   |
| Infant Mortality rate   | 155  | 137  | 115  |
| Population density      | 14   | 20   | 26   |

Source: Demographic and Health Survey, 2004

Tabella 3.10 Andamento degli indicatori demografici in Tanzania da 1967 al 1988 (AA.VV., 2004)

La malaria sicuramente costituisce la maggior causa di mortalità infantile, ed è considerata sia una malattia conseguente alle condizioni di povertà che una causa stessa di povertà: lo sviluppo sociale ed economico in paesi con alta trasmissione di malaria è stato storicamente più basso che in nazioni senza malaria. In generale la malaria ha un grande impatto sulle risorse umane dell'Africa Sub-Sahariana: non solo i suoi effetti si esprimono in vite perdute e mancata produttività a causa della malattia o della morte prematura, ma anche in ostacoli all'educazione dei bambini e allo sviluppo sociale, causati dall'assenteismo e dai danni neurologici permanenti che può provocare. Nella Regione di Dar es Salaam, come d'altronde in tutte le aree costiere della Tanzania, la principale causa di malattia è rappresentata proprio dalla malaria, seguita da disturbi gastrointestinali, respiratori, AIDS, colera, tifo, dissenteria, ed infezioni alle pelle ed agli occhi.

Il principale veicolo di trasmissione delle varie infezioni che colpiscono l'apparato gastrointestinale (diarrea, colera, etc.), nonché delle malattie a trasmissione oro-fecale (tifo), è rappresentato sicuramente dall'acqua.

La qualità della risorsa idrica nelle sue forme (acque superficiali e sotterranee), le differenti pratiche ("protette" o "non protette") di approvvigionamento idrico da parte della popolazione (acquedotto, pozzi, derivazioni di acque superficiali, compravendita di acqua), nonché la presenza o meno del sistema fognario, rappresentano i principali fattori che influiscono sul grado di esposizione della popolazione al rischio di infezioni intestinali.

I tassi di infezione da virus dell'HIV sono molto elevati a Dar es Salaam, superiori alla media nazionale, ed, in particolare, le donne sono maggiormente colpite dall'AIDS rispetto agli uomini. La disparità sessuale fra uomini e donne, determinata soprattutto da tradizionali stereotipi culturali e pratiche patriarcali, contribuisce alla diffusione della malattia. Da evidenziare che prima della Conferenza di Pechino sulle Donne, nel 1995, in Tanzania non esistevano leggi specifiche sulla violenza e sull'abuso sessuale sulle donne, ed, in generale, le questioni di genere non sono considerate di primaria importanza nella politica nazionale e locale (UN-HABITAT (1), 2009). Le donne e le ragazze sono spesso marginalizzate nel lavoro e nell'educazione, ed, in generale, avendo meno accesso al sistema formativo, sono meno informate riguardo ai rischi ed ai meccanismi di diffusione dell'AIDS.

Il sistema formativo tanzaniano è diviso in livelli, a partire dalla scuola pre-primaria, fino alla terziaria. Il tasso netto di iscrizione alla scuola primaria è attualmente molto elevato a Dar es Salaam e sta aumentando sempre di più, a causa del sostegno dato dal governo all'educazione primaria, che in Tanzania risulta essere obbligatoria e gratuita. Il 94% dei maschi ed il 93% delle femmine hanno frequentato la scuola primaria, anche se il tasso di abbandono prima della conclusione è anche esso molto alto, arrivando in alcune strutture sino al 40%. Ad ogni modo il tasso medio di alfabetizzazione a Dar es Salaam raggiunge l'87% (89% per gli uomini ed 84% per le donne), e risulta superiore al tasso medio nazionale, pari al 71% (JICA, 2005).

Il reddito pro capite medio annuo degli abitanti di Dar es Salaam risulta pari a 584000 Tshs (circa 430 USD all'anno), con il 35% della popolazione che possiede un reddito medio annuo inferiore a 387300 Tshs (circa 286 USD all'anno) (AA.VV., 2004).

L'imponente processo di urbanizzazione unito al crescente tasso di disoccupazione ed all'aumento del costo della vita, contribuiscono all'aumento della povertà urbana a Dar es Salaam.

La povertà è la condizione di singole persone o collettività umane nel loro complesso, che si trovano ad avere, per ragioni di ordine economico, un limitato (o del tutto mancante nel caso della condizione di miseria) accesso a beni essenziali e primari (cibo, vestiti ed abitazione), ovvero a beni e servizi sociali d'importanza vitale (sanità, istruzione, lavoro).

La soglia di povertà è un livello di reddito al di sotto del quale una famiglia o un individuo vengono considerati poveri. E' è un termine di riferimento oggettivo (che ha la valenza di criterio normativo) che caratterizza quantitativamente una determinata situazione di povertà, per cui chi vive in condizioni tali da non raggiungere il minimo per la sopravvivenza (secondo la Banca Mondiale corrisponde a 2 USD per persona al giorno) può essere indicato in condizioni di povertà.

In generale, in Tanzania il 50% della popolazione vive al di sotto della soglia di povertà ed il 36% in condizioni di estrema povertà (NBS, 2002).

La povertà in linea generale tende ad essere di grado più elevato nelle aree rurali (60% della popolazione) che in quelle urbane (39% della popolazione) dove vi sono maggiori opportunità di fonti di reddito informali; inoltre nelle zone rurali, la povertà si accompagna ad un isolamento sociale maggiore di quello che di per sé determina. In generale, la posizione delle donne (così come dei bambini, anziani ed altri gruppi marginalizzati) è spesso svantaggiata rispetto a quella degli uomini, in termini sia di accesso alla cultura e partecipazione alla vita sociale che di carichi di lavoro e, talvolta, di disponibilità di cibo e altri beni essenziali.

Il tasso di povertà a Dar es Salaam risulta essere inferiore alla media nazionale, ma comunque rimane molto elevato, nonostante gli interventi messi in atto dalle autorità. In generale la povertà urbana può causare maggiori difficoltà di quella rurale, ad esempio riguardo ai problemi sanitari che possono nascere nelle aree urbane con grande densità abitativa ed assenza o scarsità di servizi primari.

L'indagine sulle famiglie eseguita nel 2001 (AA.VV., 2004) mostra che il 7,5% della popolazione di Dar es Salaam vive in condizioni di estrema povertà, ed è incapace di procurarsi cibo sufficiente a sopravvivere (*food poverty*), ed il 17,6% della popolazione è incapace di accedere a beni e servizi primari (*basic needs poverty*).



| <b>POVERTY</b>      | <b>1991/92</b> | <b>2000/2001</b> |
|---------------------|----------------|------------------|
| Food Poverty        | 13.6           | 7.5              |
| Basic Needs Poverty | 28.1           | 17.6             |

Tabella 3.11 Andamento degli indicatori di povertà a Dar es Salaam (AA.VV., 2004)

Il rapido processo di urbanizzazione di Dar es Salaam sta avendo conseguenze in molti casi disastrose, come la sempre maggiore espansione di aree urbane non pianificate con notevoli problemi sanitari dovuti alla mancanza dei servizi primari, l'aumento vertiginoso del tasso di disoccupazione, specialmente fra i giovani, i problemi ambientali collegati ad una sempre maggiore pressione sul territorio, nonché l'incremento delle disuguaglianze sociali e delle violenze.

In alcune aree della città, la maggioranza dei giovani, non riuscendo ad ottenere un lavoro, affolla le strade e vive in una "lotta" continua per la sopravvivenza, cercando di trovare od "inventarsi" fonti giornaliere di guadagno, con il risultato in taluni casi di incrementare la criminalità urbana.

La disuguaglianza sociale, l'esclusione fisica e sociale (l'emergere di "ghetti" urbani), la disoccupazione, la marginalizzazione, la mancanza di servizi primari e l'impossibilità di ottenere un reddito sufficiente per vivere, possono portare a sfiducia, disperazione, intolleranza, criminalità e talvolta a reazioni violente. Naturalmente i più colpiti dalla "guerra tra poveri" sono sempre le fasce di popolazione maggiormente marginalizzate, come donne, bambini ed anziani.

Per cercare di ridurre la povertà urbana, le disuguaglianze sociali e la disoccupazione, sarebbe necessaria una politica indirizzata alla creazione di opportunità di lavoro, soprattutto per i giovani, che si confronti con il crescente processo di urbanizzazione ed aumento della popolazione, e che associ le questioni di sicurezza sociale con la gestione della città (UN-HABITAT (1), 2009).

### 3.4.2. Attività economiche

Essendo il più importante centro amministrativo, commerciale ed industriale, Dar es Salaam è senza dubbio il principale motore dello sviluppo economico della Tanzania, sia nel settore formale che informale.

Dar es Salaam è anche il principale porto della Tanzania, ed accoglie circa il 40% delle unità di produzione industriale del paese, contribuendo per circa il 45% alla produzione industriale lorda della Tanzania.

Per il porto di Dar es Salaam transitano merci di esportazione provenienti, oltre che dall'entroterra tanzaniano, anche da Zambia, Burundi, Malawi, Rwanda, Uganda, Zimbabwe, e dalle regioni orientali della Repubblica Democratica del Congo.

Sebbene il livello di industrializzazione sia relativamente alto rispetto ai parametri tanzaniani, anche la Regione di Dar es Salaam si basa principalmente su un'economia di tipo agricolo, con la maggior parte della popolazione coinvolta proprio nel settore agricolo, che contribuisce da solo ad oltre l'80% del reddito regionale, mentre altri settori, come le attività legate all'utilizzo delle risorse naturali, l'allevamento, il settore industriale, la pesca ed altre attività, si spartiscono la parte restante (JICA, 2005).

La Tabella 3.12 mostra il contributo regionale annuo medio del PIL locale al PIL nazionale per il periodo 1980-1994. Da notare come per la Regione di Dar es Salaam il contributo al PIL nazionale si attesti intorno al 20%.

| Region        | Average Annual GDP contribution (%) | GDP Contribution Ranking |
|---------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Coast         | 1.00                                | 20                       |
| Dar es Salaam | 20.33                               | 1                        |
| Arusha        | 7.80                                | 2                        |
| Mwanza        | 7.67                                | 3                        |
| Mbeya         | 6.00                                | 4                        |
| Shinyanga     | 5.80                                | 5                        |
| Iringa        | 5.53                                | 6                        |
| Tanga         | 5.52                                | 7                        |
| Morogoro      | 4.67                                | 8                        |
| Kagera        | 4.60                                | 9                        |
| Kilimanjaro   | 3.67                                | 10                       |
| Mara          | 3.47                                | 11                       |
| Tabora        | 3.40                                | 12                       |
| Ruvuma        | 3.33                                | 13                       |
| Mtwara        | 3.27                                | 14                       |
| Rukwa         | 3.13                                | 15                       |
| Dodoma        | 3.07                                | 16                       |
| Singida       | 2.87                                | 17                       |
| Kigoma        | 2.53                                | 18                       |
| Lindi         | 2.00                                | 19                       |
| Total         | 10.00                               | -                        |

Tabella 3.12 Contributo regionale annuo medio al PIL nazionale per il periodo 1980-1994 (JICA, 2005)

Nel periodo tra il 1992 al 2002 il PIL di Dar es Salaam è aumentato costantemente con un tasso di crescita pari al 6,2%, come visibile in Figura 3.29; ciò è principalmente dovuto ai sempre maggiori investimenti destinati alla crescita economica della città, favoriti da politiche economiche e fiscali “attraenti” (soprattutto per società estere) ed alla localizzazione strategica della città, dotata di un importante porto ed in posizione centrale rispetto ai mercati dell’Africa Sub-Sahariana (Kenya, Uganda, Rwanda, DRC Congo, Malawi, Zambia, Zimbabwe e Burundi). In Tabella 3.13 è mostrato l’ammontare delle entrate fiscali per le autorità locali, comprendenti tasse di proprietà, licenze per il trasporto pubblico, nonché sovvenzioni dal governo centrale, per il periodo 1998-2004.

| Year                | 1998/99 | 1999/00 | 2000/01 | 2001/02 | 2002/03 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tax in Million Tshs | 487,254 | 567,126 | 597,611 | 759,855 | 897,932 |

Source: Tanzania Revenue Authority web site

Tabella 3.13 Ammontare delle entrate fiscali per il periodo 1998-2004 (AA.VV., 2004)

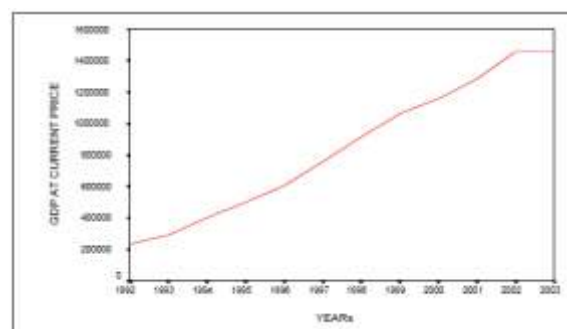


Figura 3.29 Andamento del PIL annuale nel periodo 1992-2002 (AA.VV., 2004)

E’ importante tenere presente che solo il 5% della forza lavoro della città opera nel settore formale, mentre la maggior parte della popolazione è impegnata in attività informali, così come l’89% delle attività private operano al di fuori della legalità fiscale (UN-HABITAT (1), 2009). Il settore informale è caratterizzato dall’irregolarità nel profitto, dalla mancanza di supporto finanziario pubblico, dall’insicurezza del lavoro, nonché dalla presenza di un maggior rischio

sociale, ambientale e sanitario, a seconda della tipologia di attività informale praticata. Per cui i vari indicatori economici probabilmente non sono in grado di rappresentare efficacemente la realtà economica e sociale cittadina. Di conseguenza è difficile capire quali siano (o se ci sono?) gli effettivi vantaggi della recente crescita economica per la popolazione.

Le riforme avviate dal Governo della Tanzania per incoraggiare la transizione del settore informale nel mercato formale non hanno avuto successo, a causa di regolamentazioni eccessive e decisamente troppo burocratiche. Naturalmente le autorità locali sono interessate a formalizzare le attività informali, sia per aumentare le entrate fiscali, utili per l'erogazione dei servizi primari, che per accrescere le opportunità di lavoro per la popolazione.

Il tasso di disoccupazione a Dar es Salaam è molto elevato ed è pari al 46,5%, ed è di gran lunga superiore al tasso medio che si riscontra nelle aree rurali della Tanzania, pari al 18% (AA.VV., 2004).

Naturalmente la crescente disoccupazione gioca un ruolo rilevante nello sviluppo delle attività economiche informali, e favorisce l'espansione sempre più diffusa di stanziamenti di tipo informale.

Allo stato attuale, come già sostenuto, l'attività economica principale, che impegna circa l'80% della popolazione in tutti i suoi livelli (dal lavoro sul campo alla vendita nei mercati o per strada), è rappresentata dall'agricoltura urbana. Generalmente viene praticata su piccola scala dalle singole famiglie o dalle comunità.

Circa il 38% del territorio regionale (circa 58278 ha, di cui 13600 ha a Kinondoni, 33000 ha a Temeke, e 11678 ha ad Ilala) viene utilizzato per la produzione agricola, concentrata soprattutto nella aree peri-urbane (Pugu Hills, Goba, Kimara, Mbezi e lungo la Morogoro Road), e lungo le valli alluvionali dei fiumi, anche se la cifra è variabile in funzione della rapida espansione del tessuto urbano (AA.VV., 2004).

Le principali colture alimentari (*food crops*) sono cassava, sorgo, mais, riso, patate, legumi e banane, mentre le principali colture da profitto (*cash crops*) sono anacardi, noci di cocco, arance, mango, ananas, cotone e verdure varie.

La produzione agricola (circa 354657 tonnellate all'anno, di cui 134060 tonnellate a Kinondoni, 55597 tonnellate ad Ilala e 164100 tonnellate a Temeke), sia *food crops* che *cash crops*, è destinata principalmente alla commercializzazione locale, soprattutto a carattere informale (AA.VV., 2004).

Le principali problematiche connesse al settore agricolo sono principalmente la mancanza di attrezzature e tecniche agricole adeguate, il degrado dei suoli dovuto all'erosione ed all'espansione del tessuto urbano, i conseguenti problemi connessi alla risorsa idrica, sia rispetto alla quantità d'acqua (alcune colture, ad esempio il mais, necessitano abbondante irrigazione), che alla qualità (l'elevato inquinamento della falda superficiale), le frequenti insurrezioni di malattie delle piante, e la mancanza di programmi di investimento strutturali che cerchino di risolvere tali problematiche.

Inoltre prodotti forestali come il carbone, la legna da ardere e il legname per costruzione ed artigianato sono un'altra delle fonti di reddito connesse al settore agricolo, anche se solo l'1.5% del fabbisogno cittadino proviene dal territorio regionale. La restante parte è principalmente importata dalle Regioni di Morogoro, Bagamoyo e Tanga.

Nella Regione di Dar es Salaam vi sono 2 Riserve Forestali, la Vikindu Forest nel distretto di Temeke e la Pande Forest nel distretto di Kinondoni, nonché la Pugu Forest Reserve poco al di fuori dei confini regionali (AA.VV., 1992). In aggiunta, in città vi sono molte aree dove l’abitato si “immerge” nella vegetazione, soprattutto nella zone peri-urbane e lungo le valli dei principali fiumi. Tali aree sono molto importanti sia direttamente per i prodotti e le attività che ne possono derivare (ad esempio frutti e legname), ma anche per limitare l’erosione del suolo e conservare la biodiversità dell’ambiente, minacciate dall’imponente espansione della città e dal crescente inquinamento urbano: basti pensare ai mangrovieti alla foce dei principali corsi d’acqua che proteggono la costa e sono importanti per la riproduzione dei pesci (e quindi l’attività di pesca). Le principali tipologie di alberi presenti includono acacia, cassia, flamboyant, palma da cocco, casuarina, eucalipto, bambù, chorisia e baobab (AA.VV., 1992).

L’allevamento è un’altra attività molto importante, che impegna singoli o comunità organizzate, localizzata perlopiù nelle stesse aree urbane destinate all’attività agricola. I principali capi di bestiame includono mucche, capre, pecore e polli, ed in minor quantità maiali e anatre. Gli animali sono destinati principalmente alla macellazione ed alla vendita nei mercati, ed in percentuale inferiore alla produzione di latte e formaggi (AA.VV., 2004). Il pascolo all’aria aperta del bestiame pone però problematiche di tipo sanitario, soprattutto per i bambini.



Foto 3.8 Coltivazione di mais e cocco



Foto 3.9 Pascolo di bestiame lungo la strada

Essendo Dar es Salaam localizzata sull’Oceano Indiano, la pesca rappresenta un’altra attività economica molto importante, nonché una grande fonte di occupazione e sostentamento per gli abitanti.

La dotazione di attrezzature è variabile in funzione alla tipologia di impresa, dal’uso di canoa e reti per il singolo pescatore a barche dotate di strumentazione più efficiente utilizzate dalle imprese con un giro di affari più grande (AA.VV., 2004).

In generale il fabbisogno cittadino di prodotti ittici non è soddisfatto dalla produzione locale, e ciò favorisce l’importazione dal Lago Vittoria di pesce d’acqua dolce, che possiede un valore relativamente inferiore al pesce oceanico. Inoltre il costo crescente dell’attività di pesca, in particolare per strumentazioni, benzina e motori, ha determinato, negli ultimi anni, una stagnazione del settore, ed ha favorito l’utilizzo di tecniche più “economiche”, come la pesca con dinamite. Tali pratiche hanno provocato notevoli problemi ambientali, come il danneggiamento della barriera corallina, con il conseguente incremento dell’erosione costiera. In aggiunta

l'inquinamento causato da combustibili fossili, rifiuti industriali e domestici rappresenta un'altra importante problematica che incide sulla qualità dell'ambiente marino (AA.VV., 1992).

Per quanto riguarda l'attività industriale, come già osservato, Dar es Salaam rappresenta il principale polo economico della Tanzania.

L'industrializzazione si presenta sia su piccola che grande scala, ed è basata soprattutto sul settore manifatturiero, con una varietà di prodotti destinati sia al mercato locale, che all'esportazione. Naturalmente le attività su piccola scala si concentrano sui settori di produzione destinati al mercato locale, e sono diffuse principalmente nelle aree urbane residenziali, mentre le attività su grande scala sono localizzate in determinate aree industriali della città e si concentrano sui prodotti per esportazione.

La maggior parte degli stabilimenti industriali, circa il 64%, sono situati nel distretto di Temeke, il 29% nel distretto di Kinondoni, mentre il 7% nel distretto di Ilala. Il 64% delle imprese sono private, il 19% pubbliche, mentre il 17% sono a partecipazione pubblica (AA.VV., 2004).

Le principali attività industriali presenti a Dar es Salaam includono: industrie tessili, chimiche-farmaceutiche, alimentari, produzione di olio alimentare, prodotti lattiero caseari, produzione di bevande, birrerie, distillerie, sigarette, attività minerarie, produzione e lavorazione di cemento, gomma, vetro, vernici, plastica, lavorazione di metallo ed acciaierie, raffinazione di prodotti petroliferi, impianti di generazione di energia elettrica, nonché editoria e lavorazione di carta (AA.VV., 2004). Le merci più esportate sono caffè, cotone, sisal e pelli.

Le principali industrie sono mostrate nella Tabella 3.14.

In particolare, le attività minerarie svolte nei dintorni di Dar es Salaam comprendono l'estrazione di sabbia, ghiaia, pietra calcarea ed argilla. Sono localizzate soprattutto nelle aree a nord della città, come Bunju, Boko, Pande, Tegeta Mtongani, Kunduchi e lungo le valli dei principali corsi d'acqua.

L'attività estrattiva è naturalmente molto importante sia per le imprese edili locali, soprattutto per la produzione di cemento Portland (a base di pietra calcarea), che per la popolazione locale, in quanto un alto numero di abitanti, soprattutto giovani, sono occupati nel settore minerario. Un'altra attività mineraria importante è l'estrazione del sale, con le principali miniere di sale localizzate nell'area lagunare di Kunduchi.

Le cave, sia in uso, che dismesse od abbandonate, sono state del tutto inglobate dallo sviluppo urbano della città, di conseguenza, l'attività mineraria pone grosse problematiche ambientali e sociali, sia per la grande quantità di acqua necessaria all'estrazione e lavorazione dei prodotti minerari, che per l'inquinamento dell'aria nei dintorni. Inoltre le cave dismesse od abbandonate, colme d'acqua, diventano fertili terreni di riproduzione per le zanzare, veicolo della malaria (AA.VV., 1992).

Per quanto riguarda le risorse energetiche, gli abitanti di Dar es Salaam dipendono da diverse fonti di energia, come l'elettricità, kerosene, solare, carbone e legna da ardere.

Il sistema elettrico è gestito dalla *Tanzania Electricity Supply Company Limited (TANESCO)*, che dipende dal Ministero dell'Energia e dei Minerali. Circa il 60% della fornitura elettrica deriva da sistemi idroelettrici, che risultano essere piuttosto vulnerabili per problemi di siccità,

soprattutto nella stagione secche, mentre la quota restante deriva da sistemi termoelettrici a carbone o petrolio (la fornitura di petrolio del paese è completamente importata).

L'energia elettrica è destinata principalmente all'illuminazione (in realtà solo in alcune aree della città e nelle abitazioni degli abitanti che se lo possono permettere), alle attività delle piccole e medie imprese e delle industrie, mentre la maggior parte della popolazione, soprattutto nelle aree periferiche, non ha accesso al sistema di distribuzione dell'energia elettrica. Solo l'11% della popolazione delle regioni costiere di Dar es Salaam e Bagamoyo risulta collegato alla rete elettrica (JICA, 2005).

In generale, il 93% del consumo di energia in Tanzania, e quindi anche a Dar es Salaam, deriva da biomasse: gli abitanti solitamente utilizzano carbone o legna da ardere per cucinare e per l'illuminazione. Di conseguenza il commercio di carbone e legna è un'attività economica molto importante (AA.VV., 2004).

|    | Category                    | Company                            | Products                                        |
|----|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | Textile Manufacturing       | • Urafiki Textile Mills            | Khanga, Kitenge, bedsheets, linen, drill, khaki |
|    |                             | • Karibu Textile Mills             | Khanga, Kitenge, bedsheets, linen, drill, khaki |
|    |                             | • Afritex Limited                  | Khanga, Kitenge, bedsheets, linen, drill, khaki |
|    |                             | • Blanket Manufacturers Ltd.       | Blankets                                        |
|    |                             | • Ubungo Spinning Mills            | Cotton yarn                                     |
| 2  | Beverages                   | Tanzania Breweries Ltd.            | Beer                                            |
|    |                             | Serengeti Breweries                | Beer                                            |
|    |                             | Coca cola Kwanza                   | Soft drinks                                     |
|    |                             | SBC (T) Ltd. (Pepsi Cola)          | Soft drinks                                     |
| 3  | Cigarette                   | Tanzania Cigarette                 | Sportsman, sweet menthol, Embassy               |
| 4  | Cement                      | Tanzania Portland Cement           | Twiga cement                                    |
| 5  | Paints                      | Insignia Limited                   | Coral Paints                                    |
| 6  | Pharmaceuticals             | Keko Pharmaceuticals               | Pharmaceutical products                         |
|    |                             | Ely's Chemicals                    | Pharmaceutical products                         |
|    |                             | Mansoor Daya Chemicals             | Pharmaceutical products                         |
|    |                             | Afya Laboratories Ltd              | Cream Ointments Lotions                         |
| 7  | Plastic Manufacture         | Simba Plastics                     | Plastic pipes, fittings and containers          |
|    |                             | Plasco Limited                     | Plastic pipes and fittings                      |
|    |                             | Coastal Steel Industries           | Plastic pipes and containers                    |
| 8  | Metal products              | Metal Products Limited             | Tins and other metal containers                 |
| 9  |                             | Aluminum Africa Limited            | Corrugated iron sheets                          |
| 10 | Body Building               | Tanzania Motor Assemblies Ltd.     | Bus and truck bodies                            |
|    |                             | Pan Africa Enterprises Ltd.        | Bus and truck bodies                            |
| 11 | Steel and Steel Fabricators | MM Steel Industries Ltd.           | Steel bars and sheets                           |
|    |                             | Raksha Engineering                 | Fabricated metal products                       |
|    |                             | Zamil Steel Buildings              | Fabricated Steel buildings                      |
| 12 | Grain milling               | Said S. Bakhresa                   | Maize and wheat milling                         |
| 13 |                             | Ben Es -Haq Ltd.                   | Maize and wheat milling                         |
| 14 |                             |                                    | Maize and wheat milling                         |
| 15 | Mineral water Bottling      | Bakhresa Food products             | Mineral Water                                   |
| 16 |                             | IPP Limited                        | Mineral Water                                   |
| 17 | Bags                        | Rafia Bags Ltd                     | PP bags                                         |
|    |                             | Azam P.P. Bags                     | PP bags                                         |
| 18 | Timber and wood products    | Anishas Limited                    | Furniture joinery and other timber products     |
| 19 | Bakery and Confectionery    | Azam Bakeries                      | Cakes, bread, etc                               |
| 20 | Food products               | Bakhresa Food Products             | Ice cream                                       |
| 21 |                             | Dabaga Vegetable and Fruit Canning | Tomato ketchup, chili, mango pickle             |
| 22 | Edible oil manufacture      | Murza Oil Mills                    | Cooking oil                                     |
| 23 | Dairy products              | Royal Dairy                        | Dairy products                                  |
| 24 | Tea blenders                | Tanzania Tea Blenders              | Processed tea                                   |
| 25 | Radiators Manufacture       | Afro Cooling Ltd.                  | Radiators                                       |
| 26 | Printing and publishing     | Central Printing Works             | Printing stationery and paper products          |
|    |                             | Tanzania Printing Services Ltd     | Printing stationery and paper products          |
| 27 | Garments manufacture        | Aks Limited                        | Garments                                        |
| 28 | Electricity generation      | Independent Power Tanzania Ltd     | Thermal power generation                        |
| 29 | Glass Manufacture           | Kioo Limited                       | Bottles                                         |

Tabella 3.14 Principali attività industriali presenti a Dar es Salaam (AA.VV., 2004)





Foto 3.10 Attività di pesca



Foto 3.11 Estrazione di sabbia nell'area di Tegeta

Il settore turistico a Dar es Salaam è piuttosto sviluppato, ma possiede comunque tutte le contraddizioni che l'industria del turismo spesso manifesta nei paesi del sud del mondo, dove quasi tutte le strutture sono gestite da imprenditori stranieri, che incassano la maggior parte degli introiti delle attività, senza una redistribuzione del benessere tra la popolazione locale.

Dar es Salaam, con il suo clima favorevole ed essendo localizzata lungo un tratto di costa di 100 km, rappresenta sicuramente una metà "attraente" per gli investimenti nel settore. Attualmente, il settore turistico è concentrato in grandi strutture alberghiere puntuali localizzate lungo la costa, soprattutto al nord del centro della città, gestite perlopiù da imprenditori stranieri, che, in un certo senso, sono del tutto scollegate dalla realtà cittadina. La pessima gestione del territorio da parte dell'amministrazione, che permette lo sfruttamento di ampi tratti di costa da parte degli imprenditori del settore turistico, senza l'imposizione di nessun tipo di vincolo, crea problematiche e contraddizioni sociali ed ambientali, come per esempio l'erosione in alcuni punti della costa o la distruzione di ambienti essenziali per le comunità locali (esempio dei mangrovieti per la riproduzione dei pesci o delle aree lagunari), nonché disuguaglianze rispetto alla redistribuzione della risorsa idrica (AA.VV., 1992).

Sicuramente la "capacità" turistica di un'area dovrebbe essere valutata non solo in termini spaziali e puramente economici, ma anche rispetto all'influenza che può determinare sulle pratiche delle comunità locali.

#### 3.4.3. Problematiche ambientali

In un contesto così complesso, dove il 70% della popolazione abita in insediamenti informali con un accesso marginale ai servizi primari, come i sistemi idrico e di drenaggio delle acque, i sistemi di gestione dei rifiuti solidi e liquidi, nonché i servizi sociali di base, le principali problematiche ambientali derivano proprio dalla mancanza o inefficienza di tali servizi. Inoltre il costante aumento di popolazione contribuisce fortemente a tale degradazione dell'ambiente naturale.

Meno del 12% delle utenze cittadine sono collegate al sistema fognario, che è raggruppato in 11 sottosistemi e 17 stazioni di pompaggio, per un totale di 130 km di rete, e serve esclusivamente parte del centro città, delle aree industriali di Ubungo e Vingunguti ed alcune aree residenziali (AA.VV., 1992). Tale sistema risulta totalmente inadeguato, sia per la bassa capacità di progetto

ed il deterioramento delle strutture, che per la scarsità di utenze servite, considerando anche la continua espansione della città.

I reflui, immessi nel sistema fognario, vengono generalmente mandati in piccole pozze di ossidazione (8 in tutto a Dar es Salaam), dove vengono parzialmente trattati (rimozione di batteri e dei composti organici), prima di essere scaricati nei fiumi. Alcune delle pozze di ossidazione non sono funzionanti a causa della mancanza di manutenzione; in tal caso i reflui vengono scaricati direttamente in superficie. Gli effluenti non trattati vengono scaricati direttamente nei corsi d'acqua nelle vicinanze delle utenze, o nell'oceano, dove spesso i fondali fanghigiosi rimangono esposti con la bassa marea.

Lo stesso discorso vale per gli effluenti industriali non trattati, spesso composti da sostanze tossiche o da metalli pesanti, che quasi sempre vengono scaricati direttamente nel sistema di drenaggio superficiale, proprio per la mancanza di sistemi alternativi.

Inoltre il sempre maggior utilizzo di fertilizzanti e pesticidi nell'agricoltura urbana può incrementare l'inquinamento del suolo e dei corpi idrici.

La popolazione restante (88%), non collegata al sistema fognario, ha accesso a strutture sanitarie in situ, come serbatoi settici (9%) e "pit latrine" (79%), diffuse nelle aree informali densamente popolate.

Il DSSD (*Dar es Salaam Sewage and Sanitation Department*) del *City Council*, ha il compito della rimozione dei reflui dalle latrine e dai serbatoi settici, sebbene le pratiche di svuotamento si limitino ai reflui di base, tralasciando le acque di scolo, a causa della scarsità di mezzi adeguati (AA.VV., 1992). La situazione si aggrava nelle stagioni piovose, con i reflui che si riversano nel sistema di drenaggio superficiale, determinando un crescente rischio di inquinamento della superficie, della falda acquifera superficiale, utilizzata per parte dell'approvvigionamento idrico, e conseguentemente delle spiagge e dell'oceano.

L'inadeguatezza del sistema fognario contribuisce fortemente all'inquinamento ed alla contaminazione (elevata presenza nitrati, ammoniaca, batteri) dell'acqua, del suolo e dell'aria, incrementando così il rischio di diffusione di malattie, come colera, tifo e dissenteria, molto pericolose per la popolazione locale, e di conseguenza anche "economicamente costose" per tutta la comunità.



Foto 3.13 Discarica di Vingunguti (Mjemah, 2007)



Foto 3.12 "Pit-latrina" nell'area di Buguruni (Sugden, 2007)

Per quanto riguarda il sistema di gestione dei rifiuti solidi, meno del 15% dei rifiuti solidi urbani sono raccolti, a causa della mancanza di appropriati veicoli, nonché dall'inadeguatezza e dagli eccessivi costi dei meccanismi di recupero.

Viene stimato che la città di Dar es Salaam produca circa 2000 ton/giorno di rifiuti, provenienti da attività domestiche, industriali e commerciali, come, ad esempio, i numerosi mercati presenti in città, sia formali che informali. La raccolta dei rifiuti viene effettuata dalle Municipalità, da compagnie private, da associazioni di cittadini, ed anche da settori informali (AA.VV., 2004).

Lo smaltimento dei pochi rifiuti raccolti consiste nel semplice accumulo nella discarica di Tabata, che attualmente è in condizioni di evidente emergenza ambientale, dovuta alla presenza di ceneri e liquami tossici che impattano sull'area residenziale nelle immediate vicinanze, alla proliferazione di insetti e zanzare, nonché a potenziali rischi di esplosione del metano prodotto dal processo di degradazione biochimica.

Negli ultimi anni è operativa una nuova discarica, localizzata a Vingunguti, in cui i rifiuti sono accumulati con tecniche maggiormente "sanitarie" (AA.VV., 1992).

La maggior parte dei rifiuti generati sono completamente o parzialmente bruciati in situ dalla popolazione, con il conseguente inquinamento dell'aria, oppure sono gettati per strada o negli alvei dei corsi d'acqua (*dumping*), generando odori sgradevoli e creando possibili ostacoli al naturale deflusso idrico. Le stesse pratiche vengono utilizzate per lo smaltimento dei rifiuti industriali potenzialmente tossici.

E' evidente che un situazione di questo tipo determina notevoli problemi sanitari, aumentando il rischio di diffusione di malattie, specialmente nella stagione piovosa, in cui i corsi d'acqua esondano, diffondendo sulla superficie i prodotti di decomposizione dei rifiuti (AA.VV., 1992).



Foto 3.14 Scarico industriale nel Fiume Kizinga



Foto 3.15 Rifiuti solidi sulla spiaggia di Msasani



Foto 3.16 Attività di raccolta dei rifiuti solidi

L'inondazione nelle stagioni piovose delle aree più depresse della città, specialmente lungo la costa, è una problematica assai diffusa, ed è sicuramente aggravata dal fatto che molteplici insediamenti informali si sviluppano proprio nelle aree di piena dei corsi d'acqua.

La mancanza e l'inadeguatezza del sistema di drenaggio delle acque, in cui i canali si sviluppano esclusivamente lungo le strade asfaltate, unitamente all'inquinamento dovuto alla presenza di rifiuti liquidi e solidi in superficie provoca drammatiche conseguenze sanitarie nelle aree più povere della città (AA.VV., 1992).

In generale, le pratiche di approvvigionamento idrico da parte della popolazione, di cui si parlerà successivamente, variano notevolmente a partire dall'utilizzo dell'acqua distribuita dall'acquedotto, che risulta essere inadeguato e serve una ristretta parte degli abitanti, alla compravendita di acqua in differenti modi, sino allo sfruttamento delle acque superficiali e sotterranee.

Di conseguenza la tutela della qualità e della quantità delle acque superficiali e sotterranee, minacciate dall'eccessivo sfruttamento, dall'inquinamento determinato dalla scarico di rifiuti liquidi e solidi, come evidenziato in precedenza, nonché dal fenomeno, sempre più in aumento, dell'intrusione salina nella falda acquifera nelle aree costiere, diventa di estrema importanza.

Un'altra emergenza ambientale che può essere collegata all'attività umana, come è stato evidenziato anche precedentemente, è sicuramente il progressivo processo di erosione della costa, soprattutto nelle aree a nord di Dar es Salaam, tra la Msasani Peninsula e l'area di Kunduchi.

La presenza in tali zone di grandi strutture turistiche, che spesso possiedono proprie costruzioni idrauliche per la difesa delle spiagge private, ha sicuramente modificato i normali processi di deposizione dei sedimenti, aumentando l'erosione in altre zone costiere. In aggiunta la pratica della pesca con la dinamite, molto diffusa sino a qualche anno fa, ha danneggiato in modo sensibile la barriera corallina, abbassando la naturale difesa della costa nei confronti delle correnti oceaniche assicurata proprio dalla barriera.

L'inquinamento dell'aria a Dar es Salaam è sicuramente un problema in costante aumento. Il deterioramento delle qualità atmosferiche può essere collegato all'incremento del volume di traffico, alle attività industriali, allo stato obsoleto delle infrastrutture viarie, nonché alla combustione dei rifiuti solidi, come visto precedentemente. Il numero di veicoli è in costante aumento, con un tasso di crescita pari al 10% all'anno (AA.VV., 2004).

Viceversa tale incremento in numero di veicoli non è supportato da un analogo sviluppo della rete stradale asfaltata, con il risultato che, nelle ore di punta, si assiste ad una grande concentrazione di veicoli nei punti nevralgici della rete. Inoltre il parco veicolare risulta essere, in media, piuttosto obsoleto, con percentuali di emissione di inquinanti per veicolo (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>) molto elevate.

Fra le attività industriali particolarmente inquinanti, anche perché non vi sono regolamenti restrittivi sulle emissioni, si possono menzionare le industrie alimentari, i cui rifiuti organici possono favorire processi di eutrofizzazione dei corpi idrici recettori con tutte le conseguenze del caso (danni a flora e fauna, odori molesti, proliferazione di insetti e zanzare), il cementificio della Wazo Hill, che produce grandi quantità di ceneri e particolato, le centrali termoelettriche, le

cui emissioni sono altamente inquinanti, nonché le attività collegate alla lavorazione dei metalli e del legno, sempre per la tipologia di rifiuti della lavorazione (AA.VV., 1992).

### 3.5. La gestione della risorsa idrica a Dar es Salaam

#### 3.5.1. Il sistema idrico di Dar es Salaam: caratteristiche e problematiche

Nel 1999 il totale dei sistemi idrici presenti in Tanzania servivano rispettivamente il 54,2% ed il 42% degli abitanti delle aree urbane e rurali (Mato, 2002), con una fornitura di acqua, nelle aree urbane, pari a 494300 m<sup>3</sup>/day, a fronte di una richiesta pari a 912300 m<sup>3</sup>/day (Mato, 2002). Attualmente, nei grandi centri urbani, la percentuale potrebbe essere inferiore a causa del progressivo aumento di popolazione e del conseguente incremento della domanda idrica. L'inadeguata distribuzione di un'acqua di buona qualità costringe le persone a ricercare fonti alternative, che, in generale, nelle aree urbane, possono essere di qualità inferiore, in quanto non protette dalle molteplici fonti di inquinamento.

| Urban Centre  | Water Source          | Water Demand (m <sup>3</sup> /day) | Supply Level (m <sup>3</sup> /day) | Per capita consumption (l/cap.day) | % Supply (m <sup>3</sup> /day) |
|---------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Tabora        | Igembe & Kazima Dams  | 28,222                             | 10,375                             | 155                                | 36.8                           |
| Ininga        | River Ruaha           | 16,000                             | 8,500                              | 80                                 | 53.1                           |
| Moshi         | Groundwater           | 20,000                             | 19,500                             | 90                                 | 97.5                           |
| Morogoro      | Mindu dam             | 30,000                             | 19,000                             | 95                                 | 63.3                           |
| Tanga         | Sigi River            | 40,000                             | 25,000                             | 110                                | 62.5                           |
| Arusha        | Groundwater           | 42,647                             | 35,000                             | 110                                | 82.1                           |
| Mbeya         | Ground & surface      | 30,000                             | 18,000                             | 55                                 | 60.0                           |
| Dodoma        | Ground & dam          | 37,500                             | 24,000                             | 70                                 | 64.0                           |
| Mwanza        | L. Victoria           | 70,000                             | 42,000                             | 120                                | 58.3                           |
| Dar es Salaam | Rivers Ruvu & Kizinga | 410,000                            | 304,000                            | 100                                | 74.1                           |

*Source for raw data: Ishengoma, 1998 and Msimbira, 1999*

Tabella 3.15 Richiesta di risorsa idrica e livelli di fornitura idrica nei maggiori centri urbani della Tanzania (Mato, 2002)

La completa autorità e responsabilità sulle questioni riguardanti la gestione della risorsa idrica ricade esclusivamente sul *Ministry of Water and Irrigation*. A Dar es Salaam molte funzioni sono delegate al DAWASA (*Dar es Salaam Water & Sewerage Authority*), un ente comunque collegato al ministero, che è responsabile sia della fornitura di acqua, che della gestione del sistema fognario.

Il DAWASA, a sua volta, delega le operazioni di costruzione delle strutture idrauliche al DAWASCO (*Dar es Salaam Water and Sewerage Corporation*), una società privata tanzaniana a partecipazione pubblica, che ha rilevato tale incarico dalla società privata britannica *City Water Services Limited*, in seguito alla cancellazione del contratto stipulato con il governo tanzaniano nel 2005 per la privatizzazione del sistema idrico di Dar es Salaam (Kjellen, 2006).

Prima dell'indipendenza dall'Inghilterra, il *Public Works Department* del governo britannico era responsabile della pianificazione, degli investimenti e della gestione del sistema idrico. Dopo l'indipendenza la responsabilità di tali funzioni fu affidata al neonato *Ministry of Water and*

*Power*, che fondò per tale incarico un preciso dipartimento, chiamato *Dar es Salaam Water Supply*.

Nel 1977, quando le autorità urbane furono introdotte, il *Dar es Salaam Water Supply* fu trasformato in una organizzazione parastatale, chiamata *Dar es Salaam Water Corporation Sole*, il cui obiettivo era quello di divenire un ente finanziariamente e managerialmente indipendente dal ministero.

A causa delle poche risorse allocate e della non chiarezza nelle responsabilità sulla gestione del sistema idrico, il *Dar es Salaam Water Corporation Sole* fu sostituito, attraverso l'*Urban Water Supply Act* (1981), dal NUWA (*National Urban Water Authority*), una organizzazione parastatale autonoma e di carattere semi-commerciale, che aveva l'obiettivo di generare entrate sufficienti per sostenere le spese di sviluppo del sistema. Nel 1997 il NUWA si unì col DSSD (*Dar es Salaam Sewerage and Drainage Department*), formando l'attuale DAWASA, e per la prima volta il sistema idrico veniva visto nel suo complesso, dalla fornitura alla gestione dello scarico delle acque.

Da notare, comunque, come la gestione del sistema idrico di Dar es Salaam non sia mai stata sotto la responsabilità delle autorità locali, ma sempre sotto il controllo delle autorità centrali, anche nel caso di un ente parastatale a carattere autonomo, come il DAWASA (WaterAid, 2003). Nonostante il cambiamento di enti, competenze e strategie politiche, la mancanza di investimenti ha reso impossibile lo sviluppo adeguato del sistema idrico rispetto alla crescita della città; la percentuale di abitanti serviti rispetto alla totalità diminuisce costantemente anno dopo anno, e di conseguenza l'accesso ad una acqua di qualità diventa una delle principali emergenze per i cittadini di Dar es Salaam (WaterAid, 2005).

Il sistema idrico di Dar es Salaam si serve principalmente delle acque superficiali del Fiume Ruvu, che scorre a nord-ovest della città, in cui sono localizzate due prese, la *Lower Ruvu*, poco a sud di Bagamoyo e la *Upper Ruvu*, vicino a Mlandizi. Altre fonti del sistema idrico cittadino, sebbene inferiori alle precedenti in quantità di acqua fornita, sono rappresentate dalle acque superficiali del Fiume Kizinga, in cui è presente una presa localizzata a Mtoni, nel distretto di Temeke, e dalle acque sotterranee emunte da diversi pozzi comunali, costruiti principalmente dal 1997, anno in cui vi fu una stagione particolarmente secca ed il poco deflusso nel Fiume Ruvu non permetteva la presa di una eccessiva quantità d'acqua.

Il sistema si basa su una serie di opere di presa, serbatoi di immagazzinamento, condotte di trasmissione e distribuzione, che ripartiscono l'acqua, precedentemente trattata attraverso processi di sedimentazione, filtrazione, clorazione e disinfezione, in differenti parti della città, sia verso connessioni private, che punti pubblici di distribuzione (PWP, *Public Water Point*).

Il Fiume Ruvu ha un bacino di circa 18000 km<sup>2</sup>, nasce dalle Uluguru Mountains nelle Regione di Morogoro e sfocia nell'Oceano Indiano a circa 80 km a nord di Dar es Salaam, nei pressi di Bagamoyo.

La *Upper Ruvu* viene alimentata dalle acqua provenienti direttamente dalle Uluguru Mountains, caratterizzate da una elevata piovosità (1500 mm/year) ed una alta percentuale di runoff (50% della piovosità). Più a valle della *Upper Ruvu*, nella piana nei pressi di Mgeta, l'evapotraspirazione riduce il runoff fino al 20% della piovosità, ed il deflusso del fiume viene perlopiù sostenuto da molti affluenti non stagionali, che vanno ad alimentare la *Lower Ruvu*, localizzata nei pressi di Bagamoyo.



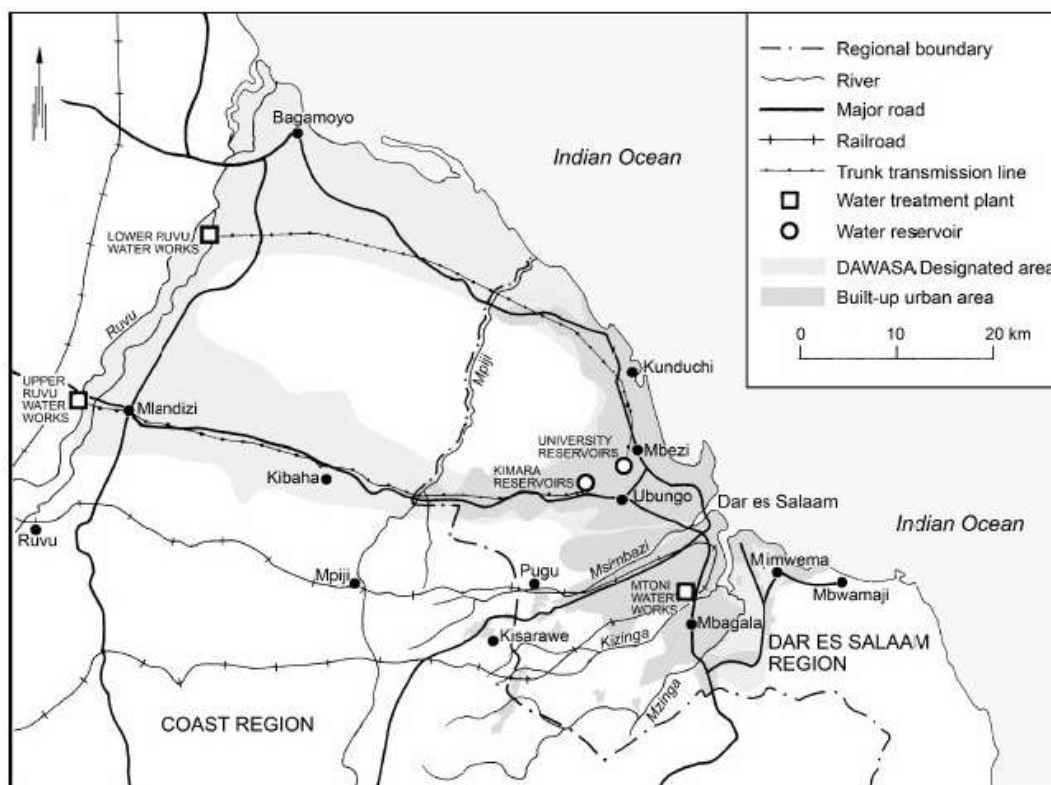


Figura 3.30 Localizzazione degli impianti di presa e dei serbatoi di immagazzinamento del sistema idrico (Kjellen, 2006)

La presa *Upper Ruvu* fu progettata nel 1954 e resa operativa nel 1959, con l'idea di aumentare la capacità del sistema idrico di Dar es Salaam, che risultava ormai inadeguato alla crescita della città. Sino a quel momento il sistema si basava solo sull'utilizzo di un basso numero di pozzi, che attingevano dalla falda superficiale, che mostrava problemi di inquinamento e salinizzazione delle acque, e sulla presa localizzata nei pressi di Mtoni, sul Fiume Kizinga, realizzata nel 1949, ma che già risultava troppo ridotta per la città, anche a causa della notevole diminuzione del deflusso del fiume nella stagione secca (Kjellen, 2006).

La capacità della struttura di presa di Mtoni sul Fiume Kizinga è stimata attualmente tra 1400 m<sup>3</sup>/day e 7700 m<sup>3</sup>/day, in funzione della stagione, con una capacità di progetto pari a 9000 m<sup>3</sup>/day

La struttura della *Upper Ruvu* consiste in una opera di presa nei pressi del ponte sul Fiume Ruvu, lungo la Morogoro Road, ed un impianto di trattamento delle acque nei pressi di Mlandizi, 7 km a est della struttura di presa. L'impianto ha una capacità operativa di 82000 m<sup>3</sup>/day, con una capacità di progetto pari a 210000 m<sup>3</sup>/day (Mjemah, 2007).

Da Mlandizi l'acqua trattata viene mandata, attraverso tre grandi condotte a lunga trasmissione di 50 km, verso 3 serbatoi di immagazzinamento, localizzati a Kimara, ad ovest di Dar es Salaam. Durante il percorso le condotte principali sono collegate ad alcune condotte secondarie che servono gli insediamenti di Mlandizi, Kibamba e Kibaha. Il fatto che tali connessioni secondarie non posseggano valvole di riduzione di pressione, provoca grosse perdite nel sistema e favorisce l'eccessivo consumo proprio a causa dell'alta pressione.

La più grande struttura del sistema idrico di Dar es Salaam è rappresentata dall'impianto *Lower Ruvu*, che fu commissionato nel 1976 e costruito dalla Cooperazione Canadese. E' localizzata sul Fiume Ruvu, 18 km a monte dalla foce nell'Oceano Indiano, a sud di Bagamoyo. E' costituita da una chiusa lungo il fiume, che consente di mantenere un minimo livello di acqua disponibile, un sistema di presa formato da quattro pompe *low-lift*, ed un impianto di trattamento delle acque, che attualmente risulta essere piuttosto deteriorato, con notevoli conseguenze sulla qualità dell'acqua. La capacità operativa del sistema *Lower Ruvu* è pari a 182000 m<sup>3</sup>/day, con una capacità di progetto pari a 386000 m<sup>3</sup>/day.

L'impianto di trasmissione consiste in una conduttura di 1350 mm di diametro, di lunghezza pari a 55 km, che trasporta l'acqua trattata verso 2 serbatoi di immagazzinamento, localizzati all'interno dell'Università di Dar es Salaam. Vi sono inoltre condotte secondarie che servono il Distretto di Bagamoyo ed alcuni insediamenti vicino a Dar es Salaam. Comunque le perdite di tale sistema di trasmissione risultano sicuramente inferiori rispetto all'impianto *Upper Ruvu*.

La differenza in portata tra i sistemi di trasmissione della *Upper Ruvu* e della *Lower Ruvu* può essere dovuta ai differenti materiali in cui sono state realizzate le condotte. Il sistema della *Upper Ruvu* è stato realizzato in acciaio e ghisa, mentre la *Lower Ruvu* in cemento armato precompresso, materiali molto più difficile da manipolare, che non permette di allacciarsi illegalmente alla rete (Kjellen, 2006).



Foto 3.17 Struttura di presa, localizzata nei pressi di Mtoni, sul Fiume Kizinga (Kjellen, 2006)



Foto 3.18 Struttura di presa Upper Ruvu, localizzata nei pressi di Mlandizi, sul Fiume Ruvu (Kjellen, 2006)

L'acqua sotterranea, prima della costruzione dell'impianto di presa delle acque superficiali di Mtoni, come si è detto, era la principale fonte per il sistema idrico. Successivamente, l'utilizzo di tale risorsa diminuì, a favore dello sviluppo degli impianti *Upper Ruvu* e *Lower Ruvu*. La grande siccità del 1997 costrinse il DAWASA a sviluppare un Programma di Emergenza, che consisteva nella costruzione di 260 pozzi, che attingevano sia dalla falda superficiale che profonda, in modo da aumentare la fornitura idrica (Mato, 2002). Attualmente il sistema idrico può contare su 35 pozzi, connessi alla distribuzione principale senza sistemi di trattamento, con una capacità totale pari a 30000 m<sup>3</sup>/day.

La capacità totale del sistema idrico principale di Dar es Salaam, nelle sue varie componenti, è riassunta in Tabella 3.16.



Figura 3.31 Estensione delle condotte di trasmissione e distribuzione del sistema idrico di Dar es Salaam

| Water Work                                                                                                                                   | Raw Water           |                                            | 'Treated' Water     |                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                                                                              | Intake              | Raw water pumps                            | Treat-ment filters  | Treated water pumps                        |
| <i>Surface Water Supplies</i>                                                                                                                | m <sup>3</sup> /day | m <sup>3</sup> /s<br>(m <sup>3</sup> /day) | m <sup>3</sup> /day | m <sup>3</sup> /s<br>(m <sup>3</sup> /day) |
| Lower Ruvu Scheme                                                                                                                            | 386,000             | 2.5 (216,000)                              | 182,000             | 2.1 (181,000)                              |
| Upper Ruvu Scheme                                                                                                                            | 210,000             | 1.1 (95,000)                               | 82,000              | 0.95 (82,000)                              |
| Mtoni Scheme (Kizinga River)                                                                                                                 | 13-22,000           | 0.12-0.16<br>(10,000-14,000)               | 9,000               | 0.16 (14,000)                              |
| <i>Groundwater Supplies</i>                                                                                                                  |                     |                                            |                     |                                            |
| Approximately 35 boreholes                                                                                                                   |                     | (30,000)                                   |                     |                                            |
| Total installed treatment capacity:                                                                                                          |                     |                                            | 273,000             |                                            |
| Data Sources: Elmcres group with MMK Project Services LTD (1999: Table 2.1), DAWASA Divestiture Technical Team (1998) and World Bank (2003). |                     |                                            |                     |                                            |

Tabella 3.16 Fornitura totale del sistema idrico di Dar es Salaam (Kjellen, 2006)

Il sistema di distribuzione dell'acqua, dai serbatoi di immagazzinamento di Kimara e dell'Università di Dar es Salaam verso la città, funziona essenzialmente a gravità.

I serbatoi di Kimara, locati ad una maggior altitudine, alimentano le aree urbane lungo la Morogoro Road, ad ovest del centro della città, e alcune aree a sud del centro. L'acqua è razionata su base giornaliera, e, talvolta, alcune zone ai piedi delle Pugu Hills rimangono senza acqua per lunghi periodi, a causa di perdite di pressione nel sistema. Mentre i serbatoi localizzati all'interno dell'Università di Dar es Salaam servono le aree urbane sulla costa nord della città, il

centro e alcune zone a sud, mentre l'acqua proveniente dalla presa di Mtoni serve alcune parti del distretto di Temeke.

| Major Storage Facilities for Dar es Salaam Water Distribution |                            |                                          |                      |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| Location                                                      | Capacity (m <sup>3</sup> ) | Meters above sea level – top water level | Year of construction |
| Mtoni                                                         | 9,100                      | n.a.                                     | 1949/??              |
| Kimara                                                        | 8,000                      | 135.9                                    | 1957/59              |
| Kimara                                                        | 8,000                      | 135.9                                    | 1957/59              |
| Kimara                                                        | 18,200                     | 135.9                                    | 1963/66              |
| University                                                    | 22,700                     | 70.2                                     | 1973/76              |
| University                                                    | 22,700                     | 70.2                                     | 1973/76              |
| <b>Total</b>                                                  | <b>88,700</b>              |                                          |                      |

Sources: DAWASA Divestiture Technical Team (1998:20) and Elmcrest group with MMK Project Services LTD (1999:Table 2.3).

Tabella 3.17 Capacità dei serbatoi di immagazzinamento (Kjellen, 2006)

Il sistema di distribuzione dell'acqua possiede una struttura gerarchica, formata dalla rete pubblica primaria che convoglia l'acqua dai serbatoi di immagazzinamento verso le aree urbane servite (*demand areas*), dalla rete pubblica secondaria (*reticulation*) che collega la rete primaria ai punti di aggancio per le connessioni private (contatori), ed, infine, dalla privata rete terziaria (*service pipe*), di diametro inferiore, che si estende direttamente dai contatori alle utenze. Naturalmente nel passaggio dell'acqua da una rete all'altra, la pressione diminuisce, con l'effetto che, in alcune aree urbane, la fornitura idrica risulta irregolare o, addirittura, nulla. Tale struttura gerarchica non è sempre ben definita, proprio perché, non di rado, si possono trovare connessioni dirette tra la rete primaria e l'utenza, ed in generale i consumatori aspirano sempre a connettersi al più alto gradino della struttura gerarchica, proprio per avere la certezza della fornitura idrica (Kjellen, 2006).



Foto 3.19 Esempio di salto di gerarchia. Connessione diretta tra la rete primaria e l'utenza (Kjellen, 2006)



Foto 3.20 Insieme di connessioni secondarie alla condotta di trasmissione sotterranea nell'area di Kimara (Kjellen, 2006)

La lunghezza totale della rete idrica primaria e secondaria risulta essere superiore a 800 km, di cui circa 237 km di condotte primarie e circa 587 km di distribuzione secondaria, mentre non è possibile quantificare l'estensione della rete terziaria, a causa delle numerose e caotiche connessioni private (DAWASA, 2000).

| Pipes Laid by the Water Utility in Dar es Salaam, by Time Period |                                                          |                                      |                                                         |                                      |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Years                                                            | Primary Distribution                                     |                                      | Secondary Distribution                                  |                                      |
|                                                                  | Meters of pipes installed (diameters from 75 to 1350 mm) | Percentage of detailed installations | Meters of pipes installed (diameters from 50 to 200 mm) | Percentage of detailed installations |
| Pre-1960                                                         | 81,175                                                   | 34%                                  | 154,650                                                 | 26%                                  |
| 1961-65                                                          | 20,815                                                   | 9%                                   | 41,450                                                  | 7%                                   |
| 1966-70                                                          | 18,335                                                   | 8%                                   | 113,825                                                 | 19%                                  |
| 1971-75                                                          | 54,155                                                   | 23%                                  | 184,642                                                 | 32%                                  |
| 1976-80                                                          | 44,070                                                   | 19%                                  | 48,265                                                  | 8%                                   |
| 1981-85                                                          | 0                                                        | 0%                                   | 33,950                                                  | 6%                                   |
| 1986-90                                                          | 18,370                                                   | 8%                                   | 7,050                                                   | 1%                                   |
| 1991-95                                                          | 0                                                        | 0%                                   | 0                                                       | 0%                                   |
| 1996-00                                                          | 0                                                        | 0%                                   | 0                                                       | 0%                                   |
| 2000-05                                                          | not explored                                             | n.a.                                 | not explored                                            | n.a.                                 |
| <b>Total above</b>                                               | <b>236,920</b>                                           | <b>100%</b>                          | <b>583,832</b>                                          | <b>100%</b>                          |
| <b>'Official estimate'</b>                                       | <b>237,000</b>                                           |                                      | <b>587,000</b>                                          |                                      |

Data Source: Elmcrest group with MMK Project Services LTD (1999:Tables 2.4 and 2.5), based on Japan International Cooperation Agency (1991). "Official estimates" relate to various sources e.g. DAWASA Divestiture Technical Team (1998) and PSRC (no date-a).

Tabella 3.18 Periodi di installazione delle condotte primarie e secondarie (Kjellen, 2006)

Lo sviluppo fuori proporzione della rete terziaria privata, che connette le reti primarie e secondarie alle utenze, è un fenomeno chiamato, generalmente, “spaghetizzazione”, riferendosi alle molteplici condotte flessibili in PVC, di piccolo diametro, che si diramano da uno stesso contatore, formando un fascio simile ad un mazzetto di spaghetti (Kjellen, 2006).

I limitati investimenti nello sviluppo della rete secondaria, che non hanno permesso l'ingrandimento della rete pubblica, unitamente alla crescita della città, hanno favorito l'esagerata estensione della rete terziaria, finanziata privatamente (Kyessi, 2002).

Tale situazione è favorita anche dalla proliferazione degli allacci abusivi alle rete pubblica, a causa dell'estrema difficoltà per il DAWASA di individuare, nella “selva di spaghetti”, quali siano le connessioni illegali.

Le condutture “a spaghetti” possono arrivare anche ad 1 km di lunghezza, e sono dimensionate per servire una o, al massimo, due utenze. Essendo situate nei canali di drenaggio, lungo le strade ed in intorno alle abitazioni, sono spesso esposte, e quindi molto vulnerabili e tendenti a danneggiarsi, tant'è che il principale problema legato al fenomeno della “spaghetizzazione” è proprio rappresentato dalle abbondanti perdite d'acqua del sistema. Difatti la presenza di numerose condotte di piccolo diametro, piuttosto che una sola di diametro maggiore, determina un incremento delle perdite di carico localizzate, ed, al contempo, una drastica riduzione di pressione nella rete.





Foto 3.21 Fascio di condotte del sistema terziario nell'area di Mikocheni. Fenomeno della "spaghetizzazione" (Kjellen, 2006)



Foto 3.22 Insieme di condotte terziarie collegate alla rete secondaria nell'area di Manzese (Kjellen, 2006)



Foto 3.23 Condotte disposte lungo la strada nell'area di Tandale (Kjellen, 2006)



Foto 3.24 Fascio di condotte nel centro di Dar es Salaam (Kjellen, 2006)

Il problema della bassa pressione nelle condotte rende irregolare ed inaffidabile la fornitura idrica, tanto che la maggior parte degli utenti del sistema, per ovviare a tale situazione precaria, devono ricorrere all'utilizzo di particolari strategie, come (Kjellen, 2006):

- L'utilizzo di una pompa secondaria (*booster pump*), collegata all'estremità della condotta privata dell'utente, che aspira acqua dalla rete. Tale pratica è illegale perché riduce ulteriormente la pressione nel resto del sistema, a scapito di altri utenti non dotati di tale strumento.
- La recisione della condotta, laddove il rubinetto sia posto ad una quota superiore al carico massimo dell'acqua nella condotta. Tale pratica è molto diffusa ed è sostenuta dal fatto che, in alcune aree della città, la fornitura idrica rispetti orari e giorni precisi. In questo modo i consumatori si organizzano per raccogliere con secchi ed immagazzinare in serbatoi l'acqua fornita dal sistema.
- La costruzioni di rubinetti o serbatoi in cemento sotterranei, in modo che l'acqua giunga al rubinetto o al serbatoio, anche con bassa pressione.

La non regolarità della fornitura idrica, unitamente all'applicazione di orari di erogazione dell'acqua, in alcune aree della città, costringe le famiglie ad investire in serbatoi di



immagazzinamento privati (*private storage tank*), che accumulino tanta più acqua possibile, per gestire i consumi secondo la propria comodità.

Naturalmente, quando l'erogazione è frequente (mattina e pomeriggio di tutti i giorni), il sistema di immagazzinamento richiesto è piuttosto ridotto, viceversa quando l'erogazione è meno frequente (1/2 volte a settimana) la capacità del sistema deve essere maggiore.

I serbatoi di immagazzinamento, in cemento o polietilene, sono collocati all'altezza del tetto dell'abitazione per la distribuzione dell'acqua e spesso sono accoppiati ad un serbatoio sotterraneo di maggiore capacità che funziona da riserva. Attualmente a Dar es Salaam si assiste ad una notevole crescita dell'utilizzo di serbatoi di immagazzinamento, che si rendono decisamente utili anche nel caso di altre fonti di approvvigionamento idrico, come ad esempio l'utilizzo di pozzi.



Foto 3.25 *Booster pump* in una abitazione a Msasani (Kjellen, 2006)



Foto 3.26 Recisione della condotta, per ovviare ad i problemi di bassa pressione (Kjellen, 2006)



Foto 3.27 Rubinetto sotterraneo nell'area di Tandika (Kjellen, 2006)



Foto 3.28 Serbatoio di immagazzinamento nell'area di Kinondoni (Kjellen, 2006)

Il principale problema del sistema idrico di Dar es Salaam è rappresentato dalle perdite d'acqua nei sistemi di trasmissione e distribuzione, che superano il 50% dell'acqua immessa nella rete.

Le perdite d'acqua possono essere suddivise in perdite strutturali e perdite per derivazioni non autorizzate.

Le perdite strutturali derivano dalla carenza del sistema rispetto a vari fattori, quali:

- L' inadeguatezza delle condutture, dovuta alla scarsa manutenzione del sistema.  
La corrosione esterna favorisce le perdite, mentre l'incrostazione ed i depositi solidi all'interno incidono sulla capacità di distribuzione della rete.
- Le differenze di pressione in diverse parti del sistema, che determinano uno squilibrio nella fornitura idrica tra i quartieri.

Le zone ad alta e bassa pressione non sono adeguatamente separate, con la conseguenza che in alcune aree vi è una eccessiva fornitura, mentre in altre non vi è la pressione adeguata per la fornitura idrica (in particolare le aree a sud ed ovest della città).

In generale, la maggior parte del sistema ha problemi di bassa pressione, anche se le areelocate lungo i tronchi principali di distribuzione, soffrono del problema opposto (alta pressione nelle condotte), che induce a sprechi notevoli d'acqua.

- Il dimensionamento inadeguato della rete e la mancanza di strumentazioni efficienti negli impianti di presa, immagazzinamento e distribuzione.

Ad esempio, il fatto che i serbatoi difficilmente si riempiono, a causa della mancanza di valvole per la regolazione del deflusso, con l'acqua che passa direttamente al sistema di distribuzione, non consente la modulazione del servizio, e favorisce le perdite del sistema, non permettendo una più adeguata fornitura, specialmente nelle ore di picco.

Inoltre, non di rado vi sono guasti al sistema o interruzioni nella fornitura di energia elettrica, che minano la stabilità del servizio.

La limitata produzione e la scarsa capacità del sistema non permettono di confrontarsi con una domanda d'acqua che cresce di pari passo con lo sviluppo urbano.

Le perdite per derivazioni non autorizzate sono favorite dalla relativa facilità nell'allacciarsi illegalmente al sistema, a causa della vetustà delle condutture.

Il volume di acqua perduta nei differenti livelli, trasmissione e distribuzione, del sistema idrico di Dar es Salaam, è mostrato in Figura 3.32.

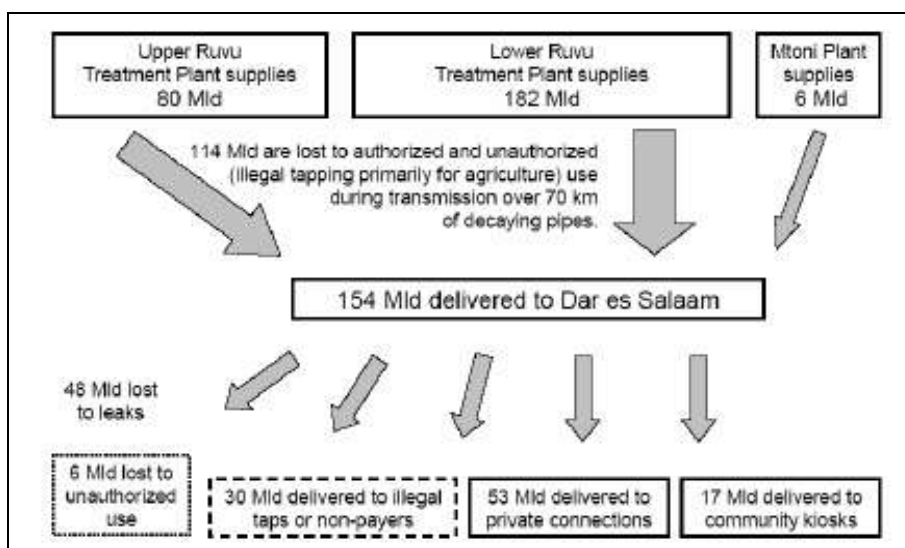


Figura 3.32 Volume di perdite d'acqua nel sistema idrico di Dar es Salaam (WaterAid Tanzania, 2003)

L'ostacolo principale per l'adeguamento e lo sviluppo del sistema idrico di Dar es Salaam sta proprio nella poca disponibilità di fondi. I costi operativi sono generalmente superiori alle entrate

incassate con le tariffe (nel 2003 il costo di produzione unitaria ammontava a 480 Tsh /m<sup>3</sup>, con una tariffa di 295 Tsh/m<sup>3</sup>) (Kjellen, 2006). In particolare, il maggior costo (70% grande dell'ammontare totale) deriva dal consumo elettrico per il sistema di presa e trasmissione. Ad ogni modo, il problema principale risulta essere soprattutto il complesso ed approssimativo sistema tariffario.

La complessità nella riscossione delle tariffe è causata dalla difficoltà nel determinare il numero e la locazione precisa degli allacciamenti alla rete, nonché dalla mancanza di dati precisi sui consumi per singola connessione. Attualmente le tariffe sono determinate in funzioni dei presunti consumi e della pressione dell'acqua nella rete, stimata in relazione all'area urbana di residenza dell'utente, con il risultato che alcuni consumatori sono tariffati eccessivamente rispetto ai reali consumi ed altri in modo minore. Questa situazione genera proteste e, spesso, il rifiuto di pagare la tariffa.

In generale, le tariffe sono comunque piuttosto basse, e nonostante la politica di aumento delle tariffe, applicata negli ultimi anni dal DAWASA, per cercare di accrescere le entrate, in modo da favorire l'adeguamento della rete, attualmente lo sviluppo del sistema idrico di Dar es Salaam dipende completamente dai donatori esteri (Kjellen, 2006).

| Year of Tariff Change | Tanzanian Shillings per Cubic Meter | Increment from previous level |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1997                  | 177/=                               |                               |
| 1997                  | 204/=                               | 15%                           |
| 1998                  | 234/=                               | 15%                           |
| 1999                  | 269/=                               | 15%                           |
| 2001                  | 296/=                               | 10%                           |
| 2002                  | 340/=                               | 15%                           |
| 2002/2003             | 391/=                               | 15%                           |
| 2003                  | 451/=                               | 15%                           |
|                       | <i>first 5m<sup>3</sup>: 337/=</i>  | - 14%                         |

Tabella 3.19 Aumento delle tariffe per l'utilizzo del sistema idrico di Dar es Salaam tra il 1997 ed il 2003 (Kjellen, 2006)

E' necessario notare che l'accesso al sistema idrico presuppone una quantità di investimenti piuttosto elevata, completamente a carico del privato, come la tariffa di connessione al sistema, il costo per la disposizione della condotta terziaria, il costo del sistema di immagazzinamento, nonché il costo dell'eventuale sistema per ovviare alla bassa pressione nella rete. E' evidente, quindi, che solamente i residenti con un medio-alto reddito possano connettersi al sistema di fornitura idrica, che rimane inaccessibile per la maggioranza degli abitanti di Dar es Salaam.

In particolare nel Distretto di Kinondoni, il 60% della popolazione ha accesso, direttamente ed indirettamente, all'acqua dell'acquedotto, il 68% nel Distretto di Temeke, ed il 52% nel Distretto di Ilala, anche se spesso tale accesso non implica la completa indipendenza da altre forme di approvvigionamento, proprio perché il sistema idrico, come è stato precedentemente evidenziato, non funziona in modo regolare (AA.VV., 2004).

In una situazione di questo tipo, per l'approvvigionamento idrico, la maggior parte degli abitanti, soprattutto negli stanziamenti informali e nelle aree peri-urbane, è costretta a ricercare fonti differenziate (anche nei costi), e talvolta non protette, con tutte le problematiche sanitarie che possono derivare dal notevole e crescente inquinamento delle acque superficiali e sotterranee.

### 3.5.2. Usi ed accesso alla risorsa idrica

Gran parte della popolazione di Dar es Salaam non ha accesso diretto al sistema idrico, o, per lo meno, solo una parte può soddisfare del tutto le proprie necessità contando esclusivamente sull'utilizzo dell'acqua dell'acquedotto, senza rivolgersi a fonti alternative.

In particolare, solamente un terzo degli abitanti ha accesso diretto al sistema idrico attraverso connessioni private o chioschi (fontane) per la distribuzione pubblica (*public standpipe*), mentre la restante parte utilizza fonti di approvvigionamento alternative e complementari, che variano notevolmente in funzione delle stagioni e della disponibilità (quindi del prezzo), e, di conseguenza, sono difficilmente quantificabili rispetto alla percentuale di utilizzo.

Nello studio eseguito da Diaz Olvera et al. (1993) viene mostrato come l'accesso al servizio idrico da parte della popolazione sia dipendente dalla qualità dell'area urbana abitata (*Planned or Unplanned Areas*), e, soprattutto, dal potere economico del privato, che riesce a sopperire alle mancanze del sistema, indipendentemente dalla qualità del tessuto urbano. Tale tipologia viene rappresentata nello studio col nome di “aree benestanti” (*Affluent Areas*). Inoltre le distanze ed i tempi per l'approvvigionamento idrico da parte degli abitanti non connessi al sistema, sono di gran lunga maggiori nelle aree non pianificate rispetto alle altre, dove la raccolta d'acqua dalle diverse fonti è una pratica che impegna almeno un'ora al giorno, come si evince in Tabella 3.20. Le distribuzioni percentuali dei tempi medi per raggiungere la fonte e rifornirsi sono rappresentate in Figura 3.33.

| Access parameter                                       | Unplanned areas | Planned areas | Affluent areas | All |
|--------------------------------------------------------|-----------------|---------------|----------------|-----|
| Homes with running water (%)                           | 12%             | 36%           | 76%            | 34% |
| Purchase from itinerant vendors (%)                    | 18%             | 12%           | 3%             | 13% |
| Mean distance to water for homes without (meters)      | 280             | 120           | 20             | 190 |
| Mean time to collect water for homes without (minutes) | 59              | 34            | 20             | 55  |

Source: Diaz Olvera et al. (2003:292, based on Human Resources Development Survey 1993).

Tabella 3.20 Accesso al servizio idrico in differenti aree urbane (Kjellen, 2006)

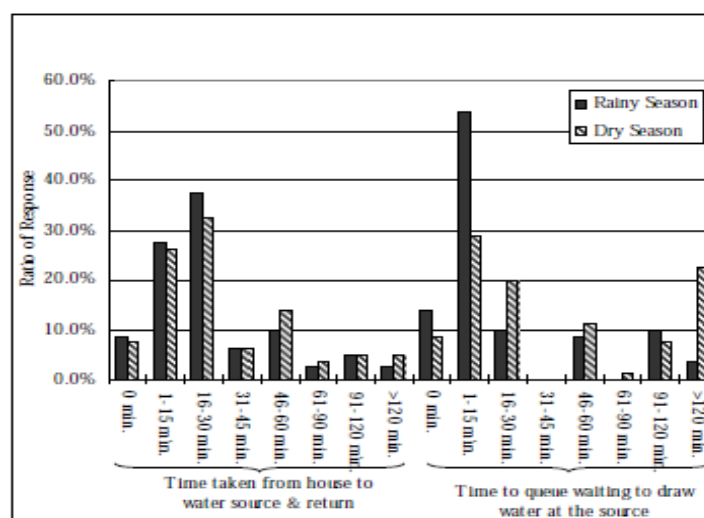


Figura 3.33 Distribuzioni percentuali dei tempi medi impiegati per raggiungere la fonte e per rifornirsi dalla fonte (JICA, 2005)

Questo passo, tratto da uno studio di Mujwahuzi (1993) dell'*Institute of Resource Assessment* (IRA) dell'Università di Dar es Salaam sull'accesso alla risorsa idrica in 2 aree pianificate ed in 2 aree non pianificate della città, è molto esplicativo delle differenziazioni socio-economiche nelle pratiche di approvvigionamento idrico da parte della popolazione.

*“The main source of water for the residents of the study areas is piped water. However, not all housing are connected to piped water. It is disappointing to note that even in the planned areas there is no piped water connection to each house. People in these areas get their water supplies either from communal standpipes or from neighbours who happen to have installed standpipes in their courtyards. No communal standpipes were found in squatter areas although individual landlords in these areas have installed water points where neighbours without piped water obtain their water either on a payment basis or free depending on individual arrangements. There are also water vendors who go around selling water in 20 liters containers. Rain water collection is practiced but due to inadequate storage facilities not much is stored in this way. More prominent is use of rainwater which collects in pools. During the study some people were observed washing clothes or even household utensils using such water in some squatter areas”* (Mujwahuzi, 1993).

Le principali fonti alternative di approvvigionamento idrico sono:

- L'accesso indiretto al sistema idrico, attraverso l'acquisto di acqua da privati connessi alla rete.
- La raccolta ed immagazzinamento di acqua piovana.
- L'utilizzo delle acque superficiali, derivate da corsi d'acqua o piccoli bacini idrici.
- L'utilizzo delle acque sotterranee, attraverso la costruzione di pozzi che attingono sia dalla falda superficiale, che dalla falda profonda.
- L'acquisto di acqua da privati possessori di pozzi.
- L'acquisto da venditori d'acqua, che si riforniscono, comunque, dalle varie fonti di approvvigionamento elencate. I venditori utilizzano il carretto a mano o l'autocisterna per trasportare l'acqua, a seconda delle aree urbane in cui operano e dei volumi d'acqua da distribuire.

La Tabella 3.21 mostra la percentuale di abitanti che si affidano alle diverse fonti di approvvigionamento idrico.

| Source of water supply               | Share of respondents |
|--------------------------------------|----------------------|
| Rain-water collection                | 55%                  |
| Obtained from neighbors              | 52%                  |
| Water vendors                        | 52%                  |
| Private tap connection               | 33%                  |
| Shallow wells                        | 30%                  |
| Surface water sources                | 17%                  |
| Public taps                          | 8%                   |
| Source: Mwandosya & Meena (1998:43). |                      |

Tabella 3.21 Utilizzo delle differenti fonti di approvvigionamento idrico (Kjellen, 2006)

In generale, la raccolta dell'acqua piovana nelle stagioni piovose è una pratica molto diffusa (55%), così come l'acquisto di acqua dai venditori e dai vicini serviti dalla rete (52%). Data la stagionalità dell'approvvigionamento idrico dalle fonti non protette, l'acquisto di acqua dai rivenditori privati aumenta notevolmente nella stagione secca.

Le acque superficiali (17%) di corsi d'acqua secondari o pozze in aree depresse sono captate attraverso la costruzione di piccoli sbarramenti.

L'utilizzo delle acque sotterranee (30%) è in continuo aumento negli ultimi 15 anni. Attualmente a Dar es Salaam vi sono più di 1500 pozzi regolari (non considerando le perforazioni informali), quasi tutti di proprietà privata, costruiti per usi domestici, commerciali ed industriali (Mjemah, 2007), anche se un gran numero di pozzi, che attingevano dalla falda superficiale, negli ultimi anni, sono stati abbandonati a causa del prosciugamento della stessa o per l'eccessiva salinità dell'acqua, soprattutto nelle aree costiere.

Il sempre maggior sfruttamento della falda acquifera pone problematiche rispetto alla qualità ed alla quantità di risorsa idrica disponibile in futuro. In particolare, le acque superficiali e le acque sotterranee, soprattutto la falda acquifera superficiale, sono da considerarsi come fonti non protette per la popolazione, in quanto il crescente inquinamento del suolo e dei corpi idrici mina la qualità della risorsa (Mato, 2002).

L'utilizzo delle fontane pubbliche (senza e con pagamento) (8%), che, fino agli anni '70, rappresentava la principale fonte di approvvigionamento idrico per gli abitanti con basso reddito, negli ultimi anni, è diminuito notevolmente a causa del malfunzionamento e dell'irregolarità del servizio, favorendo altre tipologie di accesso alla risorsa idrica (Kjellen, 2006).

Le ragioni che spingono gli abitanti a orientarsi verso una tipologia di fonte, piuttosto che un'altra, sono molteplici e variabili. Sicuramente, per gli utenti connessi alla rete, la disponibilità continua d'acqua e la regolarità del servizio idrico sono parametri decisivi per evitare la ricerca di fonti complementari.

Mentre, per gli utenti non connessi alla rete, la vicinanza dell'eventuale fonte (qualunque sia), la quantità e la qualità della risorsa disponibile, nonché il costo, sono parametri determinanti per la scelta della tipologia di approvvigionamento.

L'utilizzo di acque non protette è motivato principalmente dalla mancanza di alternative, soprattutto per motivi di tipo economico (JICA, 2005).

L'attività giornaliera di raccolta dell'acqua per uso domestico è un lavoro principalmente destinato alle donne, supportate dall'aiuto dei figli e delle figlie, mentre le operazioni di vendita dell'acqua sono affidate generalmente agli uomini (Kjellen, 2006).

Il consumo d'acqua medio pro capite per la popolazione della Regione di Dar es Salaam è pari a 23 l/day nelle stagioni piovose e 18 l/day nelle stagioni secche (JICA, 2005). Naturalmente il consumo è differenziato in funzione della tipologia di fonte di approvvigionamento e può superare di gran lunga i 120 l/day per persona, nelle aree connesse alla rete (Mato, 2002).

Circa l'65% del consumo idrico è tipo domestico, includendo in tale definizione i consumi destinati all'irrigazione ed all'allevamento, il 15% è destinato all'attività industriale, il 10% alle attività commerciali, mentre il restante 10% è di tipo istituzionale (Mato, 2002).

In particolare, per le attività edili, l'agricoltura urbana ed il pascolo, le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque superficiali o sotterranee non protette (JICA, 2005).



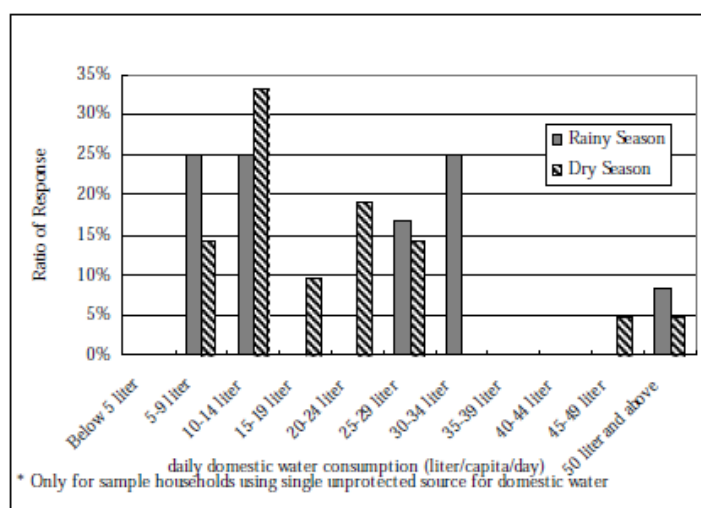


Figura 3.34 Distribuzione percentuale del consumo giornaliero di acqua pro capite degli abitanti della Regione di Dar es Salaam, nella stagione secca e nella stagione piovosa (JICA, 2005)

Considerando il fatto che la domanda idrica potrebbe crescere notevolmente nei prossimi anni, a causa del costante aumento di popolazione, ed assumendo che la capacità del sistema idrico difficilmente verrà ampliata, le acque sotterranee saranno l'unica fonte in grado di coprire il deficit di fornitura idrica (Mato, 2002).

| Component                                               | Year    |         |
|---------------------------------------------------------|---------|---------|
|                                                         | 2000    | 2015    |
| Domestic demand (m <sup>3</sup> /day)                   | 216,000 | 330,000 |
| Commercial demand (m <sup>3</sup> /day)                 | 360,00  | 55,000  |
| Industrial demand (m <sup>3</sup> /day)                 | 72,000  | 110,000 |
| Institutional demand (m <sup>3</sup> /day)              | 36,000  | 55,000  |
| Total demand (m <sup>3</sup> /day)                      | 360,000 | 550,000 |
| Total supply from surface sources (m <sup>3</sup> /day) | 270,000 | 270,000 |
| Leakage, 35% of supply (m <sup>3</sup> /day)            | 94,500  | 94,500  |
| Actual supply to consumers (m <sup>3</sup> /day)        | 175,000 | 175,000 |
| Deficit of demand and supply (m <sup>3</sup> /day)      | 184,500 | 375,000 |
| Level of service (%)                                    | 47.75   | 31.82   |
| Deficit of supply (%)                                   | 52.25   | 68.18   |

(Source of raw data: JICA, 1991, 1994; Howard Humphreys 1995)

Tabella 3.22 Attuale consumo d'acqua e stima della domanda idrica nel 2015 (Mato, 2002)

In generale, in questo paragrafo è stato mostrato come la complessità nell'accesso alla risorsa idrica alimenti, tra gli abitanti, pratiche di redistribuzione e compravendita dell'acqua, in cui la qualità della risorsa, dipendente dalla fonte di provenienza, ne determina il costo. Cercare di capire i meccanismi di tali pratiche diventa essenziale per comprendere il grado di vulnerabilità delle comunità rispetto all'accesso alla risorsa idrica.

### 3.5.3. Pratiche di compravendita e redistribuzione dell'acqua

L'attività di compravendita dell'acqua è una pratica molto diffusa tra gli abitanti di Dar es Salaam. Per coloro che non sono connessi alla rete, l'accesso alla risorsa idrica è indiretto e completamente commercializzato. L'acqua è venduta come qualsiasi altra merce. Di fatto il

sistema di distribuzione dell'acqua a Dar es Salaam è stato privatizzato molto tempo prima del formale processo di privatizzazione in atto (dal DAWASA al DAWASCO).

All'interno del meccanismo di compravendita è possibile distinguere tre tipologie di venditori:

- I venditori all'ingrosso, che ottengono l'acqua da una determinata fonte e la rivendono ai venditori al dettaglio.
- I venditori al dettaglio, che ottengono l'acqua da una determinata fonte o la comprano dai venditori all'ingrosso, e la rivendono porta a porta ai consumatori.
- I venditori diretti, che vendono l'acqua al consumatore direttamente alla fonte. In questo caso è il consumatore che acquista alla fonte senza nessun intermediario. Spesso coincidono con i venditori all'ingrosso.

La pratica di vendita dell'acqua può essere autorizzata, come nel caso dei punti di distribuzione dell'acqua pubblici (chioschi o fontane), o nel caso di alcuni venditori al dettaglio muniti di licenza, ma la maggioranza dei venditori d'acqua non sono autorizzati e perciò possono essere chiamati rivenditori informali.

La vendita diretta avviene sempre in punti fissi e stazionari. Di seguito sono elencate le differenti forme di vendita e distribuzione diretta:

- Privati connessi alla rete idrica, che rivendono l'acqua al vicinato.
- Privati forniti di una propria fonte di approvvigionamento idrico (pozzi superficiali e profondi), che rivendono al vicinato.
- Pozzi comunitari che servono una piccola area urbana, solitamente costruiti da esterni (donatori privati o ONG).
- Chioschi o fontane pubbliche, gestite dal DAWASA, che distribuiscono l'acqua del sistema idrico, o di singoli pozzi, non connessi alla rete.

Per i privati connessi alla rete, che vendono l'acqua su grande scala, sono necessari notevoli investimenti in serbatoi di immagazzinamento e sistemi per aumentare la pressione dell'acqua (*booster pump*), in modo da poter fornire un servizio regolare, eludendo i problemi di non regolarità e bassa pressione del sistema idrico. Non di rado i rivenditori sono dotati anche di pozzi per assicurare una fornitura continua.

I chioschi e le fontane pubbliche possono essere a pagamento, oppure gratuite, ma spesso sono mal funzionanti o rotte. Molti pozzi, costruiti dal DAWASA durante il Programma di Emergenza Idrica del 1997, sono stati trasformati in chioschi pubblici a pagamento, non connessi alla rete (WaterAid, 2001).

In generale il prezzo dell'acqua comprata da un rivenditore privato è superiore al prezzo dell'acqua distribuita dai chioschi pubblici. Il vantaggio del rifornirsi dal privato sta sicuramente nel minor tempo impiegato per accedere alla risorsa. Infatti nei chioschi le code sono spesso interminabili.

Il prezzo dell'acqua fornita varia anche in funzione della qualità, infatti l'acqua proveniente dai pozzi, che può essere contaminata o salata, solitamente ha un prezzo inferiore all'acqua della rete idrica.

Ad ogni modo, per un rivenditore privato, il commercio dell'acqua è un'attività molto redditizia (Kjellen, 2006).



Foto 3.29 Vendita d'acqua da parte di privati connessi al sistema idrico nell'area di Kunduchi



Foto 3.30 Vendita d'acqua da parte di privati dotati di pozzo nell'area di Kiwalani (Kjellen, 2006)



Foto 3.31 Vendita d'acqua da parte di privati connessi al sistema idrico nell'area di Yombo Dovyva (Kjellen, 2006)



Foto 3.32 Lunga coda ad una fontana pubblica nell'area di Tandika (Kjellen, 2006)



Foto 3.33 Chiosco pubblico a pagamento nel distretto di Temeke (Kjellen, 2006)



Foto 3.34 Fontane comunali nell'area di Tandika (Kjellen, 2006)

La vendita all'ingrosso è esercitata dagli stessi rivenditori privati o dalle autorità pubbliche nei punti di distribuzione del DAWASA (chioschi e stazioni di riempimento).

La vendita al dettaglio è praticata principalmente da due tipologie di venditori:

- I venditori ambulanti che trasportano l'acqua col carretto.
- I venditori che utilizzano autocisterne per trasportare grandi quantità d'acqua.

I venditori ambulanti con il carretto (*pushcart vendors*) lavorano perlopiù nelle aree urbane densamente popolate (in genere nelle aree a sud ed ovest della città), dove le infrastrutture del servizio idrico sono scarse o assenti. I carretti, che possono trasportare fino a 7 taniche da 20 l di acqua, sono generalmente fissati a 2 ruote di bicicletta, in modo da poter essere trasportati più facilmente. Essendo il trasporto dell'acqua un lavoro comunque molto duro, specialmente dove le strade non sono asfaltate, i venditori sono solitamente giovani ragazzi.

La fonte di approvvigionamento idrico più utilizzata dai venditori col carretto, in quanto la più gradita dai consumatori, è l'acqua rivenduta da privati, connessi alla rete o forniti di pozzi propri. I rimanenti si affidano all'acqua distribuita nei chioschi pubblici. La scelta della fonte di approvvigionamento dipende dalla distanza da percorrere, dalla qualità dell'acqua e dall'affidabilità della fornitura.

Il prezzo di vendita di una tanica da 20 l è variabile in funzione della stagione (nelle stagioni secche il prezzo aumenta), della distanza dalla fonte, delle condizioni stradali e topografiche, e della presenza o meno in zona della rete idrica. Da notare il fatto che il guadagno del venditore ambulante col carretto è comunque molto ridotto in relazione alla durezza del lavoro (Kjellen, 2006).

La distribuzione dell'acqua con le autocisterne è più formalizzata rispetto alla vendita ambulante, ed è diffusa soprattutto nelle aree urbane a bassa densità, specialmente nell'altopiano a nord-ovest del centro città.

I clienti a cui è destinata questo tipo di distribuzione sono persone con un reddito medio-alto, che possano permettersi un sistema di immagazzinamento privato che riesca a contenere il volume d'acqua trasportato dall'autocisterna. In particolare, la capacità di una autocisterna varia tra 9000 l e 10000 l di acqua. I venditori si riforniscono principalmente dalla stazione di riempimento del DAWASA a Kijitonyama, dove sono presenti idranti collegati alla rete idrica. Il numero di autocisterne operanti in città varia tra 100 e 150.

Il prezzo di vendita dell'acqua è piuttosto elevato (il più alto fra tutte le tipologie di vendita) e dipende in generale da diversi fattori, come il costo dell'acqua alla fonte, il costo del carburante, la localizzazione del luogo di scarico ed il costo degli assistenti, considerando anche il fatto che è necessario un investimento iniziale per l'affitto dell'autocisterna, a meno che il proprietario della stessa non coincida col rivenditore. In particolare il costo dell'acqua comprata dal DAWASA copre il 90% dei costi totali (Kjellen, 2006).

Essendo il mercato molto competitivo ed i costi piuttosto elevati, il guadagno finale per un venditore d'acqua che utilizza l'autocisterna non risulta molto elevato.

I molteplici meccanismi di compravendita dell'acqua differiscono fra loro per il prezzo dell'acqua e per la struttura di pagamento.

In Tabella 3.23 sono mostrati i prezzi delle differenti tipologie di approvvigionamento (Kjellen, 2006). Inoltre sono inseriti i costi dell'acqua venduta in bottiglie e pacchetti di plastica, in modo da allargare il confronto.



Foto 3.35 Venditori d'acqua ambulanti col carretto nel distretto di Temeke (Kjellen, 2006)



Foto 3.36 Autocisterna nell'area di Kinondoni (Kjellen, 2006)

| Approximate Volumetric Prices for Water from Different Supply Modes in Dar es Salaam, 1998/1999 |                                                 |                                                                        |                                            |                 |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Source / Mode                                                                                   | Characteristics / requirements                  | Form of Payment                                                        | Nominal Price                              | T.Sh. per liter | US\$ per m <sup>3</sup> |
| Piped water – own connection                                                                    | Requires connection to house                    | Monthly lump-sum, flat rate                                            | T.Sh.1,225/= per thousand gallons (1999)   | 0.27            | 0.34                    |
| Neighbor's tap                                                                                  | Buyer carries from collection point             | Cash by container                                                      | T.Sh.20/= per 20 l bucket / jerrycan       | 1.00            | 1.25                    |
| Pushcart water vendor                                                                           | Delivered to house (poured into storage vessel) | Cash by container. Price varies with distance from source.             | T.Sh.70-200/= per 20 l bucket / jerrycan   | 3.50 – 10.00    | 4.38 – 12.50            |
| Tanker truck                                                                                    | Requires large storage reservoirs               | Invoiced or cash by tank-load. Price varies with distance from source. | T.Sh. 40-80,000/=                          | 4.00 – 8.00     | 5 – 10                  |
| Bottled water                                                                                   | Purchased from kiosk or supermarket             | Prices vary with bottle size and vending place.                        | For example, T.Sh.500/= per 5 liter bottle | 100             | 125                     |
| Packaged water                                                                                  | Purchased on street                             | Cash. Prices vary depending on producer.                               | T.Sh.50/= per 300 ml sachet                | 167             | 208                     |

Data sources: Water Vendor Survey 1998/1999 (Kjellén, 2000a; Kjellén, 2000b), DAWASA tariff (Dar es Salaam Water and Sewerage Authority, 1999).

Note: US dollar conversions made at 800 Tanzanian shillings per US dollar.

Tabella 3.23 Prezzo dell'acqua in funzione della metodologia di approvvigionamento idrico (N.B. attualmente 1 USD corrisponde a circa 1500 Tsh) (Kjellen, 2006)

Anche se i dati sono un po' datati (1998/1999), sono molto indicativi delle differenze di prezzo fra le varie tipologie di approvvigionamento. Attualmente i prezzi risultano generalmente aumentati.



A titolo di esempio, in una intervista eseguita nel Febbraio 2010, nell'area di SalaSala (Kunduchi), una famiglia connessa alla rete idrica e dotata di un pozzo, rivendeva l'acqua della rete a 100 Tsh a tanica da 20 l, mentre l'acqua del pozzo a solo 50 Tsh a tanica da 20 l, a causa del fatto che tale acqua risultava parzialmente salata ed era considerata di qualità inferiore dai consumatori.

Da notare è il fatto che il prezzo per litro dell'acqua rivenduta nei vari modi risulta di gran lunga maggiore rispetto al prezzo per litro della tariffa per connettersi al sistema idrico. Questa differenza di prezzo può essere considerata, in un certo senso, come un'ingiustizia sociale.

L'ingiustizia sta proprio nel fatto i bassi prezzi della tariffa sono appannaggio solamente degli abitanti con un alto reddito, che sono gli unici che possono permettersi di affrontare i notevoli costi strutturali necessari a connettersi alla rete, che eventualmente possono comunque ammortizzare rivendendo l'acqua al vicinato.

#### 3.5.4. *Risorsa idrica sotterranea*

A Dar es Salaam l'acqua sotterranea è stata la principale fonte di approvvigionamento idrico sino al 1949, anno in cui venne costruito il primo impianto di presa e distribuzione delle acque superficiali del Fiume Kizinga (*Mtoni*). Successivamente, lo sviluppo del sistema idrico, con la costruzione degli impianti *Upper Ruvu* e *Lower Ruvu* (captazione, disinfezione, distribuzione) sul Fiume Ruvu, provocò un radicale spostamento verso le acque superficiali come principale fonte di approvvigionamento.

Nel 1997, a seguito di un periodo di grande siccità, il DAWASA promosse un Programma di Emergenza che consisteva nella costruzione di numerosi pozzi da collegare al sistema idrico. Di fatto, tale evento segnò il “rilancio” dell'utilizzo dell'acqua sotterranea per l'approvvigionamento. Negli anni successivi la costruzione di pozzi, soprattutto privati, aumentò costantemente (circa 170 pozzi all'anno), a causa dell'incapacità del sistema idrico di servire la sempre maggiore popolazione di Dar es Salaam (Mato, 2002). Attualmente la risorsa idrica sotterranea sta diventando sempre più importante per le differenti attività umane.

L'incremento della domanda e, quindi, della dipendenza dall'acqua sotterranea, da parte della popolazione di Dar es Salaam, determina la grande necessità di proteggere e gestire adeguatamente tale risorsa, proprio perché un eccessivo deterioramento della sua qualità, a causa del crescente inquinamento di tipo antropico, potrebbe comportare notevoli rischi per gli abitanti, soprattutto di tipo sanitario.

Ad oggi, nell'area urbana di Dar es Salaam, vi sono solo 35 pozzi connessi alla rete di distribuzione idrica della città e circa 1500 pozzi privati regolari, che attingono sia dalla falda superficiale, che dalla profonda, nonché un numero non precisato di numerose perforazioni illegali (per gli abitanti che non si possono permettere la costruzione di un pozzo regolare), che attingono soprattutto dalla falda superficiale (Mjemah, 2007). Il 35% dei pozzi privati risultano abbandonati, a causa di prosciugamento, non funzionamento delle pompe, o dell'alta salinità dell'acqua emunta, soprattutto nelle aree costiere.

La maggioranza dei pozzi è destinata ad usi domestici e per l'irrigazione, anche se la maggior parte delle industrie (alimentari, chimiche e minerarie) utilizzano soprattutto l'acqua sotterranea per i propri cicli produttivi (Mato, 2002). Inoltre, come è stato descritto nel capitolo precedente,



la vendita dell'acqua al vicinato da parte di privati, muniti di propri pozzi, è una pratica molto diffusa, soprattutto nelle aree peri-urbane, non raggiunte dalla rete idrica.

La più importante compagnia di perforazione e costruzione di pozzi è il DDCA (*Drilling & Dam Construction Agency*), che nel 2000 fu trasformata da un dipartimento del *Ministry of Water and Irrigation*, in ente pubblico economicamente indipendente. Di conseguenza la costruzione di pozzi divenne un'attività commerciale.

I cittadini interessati alla costruzione di un pozzo nella loro proprietà si rivolgono al DDCA, che inizialmente esegue una indagine geofisica per determinare la presenza e la profondità della superficie d'acqua, e decide la convenienza o meno di perforare il terreno. Il DDCA ha a disposizione differenti macchinari per la perforazione in funzione del tipo di terreno.

Il foro di perforazione solitamente ha un diametro variabile da 17 cm a 30 cm, e nel fondo solitamente viene depositato del materiale di riempimento, o viene collocato un tappo di legno.

All'interno del foro viene inserito il pozzo, costituito da un tubo in UPVC (*Unplasticised PVC*), di diametro variabile da 12 cm a 22 cm, con filtri a differenti profondità in funzione della stratigrafia del terreno. Il pozzo viene schermato con ghiaia, in modo da riempire completamente il foro di perforazione. Ed infine il foro viene chiuso con uno strato sanitario ed il tubo con un tappo, solitamente di legno, per evitare infiltrazioni nel pozzo.



Foto 3.37 Perforazione del terreno nell'area di Kimbiji (Apolkarpi, 2007)



Foto 3.38 Pozzo abbandonato nell'area di Kunduchi (Prof. Akaro)



Foto 3.39 Pozzo nell'area di Kunduchi (Police Station)



Foto 3.40 Pozzo nell'area di Kunduchi (Prof. Akaro)

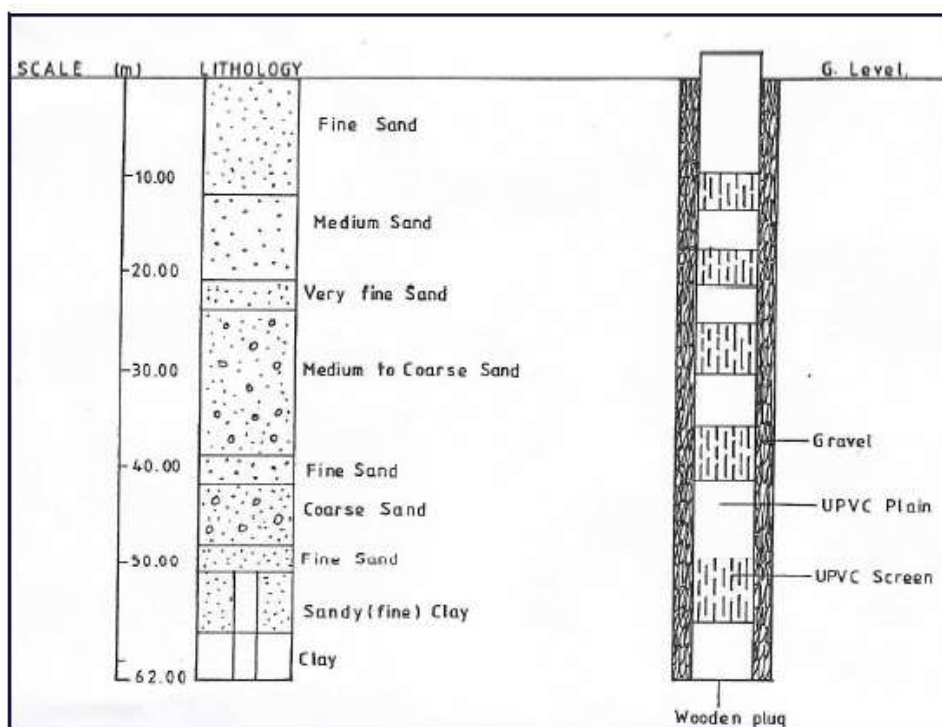


Figura 3.35 Stratigrafia del terreno e tipologia costruttiva di un pozzo (DDCA Report) (Mjemah, 2007)

Anche se la tipologia costruttiva dei pozzi è molto semplice, non sempre sono realizzati in modo impeccabile (soprattutto le perforazioni illegali). Spesso alcuni componenti si rompono o tendono a deteriorarsi per la mancanza di manutenzione (ad esempio le pompe sono sorrette internamente con semplici corde), con la conseguenza che il pozzo non funzionante viene spesso abbandonato senza nessun tipo di protezione, con il rischio di infiltrazioni di contaminanti sia nella falda acquifera superficiale, che nella falda semi-confinata, nel caso in cui il pozzo sia tanto profondo da metterle in collegamento.

L'investimento per la costruzione di un pozzo regolare è piuttosto elevato ed, in generale, è appannaggio solo degli abitanti con un reddito medio-alto.

Il costo dell'indagine geofisica è pari a 300000 Tsh (circa 200 USD), mentre il costo della perforazione varia da 70000 Tsh (circa 45 USD) a 200000 Tsh (circa 130 USD) per metro, in funzione della tipologia di terreno e del diametro del foro. A ciò si deve aggiungere il costo per i materiali di costruzione e per la pompa, che può essere a mano o sommersa, in relazione alla profondità del pozzo.

Durante la perforazione vengono raccolti dal DDCA dati relativi alla stratigrafia del terreno, alle caratteristiche idrauliche della falda acquifera (SWL, DWL, DD), nonché campioni di acqua, che vengono successivamente analizzati in laboratorio (analisi chimico-fisiche), per determinare se l'acqua sia utilizzabile o meno per usi domestici.

I dati raccolti vengono inseriti in un report cartaceo, che rimane nell'archivio del DDCA. E' interessante notare il fatto che anche se nel report del pozzo vi è scritto il nome del proprietario, il distretto e l'area urbana in cui si trova, la localizzazione spaziale precisa del pozzo rimane comunque estremamente difficile (non essendoci a Dar es Salaam indirizzi stradali), e, in un

certo senso, solo un operatore che ha partecipato alla costruzione del pozzo sa effettivamente dove si trovi.

A tal proposito, la dispersione dei pochi dati disponibili (mancanza di un sistema informatico, attualmente in costruzione), l'assenza di attività di monitoraggio della quantità e qualità della risorsa idrica (responsabilità del *Ministry of Water and Irrigation*, che non ha i fondi per tale operazione), nonché l'estrema difficoltà nel localizzare i pozzi esistenti, rendono lo studio e la gestione della risorsa sotterranea estremamente difficoltosi (Mato, 2002).

La portata d'acqua emunta dai singoli pozzi varia profondamente, a seconda della tipologia costruttiva (profondità, diametro, tipo di pompa), della localizzazione del pozzo (caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero), e della destinazione d'uso.

In Figura 3.36 viene mostrata la classificazione dei pozzi della Regione di Dar es Salaam in funzione della portata d'acqua emunta. Il 15% dei pozzi produce meno di 10 l/min (pompe a mano), il 51% tra 10 l/min e 100 l/min (pompe sommerse), mentre il 34% più di 100 l/min (pompe sommerse).

| Yield<br>(l/min) | Number<br>of Well | Accumulating Total |      |
|------------------|-------------------|--------------------|------|
|                  |                   | No.                | %    |
| 0                | 39                | 39                 | 3%   |
| 0 - 10           | 170               | 209                | 16%  |
| 10 - 20          | 172               | 381                | 29%  |
| 20 - 30          | 125               | 506                | 38%  |
| 30 - 40          | 82                | 588                | 45%  |
| 40 - 50          | 53                | 641                | 49%  |
| 50 - 60          | 64                | 705                | 54%  |
| 60 - 70          | 43                | 748                | 57%  |
| 70 - 80          | 30                | 778                | 59%  |
| 80 - 90          | 41                | 819                | 62%  |
| 90 - 100         | 15                | 834                | 63%  |
| 100 - 120        | 86                | 920                | 70%  |
| 120 - 140        | 34                | 954                | 73%  |
| 140 - 160        | 29                | 983                | 75%  |
| 160 - 180        | 28                | 1011               | 77%  |
| 180 - 200        | 50                | 1061               | 81%  |
| 200 - 250        | 73                | 1134               | 86%  |
| 250 - 300        | 86                | 1220               | 93%  |
| 300 - 350        | 37                | 1257               | 96%  |
| 350 - 400        | 8                 | 1265               | 96%  |
| 400 - 500        | 31                | 1296               | 99%  |
| 500 - 600        | 7                 | 1303               | 99%  |
| 600 - 700        | 5                 | 1308               | 100% |
| 700 - 100        | 2                 | 1311               | 100% |
| 1000 - 2000      | 2                 | 1313               | 100% |

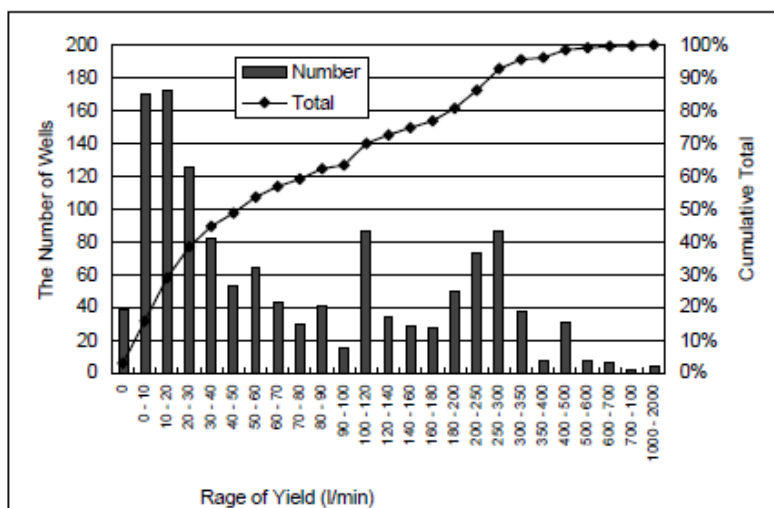


Tabella 3.24 e Figura 3.36 Classificazione per portata d'acqua emunta dei pozzi nella Regione di Dar es Salaam (JICA, 2005)

La maggioranza dei pozzi della Regione di Dar es Salaam (80%) ha una profondità compresa tra 20 m e 80 m. La correlazione tra la profondità e la portata dei pozzi è mostrata in Figura 3.37, dove la spezzata indica il numero dei pozzi per ogni 5 m di profondità (in ascissa), mentre in ordinata è rappresentata la portata media e la portata mediana. Il grafico indica chiaramente che la zona più sfruttata dell'acquifero varia tra 30 m e 65 m di profondità, e corrisponde ai depositi sabbiosi e calcarei del Quaternario (acquifero superficiale) (JICA, 2005). In particolare la maggioranza dei pozzi con alte portate d'acqua è localizzata nei bacini del Fiume Msimbazi e del Fiume Kizinga. Ciò suggerisce che l'infiltrazione dalle sponde sia la principale fonte di ricarica dell'acquifero in tali aree (Mato, 2002).

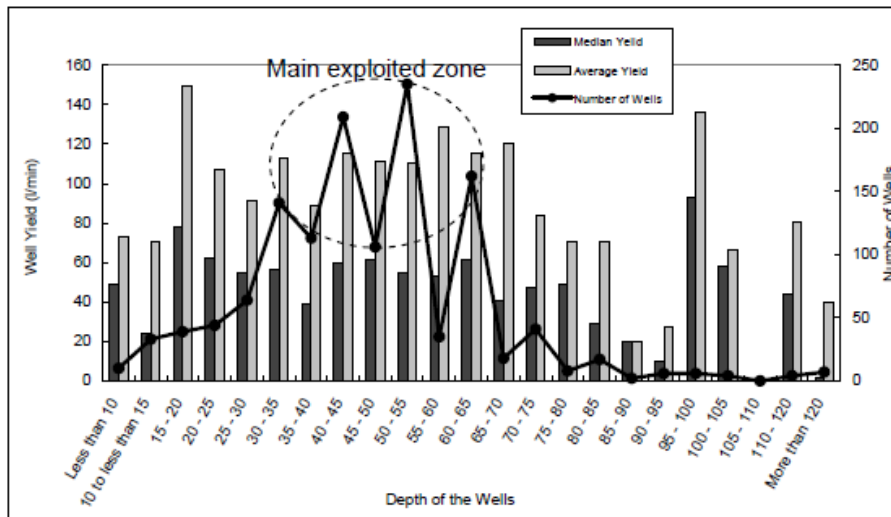


Figura 3.37 Relazione tra portata d'acqua emunta e profondità dei pozzi (JICA, 2005)

In generale, il rapido processo di urbanizzazione in atto a Dar es Salaam sta determinando notevoli pressioni sulla risorsa idrica sotterranea, sia rispetto alla quantità di risorsa disponibile, a causa della crescente richiesta idrica, che rispetto alla qualità, a causa del notevole rischio di contaminazione da inquinanti di origine antropica, soprattutto in un contesto carente di servizi di base (sistema fognario e di drenaggio, strutture per lo smaltimento di rifiuti).

Allo stesso tempo l'espansione orizzontale della città, con l'incremento di aree costruite, aumenta il ruscellamento e diminuisce l'infiltrazione d'acqua nel sottosuolo (maggiore impermeabilizzazione del suolo), determinando una diminuzione della ricarica dell'acquifero.

La Figura 3.38 mostra in generale gli impatti dei processi di urbanizzazione sul regime idrogeologico e sulla qualità dell'ambiente urbano.

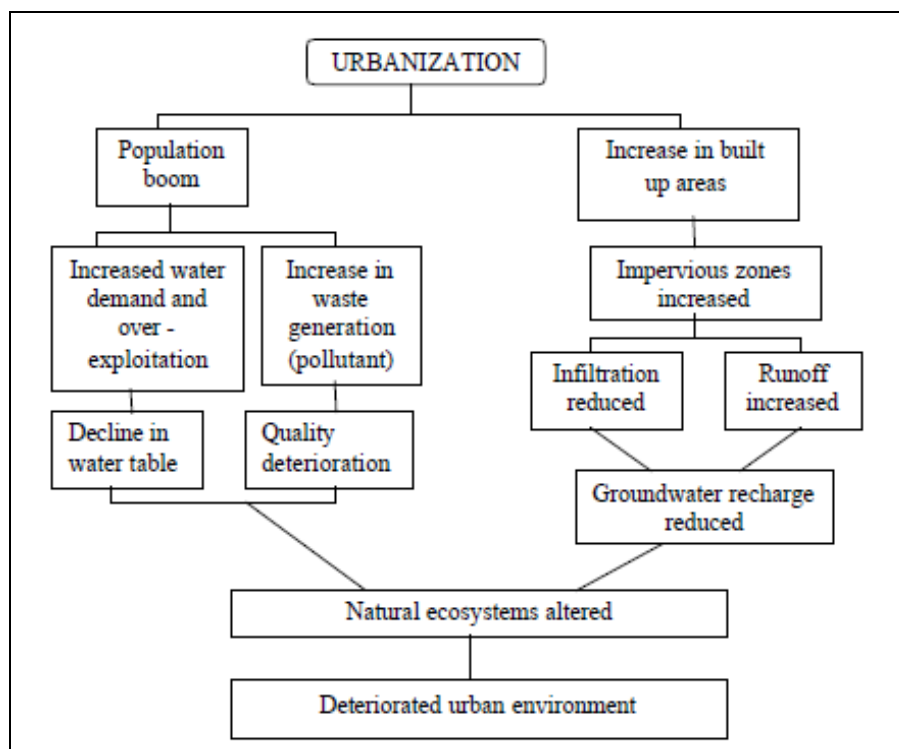


Figura 3.38 Impatti dell'urbanizzazione sul regime idrogeologico e sulla qualità dell'ambiente urbano (Mato, 2002)

In particolare, le principali cause, che impediscono un utilizzo sostenibile ed una gestione adeguata dell'acqua sotterranea, sono riconducibili a numerosi fattori, quali:

- Il deterioramento della qualità dell'acquifero, a causa del crescente inquinamento di origine antropica.
- Il sovrasfruttamento dell'acquifero, che può indurre ad una diminuzione del livello statico e, quindi, della portata dei pozzi.
- La scarsa capacità tecnica nella costruzione dei pozzi, che può indurre a problemi di infiltrazione di contaminanti anche nell'acquifero profondo, nonché il posizionamento degli stessi, spesso troppo vicini alle fonti di inquinamento.
- La poca consapevolezza da parte delle autorità pubbliche dell'importanza e delle potenziali fonti di inquinamento degli acquiferi.
- La mancanza di risorse finanziarie e tecniche, per sviluppare i servizi di base (sistema idrico, sistema fognario e sistema di smaltimento dei rifiuti).
- La mancanza di dati. I dati disponibili sono sparsi, frammentari e solitamente incompleti.
- La mancanza di un sistema di monitoraggio, troppo costoso per le disponibilità del *Ministry of Water and Irrigation*, l'ente responsabile di tale attività.
- La mancanza di un piano di gestione della risorsa idrica.

Attualmente, a Dar es Salaam, la risorsa idrica sotterranea risulta essere già ampiamente sfruttata, ma un incremento nel suo utilizzo potrebbe determinare, in futuro, un'ulteriore diminuzione del livello della falda, generando problemi di disponibilità idrica, aumento dell'intrusione salina nelle aree costiere, nonché danni all'ecosistema terrestre (mantenimento dell'umidità del suolo, del flusso dei corsi d'acqua e delle aree umide). Ad esempio, numerosi pozzi superficiali costruiti prima del 2005 risultano adesso completamente privi d'acqua.

### 3.5.5. Problematiche qualitative delle acque sotterranee

Le caratteristiche qualitative dei differenti acquiferi presenti nella Regione di Dar es Salaam sono state studiate da Mato (2002) e Mjemah (2007). Le analisi biochimiche dell'acqua sotterranea, eseguite su campioni prelevati da pozzi localizzati in punti differenziati della città, mostrano segni di deterioramento della qualità dell'acquifero, causato principalmente dalla crescente diffusione di contaminanti di diversa natura (organici ed inorganici) e provenienza.

In particolare, sono stati osservati valori molto elevati di cloruri ( $\text{Cl}^-$ ), nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) ed ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ), solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), carbonio organico totale (TOC), idrocarburi (petrolio), idrocarburi clorurati (pesticidi), nonché la presenza considerevole di batteri di origine fecale (coliformi) (Mato, 2002). L'infiltrazione delle sostanze inquinanti negli acquiferi è senza dubbio favorita dalla natura prevalentemente sabbiosa del suolo di Dar es Salaam.

La falda acquifera superficiale (non confinata) risulta molto compromessa, a causa della diretta esposizione agli agenti inquinanti. In particolare l'alta concentrazione di nitrati, solfati e batteri fecali suggerisce come le acque di scarico delle strutture sanitarie in situ (serbatoi settici e "pit latrine"), i liquidi di scolo dalle discariche, nonché le pratiche agricole, influiscano fortemente sulla qualità della risorsa. La percolazione dalla falda superficiale attraverso le fessure e gli strati permeabili (sabbie) dell'acquitardo, il deterioramento e la rottura, nonché la tipologia

costruttiva “non sicura” dei pozzi, che spesso mettono in comunicazione i due acquiferi, essendo il pozzo fornito di filtri su più livelli, possono favorire le infiltrazioni di inquinanti anche nella falda acquifera più profonda (semiconfinata), che, in alcuni punti, risulta già parzialmente contaminata, anche se in modo molto ridotto rispetto alla falda superficiale (Mjemah, 2007).

Considerando il fatto che la falda acquifera superficiale è comunque molto utilizzata per l’approvvigionamento idrico, soprattutto fra le fasce più povere della popolazione, proprio per il fatto che rappresenta un fonte facilmente accessibile (con pozzi informali) e molto economica, è facile intuire come sia elevato il rischio sanitario per molti abitanti.

Le fonti di inquinamento dell’acqua sotterranea sono completamente di origine antropica, e perlopiù di tipo puntuale. Le principali fonti puntuali di contaminazione dell’acquifero sono:

- I reflui domestici delle strutture sanitarie in situ (serbatoi settici e “pit latrine”).
- Il percolato proveniente dallo smaltimento dei rifiuti solidi.
- Gli scarichi industriali.

Fra le fonti diffuse di contaminazione sono da segnalare:

- L’utilizzo di fertilizzanti ed pesticidi nell’agricoltura urbana.
- La salinizzazione dell’acquifero.

La principale fonte di inquinamento dell’acquifero è rappresentata dalla tipologia di smaltimento dei rifiuti liquidi domestici. Il sistema fognario di Dar es Salaam serve circa il 12% della popolazione, mentre la maggioranza degli abitanti (88%) utilizza strutture sanitarie in situ, in particolare serbatoi settici (9%) e “pit latrine” (79%), usati principalmente nelle aree urbane informali.

Gli effluenti dei serbatoi settici e delle latrine generalmente vengono lasciati percolare nel suolo, e diventano una potenziale fonte di contaminazione della falda acquifera superficiale. La rimozione dei reflui dalle latrine viene effettuata ogni 2 o 3 anni, e si limita ai soli reflui di base rimasti, proprio perchè le acque di scolo si disperdono più facilmente nel suolo. Inoltre i serbatoi settici, installati per diminuire la concentrazione di inquinanti nei reflui del 40%-70%, nella maggior parte dei casi risultano poco funzionanti (Mjemah, 2007).

Considerando il fatto che l’80% della popolazione di Dar es Salaam vive in stanziamenti informali, la dispersione nel suolo degli effluenti dalle latrine e dai serbatoi può essere considerata una fonte diffusa di contaminazione da sostanze organiche e fecali.

L’ammontare del carico inquinante, proveniente dai differenti sistemi di smaltimento dei reflui, che si disperde nella falda acquifera, nel 1988 risultava pari a 47000 m<sup>3</sup>/day (Mato, 2002).

Considerando il tasso di aumento della popolazione, è chiaro come l’inquinamento proveniente dagli effluenti di scarico possa avere in futuro effetti devastanti sulla qualità della risorsa idrica sotterranea.

| Parameter        | Pit latrines | Septic tanks | Sewers-domestic | Industrial effluents | Without facility | Total   |
|------------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|------------------|---------|
| BOD <sub>5</sub> | 15,282       | 7,641        | 1,221           | 1,899                | 1,100            | 27,143  |
| COD              | 16,131       | 8,068        | 1,289           | 1,994                | 1,161            | 28,643  |
| Suspended solids | 6,116        | 3,832        | 2,035           | 3,148                | 1,833            | 16,964  |
| Dissolved solids | 97,857       | 61,128       | 3,618           | 5,596                | 3,258            | 171,457 |
| Total-N          | 4,829        | 3,018        | 179             | 276                  | 120              | 8,422   |
| Total-P          | 915          | 572          | 34              | 52                   | 23               | 1,596   |

Tabella 3.25 Stima del carico inquinante, proveniente da differenti sistemi di smaltimento dei reflui, che si disperde nella falda acquifera. Dar es Salaam, 1998 (Mato, 2002)



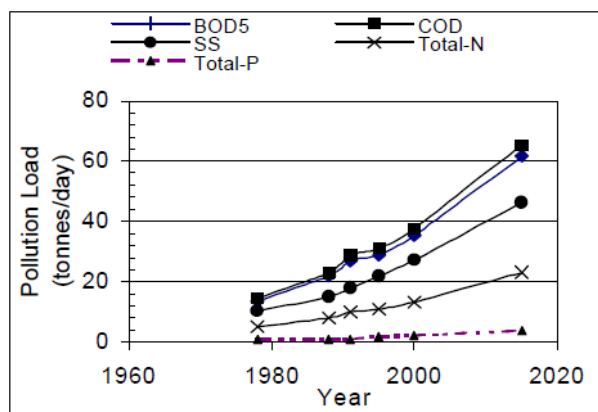


Figura 3.39 Stima dello incremento futuro del carico inquinante, proveniente da differenti sistemi di smaltimento dei reflui, che si disperde nella falda acquifera (Mato, 2002)

La tipologia di smaltimento dei rifiuti solidi rappresenta un'altra importante fonte di inquinamento della falda acquifera. I rifiuti solidi raccolti (circa il 15%) sono accumulati nelle discariche di Tabata e Vingunguti, dove la tecnica di smaltimento praticamente consiste nel solo ammassamento sulla superficie, senza l'utilizzo di sistemi di protezione sanitaria. Infatti, la falda idrica nei pressi della discarica di Vingunguti risulta molto contaminata (Mato, 2002).

| Location                      | Parameter (mg/l) |                               |                                 |                    |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                               | COD              | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>3</sub> -N |
| Boreholes                     | 0-41             | 45.5-96.0                     | 11.7-16.5                       | 0.3-0.9            |
| Dug wells                     | 0-358            | 23.7-84.5                     | >25                             | 0.7-1.5            |
| Msimbazi stream (upstream)    | 73-106           | 62.9-70.4                     | 11.5-12.9                       | 0.7-0.8            |
| Msimbazi stream (down stream) | 249-344          | 92.5-152.4                    | 14.7-19.2                       | 1.1-1.3            |
| Tanzania standard             | 6                | 600                           | 25                              | 0.5                |

Tabella 3.26 Qualità della acqua sotterranea e dell'acqua superficiale nei pressi della discarica di Vingunguti (Mato, 2002)

I rifiuti solidi non raccolti (circa l'85%) sono completamente o parzialmente bruciati in situ dalla popolazione (50%), con il conseguente inquinamento dell'aria, oppure sono gettati per strada o negli alvei dei corsi d'acqua (*dumping*) (35%), generando odori sgradevoli e creando possibili ostacoli al naturale deflusso idrico. Il percolato, prodotto dalla degradazione biochimica dei rifiuti solidi, contribuisce fortemente all'inquinamento delle acque superficiali e della falda acquifera. Ed essendo la maggioranza dei rifiuti di tipo alimentare, il carico inquinante risulta principalmente di tipo organico (Mato, 2002).

| Waste component | Percent by weight | Amount (tonnes/day) |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| Food/vegetables | 59.8              | 1196                |
| Papers          | 8.7               | 174                 |
| Metals          | 2.8               | 56                  |
| Plastics        | 1.9               | 38                  |
| Glass           | 0.4               | 8                   |
| Textiles        | 0.9               | 18                  |
| Others          | 25.5              | 510                 |
| Total           | 100               | 2000                |

Tabella 3.27 Quantità e tipologie di rifiuti solidi prodotti quotidianamente a Dar es Salaam (Mato, 2002)

Come già è stato evidenziato, il 45% delle industrie presenti in Tanzania si trovano a Dar es Salaam.

Le principali attività industriali presenti includono: industrie tessili, chimiche-farmaceutiche, alimentari, produzione di olio alimentare, produzione di bevande, birrerie, attività minerarie, produzione e lavorazione di cemento, gomma, vetro, vernici, plastica, lavorazione di metallo ed acciaierie, raffinazione di prodotti petroliferi (AA.VV., 2004).

Sebbene molte sostanze utilizzate nei differenti cicli produttivi siano altamente tossiche, molte di queste industrie non sono dotate di sistemi di trattamento dei residui della produzione (liquidi o solidi). Alcuni esempi di sostanze chimiche tossiche presenti negli effluenti e nei rifiuti solidi industriali sono mostrati in Tabella 3.28. Gli effluenti industriali non trattati sono scaricati nei corsi d'acqua (in particolare, il Fiume Msimbazi risulta molto inquinato), nell'oceano, nelle fosse, o direttamente sulla superficie.

Gli scarichi industriali sono una importante fonte di inquinamento puntuale della falda acquifera, e la contaminazione dell'acquifero da tali sostanze chimiche tossiche rappresenta una grave problematica per la popolazione.

| Type                           | Example                       | Industrial Use or Source           | Probable Destination |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Metals and Inorganics          | Cyanides                      | Electroplating baths               | Water                |
| Pesticides                     | Chlordane                     | Pesticides Manufacturing           | Sediments, Biota     |
| Polychlorinated biphenyl (PCB) | PCB aroclors                  | Transformer coolant                | Sediment, Biota      |
| Halogenated aliphatics         | Dichloromethane               | Solvent                            | Water                |
|                                | Tetrachloromethane            | Solvent and degreaser              | Water                |
|                                | Chloroethene (vinyl chloride) | Manufacture of plastics            | Water                |
| Ethers                         | 2-chloroethyl (vinyl ether)   | Pharmaceutical wastes              | Water, Sediment      |
| Monocyclic aromatics           | Ethylene benzene              | Solvent                            | Sediment             |
|                                | Toluene                       | Solvent                            | Sediment             |
| Phenols and cresols            | Phenol                        | Refinery waste                     | Water                |
|                                | Pentachlorophenol             | Wood preservation                  | Sediment, Biota      |
| Phthalate esters               | Dimethylphthalate             | Cellulose acetate Manufacture      | Sediment, Biota      |
| Polyacrylic aromatics          | Naphthalene                   | Manufacture of dyes and synthetics | Sediments, Biota     |
|                                | Phenanthrene                  | In coal tar                        | Sediment, Biota      |
| Nitrosamines                   | Acrylonitrile                 | Manufacture of plastics            | Water, Sediments     |

Tabella 3.28 Esempi di sostanze chimiche tossiche presenti negli effluenti e nei rifiuti solidi industriali (Mato, 2002)

L'agricoltura è la principale attività a Dar es Salaam. Circa il 38% del territorio regionale viene utilizzato per la produzione agricola, concentrata soprattutto nelle aree peri-urbane e lungo le valli alluvionali dei fiumi.

Anche se le produzioni agricole sono perlopiù su piccola scala, l'impiego di fertilizzanti e pesticidi è una pratica in aumento, e rappresenta una fonte di inquinamento diffusa del suolo, delle acque superficiali (per runoff) e della falda acquifera (per percolazione).

La presenza eccessiva di nitrati e fosfati (fertilizzanti) nelle acque superficiali può dar luogo a fenomeni di eutrofizzazione ed all'insorgenza di condizioni anossiche. Inoltre l'utilizzo per uso domestico di un'acqua, caratterizzata dall'eccessiva presenza di nitrati, può provocare problemi di salute (anemia), specialmente per i bambini più piccoli.

Un uso improprio di pesticidi nelle pratiche agricole è un grande rischio per la salute, in quanto molti pesticidi sono sostanze estremamente tossiche. Ad esempio, il DDT risulta essere molto

utilizzato a Dar es Salaam, anche se il suo impiego, in quanto sostanza molto tossica, è stato vietato in molti paesi del mondo (Mato, 2002).

La salinizzazione dell'acquifero può essere considerato sia un fenomeno naturale, che un fenomeno di origine antropica.

In particolare, la salinità dell'acqua nell'acquifero sabbioso (non confinato e confinato), formatosi nel Quaternario, può essere determinata da due fattori di origine naturale:

- La risalita di acqua relativamente salata attraverso le faglie del bordo est delle Pugu Hills, proveniente dagli strati più profondi, corrispondenti alle formazioni geologiche del Miocene, depositatesi in ambiente marino (Mjemah, 2007).
- Il fatto che alcune formazioni geologiche del Quaternario, come i depositi argillosi e calcarei, sedimentatisi in un ambiente fluvio-deltaico con presenza di intercalazioni marine lungo la linea di costa, possano favorire la salinità nell'acqua sotterranea (Mjemah, 2007).

Mentre il sovrasfruttamento della falda acquifera da parte degli abitanti di Dar es Salaam può determinare un aumento del fenomeno di intrusione di acqua salata dall'Oceano Indiano nell'acquifero costiero. Ed in questo senso la salinizzazione dell'acquifero viene considerata come una fonte di inquinamento diffusa di tipo antropico. Ad ogni modo l'eccessiva salinità dell'acqua sotterranea è un problema molto rilevante nella aree costiere di Dar es Salaam, come verrà esposto nel paragrafo seguente.

### **3.6 La salinizzazione dell'acquifero costiero di Dar es Salaam: stato dell'arte**

#### *3.6.1 Le cause e le conseguenze del fenomeno*

L'incremento, negli ultimi 15 anni, della salinità dell'acqua di falda in alcune aree costiere di Dar es Salaam è un fenomeno ampiamente osservato ed è testimoniato dal sempre maggior numero di pozzi abbandonati dagli abitanti a causa dell'eccessiva salinità dell'acqua emunta.

Ad oggi ricerche specifiche sulla salinizzazione dell'acquifero costiero di Dar es Salaam non sono state effettuate, anche se molti studi sulla qualità generale della risorsa idrica sotterranea (Mato, 2002; Mjemah, 2007; Bakari, 2010) mostrano come tale fenomeno sia in aumento.

Il processo di salinizzazione dell'acquifero sabbioso costiero (Quaternario), come è stato già osservato, può essere determinato sia da fattori di origine naturale, che da fattori di origine antropica (Mjemah, 2007).

La risalita, attraverso il sistema di faglie del bordo est delle Pugu Hills, di acqua relativamente salata, proveniente dagli strati più profondi (formazioni geologiche del Miocene, depositatesi in ambiente marino), e la presenza di depositi argillosi e calcarei, sedimentatisi in un ambiente fluvio-deltaico con presenza di intercalazioni marine lungo la linea di costa, possono favorire, in determinate aree, l'eccessiva salinità dell'acqua sotterranea. Naturalmente tali fattori di origine naturale non possono spiegare il diffuso aumento di salinità dell'acquifero costiero registrato negli ultimi 15 anni. Probabilmente l'aumento del fenomeno di intrusione nell'acquifero di acqua salata proveniente dall'oceano, può essere considerato il principale fattore di salinizzazione

dell'acqua sotterranea. Tale fenomeno è da imputare alla risalita del cuneo salino (*salt-wedge*), cioè all'avanzamento dell'interfaccia fra acqua dolce ed acqua marina.

Il cuneo salino rappresenta proprio l'interfaccia (zona di transizione) che si crea naturalmente fra la superficie di acqua dolce di un acquifero freatico costiero e l'acqua salata del mare adiacente, che, a causa della maggiore densità, tende a penetrare nella zona sottostante l'acquifero, più vicino allo strato confinato. In condizioni naturali, o di basso impatto antropico, il rapporto fra superficie d'acqua dolce e salata è in equilibrio, in quanto, essendo la superficie freatica della falda superiore al livello del mare, è garantito il carico idraulico necessario a non fare avanzare l'acqua salata. L'intrusione salina, invece, viene accelerata direttamente da fenomeni che provocano un abbassamento del livello della falda freatica, come un emungimento eccessivo di acqua dolce da pozzi, tale da superare il tasso di ricarica dell'acquifero (l'acqua salata penetrata nell'acquifero ristabilisce l'equilibrio idrogeologico del sistema). Allo stesso modo, un eccessivo emungimento da un singolo pozzo può determinare una risalita locale (*upconing*) di acqua salata. L'intrusione di acqua salata provoca un innalzamento dell'interfaccia acqua dolce/salata e quindi innesca il processo di "inquinamento da acqua salata" dell'acquifero freatico e di salinizzazione dell'entroterra costiero. In questo senso l'intrusione salina può essere considerato un fattore antropico di salinizzazione dell'acquifero costiero.

Il rapido processo di urbanizzazione in atto a Dar es Salaam negli ultimi 20 anni (la popolazione è passata da 1,8 a più di 3 milioni di abitanti) ha determinato una sempre maggiore richiesta di risorsa idrica. Di conseguenza l'acqua sotterranea è diventata sempre più importante per sostenere le differenti attività umane, soprattutto nelle aree urbane non servite dalla rete idrica (aree non pianificate, principalmente nella zona peri-urbana della città). Il continuo aumento di popolazione, unitamente all'incapacità delle autorità di adeguare il sistema idrico, rendono facilmente prevedibile il fatto che l'utilizzo dell'acqua sotterranea possa ulteriormente incrementare in futuro.

Negli ultimi anni il numero di pozzi è aumentato sensibilmente, passando da poche decine sino a più di 1500 pozzi privati registrati (che attingono sia dalla falda superficiale, che dalla semiconfinata), ed un numero non precisato di pozzi illegali (viene stimato almeno pari al numero di pozzi registrati).

In generale i pozzi illegali sono locati nelle aree più povere della città, ed attingono dalla falda superficiale, in quanto più facilmente ed economicamente accessibile da parte degli abitanti (il livello statico medio dell'acqua è pari a circa 10 m sotto il piano campagna).

La zona più sfruttata dell'acquifero varia tra 30 m e 65 m di profondità, e corrisponde ai depositi sabbiosi e calcarei del Quaternario. Ad ogni modo, nelle aree immediatamente limitrofe alla costa, è facile trovare acqua salata ad una profondità non superiore a 15 m.

Di certo un eccessivo sfruttamento dell'acqua sotterranea può indurre ad un aumento dell'intrusione salina nell'acquifero costiero.

Il *Ministry of Water and Irrigation* riconosce l'esistenza e la gravità del fenomeno, proprio per il fatto che la percentuale di popolazione che si serve dell'acqua sotterranea per l'approvvigionamento idrico risulta in continuo aumento. Ed, in generale, ne attribuisce la causa alla grande proliferazione di pozzi, soprattutto illegali. Inoltre la diminuzione del tasso di ricarica dell'acquifero, a causa dell'aumento del ruscellamento superficiale nelle aree urbane (aumento della superficie impermeabile), della variabilità in intensità degli eventi pluviometrici, e della

maggior erosione nelle aree di alimentazione dell'acquifero (Uluguru Mountain), accrescono il rischio di salinizzazione della falda idrica costiera.

Anche Mato (2002) e Mjemah (2007) evidenziano la vulnerabilità dell'acquifero costiero rispetto al fenomeno dell'intrusione salina, che viene indicato come un problema pressante per l'area costiera di Dar es Salaam.

Sebbene la scarsità di dati geochimici ed idrogeologici disponibili non permetta uno studio approfondito sul fenomeno e renda molto difficile determinare l'andamento e la distribuzione spaziale della zona di transizione fra acqua dolce ed acqua salata, e quindi comprendere i possibili impatti futuri, Mjemah (2007) mostra come l'intrusione salina sia un fenomeno in aumento, a causa del sempre maggiore sfruttamento della falda acquifera, e quindi una possibile minaccia per l'acquifero costiero di Dar es Salaam. In alcune aree costiere della città, come Kigamboni, Gerazani, Msasani e Oysterbay, l'acqua mostra un aumento di salinità rispetto agli anni passati, riconducibile alla risalita del cuneo salino (Mjemah, 2007).

In generale, l'intrusione di acqua salata nella falda è uno dei problemi più grandi nelle zone costiere, infatti oltre a limitare sempre più la disponibilità di acqua dolce, può portare ad un lento ma irreversibile stato di salinizzazione del territorio, causando problemi alla vegetazione ed a tutti gli habitat interessati (ecosistemi fluviali e deltizi di transizione), nonché alla biodiversità ed al paesaggio, con gravi conseguenze sulle attività agricole ed ittiche.

La crescente salinità della falda acquifera può influenzare la produttività dei terreni coltivati e contribuire, unitamente ai metodi di coltivazione ed irrigazione (utilizzo di fertilizzanti e l'accumulo di sali non lisciviati nel terreno) alla salinizzazione del suolo, che rappresenta uno dei processi chiave che conduce alla desertificazione del territorio. La tolleranza delle colture a livelli alti di salinità è estremamente variabile. Ad esempio i cereali sono più tolleranti rispetto alle specie ortofrutticole.

Dalle interviste effettuate ai proprietari dei pozzi analizzati nell'area di studio, si evince che la salinità dell'acqua risulta essere in aumento negli ultimi anni ed, in generale, è considerata una grande preoccupazione per quelle comunità che dipendono esclusivamente dall'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento. Alcuni intervistati ammettono di non poter più utilizzare l'acqua né per usi domestici, né per l'irrigazione, proprio per non compromettere il raccolto. Infatti, l'aumento del livello salino negli strati superficiali del terreno può colpire negativamente la crescita e la produttività della pianta fino a farla morire.

L'incremento della domanda e, quindi, della dipendenza dall'acqua sotterranea da parte della popolazione di Dar es Salaam, renderebbe necessario proteggere e gestire adeguatamente tale risorsa, proprio perché un eccessivo deterioramento della sua qualità potrebbe comportare notevoli rischi per gli abitanti.

Ciononostante, la mancanza di fondi rende estremamente complicata la promozione da parte del *Ministry of Water and Irrigation* di azioni di controllo sul numero e sulla tipologia dei pozzi e di un sistema di monitoraggio della qualità e quantità della risorsa idrica sotterranea.

Inoltre, allo stato attuale non è stato sviluppato nessun piano di gestione della risorsa idrica, che proponga interventi sulle cause del fenomeno, o che si limiti alla riduzione degli impatti. La pratica comune degli abitanti, nel caso di eccessiva salinità di un pozzo, risulta essere il semplice abbandono dello stesso e la perforazione in un altro punto.

Nel capitolo successivo si cercherà di localizzare le zone, all'interno dell'area di studio, che manifestano segni di salinizzazione dell'acquifero, e di determinare, per quanto possibile, l'evoluzione del fenomeno negli ultimi 15 anni, partendo dai dati disponibili (dati all'anno di costruzione del pozzo, dati ricavati da ricerche sul tema e dati raccolti sul campo), al fine di individuare le aree maggiormente sensibili all'intrusione salina.

In una situazione così complessa, in cui l'acquifero costiero di Dar es Salaam risulta già ampiamente compromesso, il fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera potrebbe essere amplificato, nel medio e lungo periodo, dalle conseguenze attese del cambiamento climatico in atto, come l'innalzamento del livello dell'oceano, il cambiamento nei regimi pluviometrici e l'innalzamento della temperatura media terrestre, che, in generale, possono rappresentare fattori estremamente critici per tutti gli ambienti litoranei.

### 3.6.2. Possibili effetti del cambiamento climatico sulla quantità e qualità della risorsa idrica sotterranea

Gli scenari di cambiamento climatico elaborati dall'IPCC, prevedono per la Tanzania un aumento della temperatura media annua di 2C° - 4C°, un incremento della piovosità media in alcune aree, mentre un decremento in altre, un maggior rischio di eventi meteorologici estremi (estremizzazione del clima), ed un innalzamento del livello medio dell'oceano (nel periodo 1993-1998 il tasso di innalzamento risulta variabile da 1,3 mm/yr a 2,4 mm/yr).

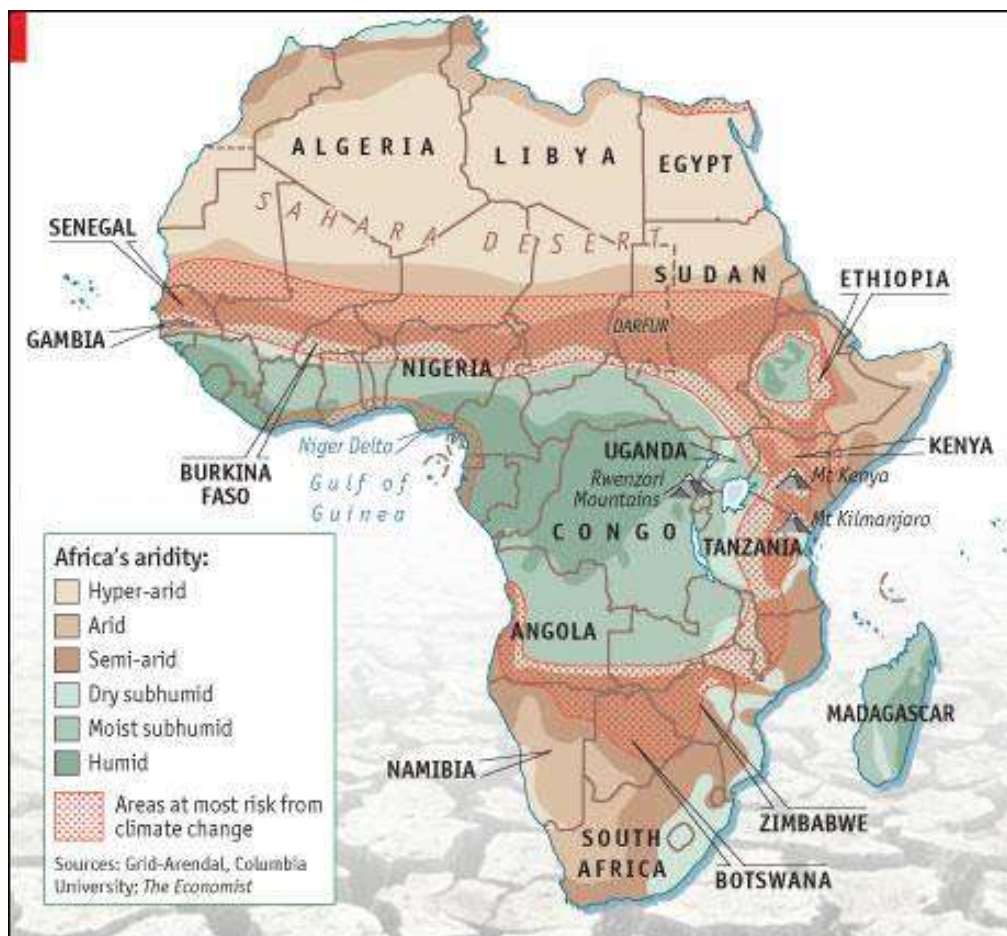


Figura 3.40 Regioni del Continente Africano maggiormente esposte ai rischi del cambiamento climatico (IPCC, 2007)



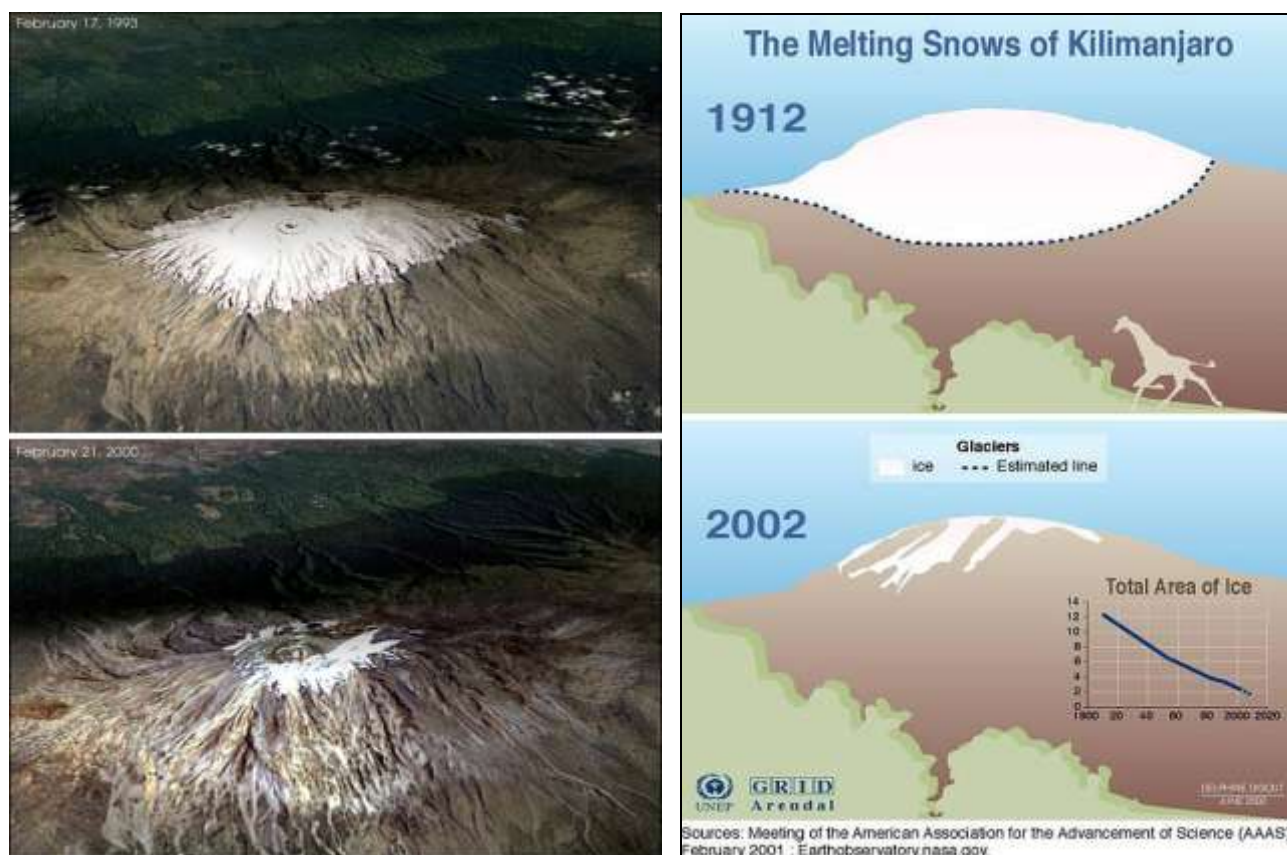


Figura 3.41 Lo scioglimento del ghiacciaio del Mt. Kilimanjaro dal 1912 al 2002 (AA.VV., 2007)

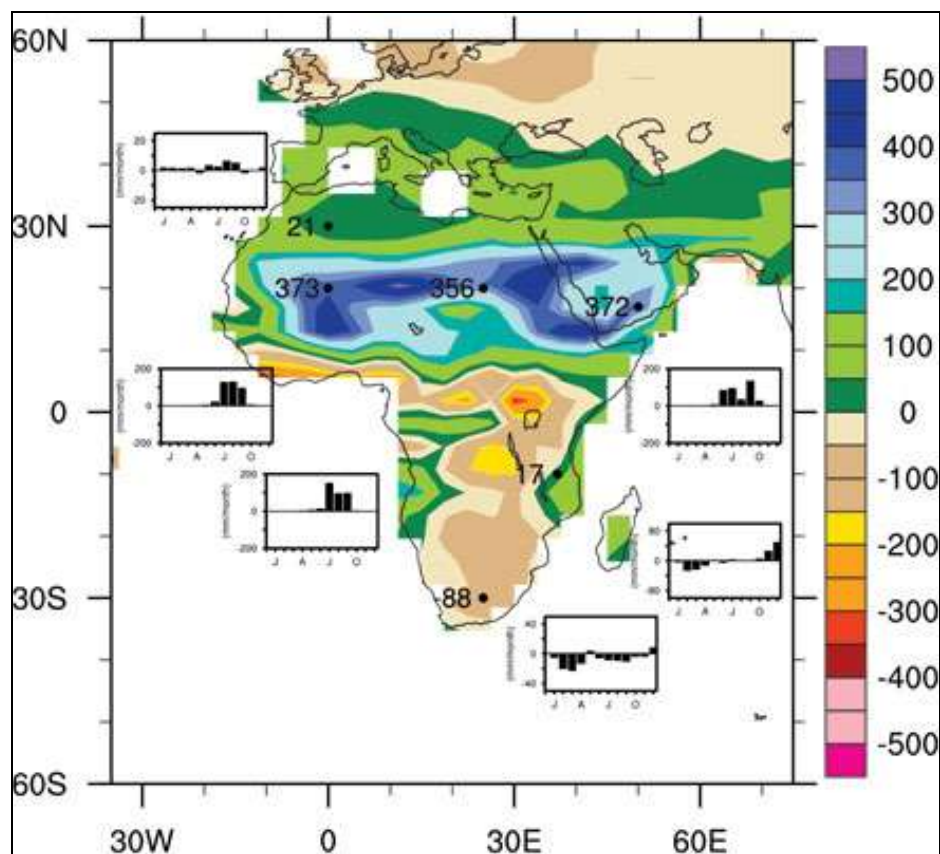


Figura 3.42 Scenario di variazione delle precipitazioni per il Continente Africano (IPCC, 2007)

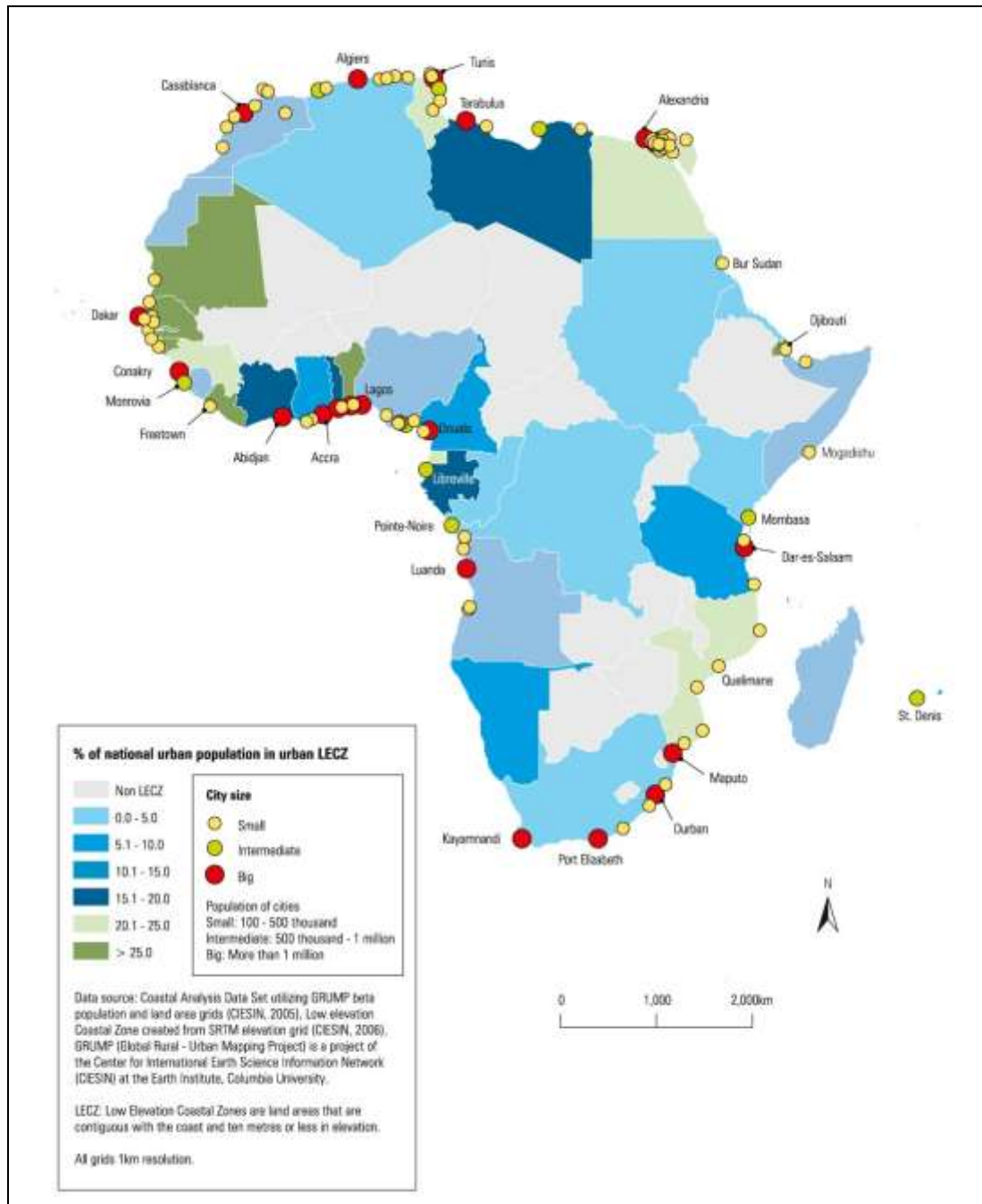


Figura 3.43 Città africane a rischio a causa del potenziale innalzamento del livello medio dell'oceano (Manase, 2009)

Nelle aree con un regime pluviometrico bimodale (2 stagioni piovose), come Dar es Salaam, le precipitazioni potrebbero aumentare dal 5% al 45%, con un incremento del rischio di eventi meteorologici estremi (maggiore intensità delle precipitazioni in un periodo limitato di tempo), mentre nelle aree con un regime pluviometrico unimodale (1 sola stagione piovosa) le precipitazioni potrebbero diminuire dal 5% al 15%.

In generale, viene previsto in media per tutta l'area orientale del Continente Africano una diminuzione dell'umidità dei suoli (incremento del tasso di evapotraspirazione e diminuzione del tasso di infiltrazione), una riduzione del deflusso superficiale (tra il 6% ed il 9%) dei principali fiumi (in Tanzania i Fiumi Rufiji, Pangani, Ruvu, Great Ruaha, Malagarasi, Kagera, Mara,

Ruvuma, e Ugalla rivestono una grande importanza per la fornitura idrica della popolazione), ed una diminuzione della ricarica delle falde acquifere.

La riduzione dell'umidità dei suoli, a sua volta, potrebbe determinare una estensione delle aree soggette a desertificazione e aridità, inasprendo le condizioni di stress idrico.

Tali fattori potrebbero determinare impatti sostanziali sulla disponibilità e sulla qualità della risorsa idrica per le attività economiche (agricoltura, allevamento, pesca, turismo ed attività industriale) e per il sostentamento delle comunità, nonché favorire conseguenze negative a livello ecologico (perdita di habitat e biodiversità) e sanitario (diffusione di malaria, tifo e colera).

Gli ambienti litoranei, come spiagge, dune costiere e zone retrodunali, così come gli ambienti di “transizione”, quali lagune salmastre e mangrovieti, fanno parte, in generale, degli ecosistemi più vulnerabili e minacciati su scala mondiale.

Tali ambienti giocano un ruolo fondamentale nello sviluppo sociale ed economico della Tanzania. Infatti nelle aree litoranee si concentra la maggioranza della popolazione e delle attività economiche.

Il crescente sfruttamento delle aree costiere da parte dell'uomo non ha fatto altro che accelerare certi processi dannosi per questi habitat (ad esempio l'erosione costiera, o l'aumento di intrusione salina nella falda acquifera), interrompendone la naturale dinamica evolutiva.

Da qualche decennio a questa parte, infatti, tali ambienti hanno subito gli effetti di una rapida crescita della pressione antropica (urbanizzazione, inquinamento delle acque costiere, turismo, sfruttamento agricolo ed estrazione di acqua ed idrocarburi), che ha generato fattori di disturbo e di stress.

In particolare, nella città africane che si sviluppano lungo la costa, come Dar es Salaam, spesso le instabili e problematiche realtà politiche e sociali, unitamente alla mancanza o inadeguatezza dei sistemi di gestione delle risorse ambientali, hanno finito sicuramente con l'aggravare la situazione.

Le conseguenze del cambiamento climatico, come l'innalzamento del livello dell'oceano, il cambiamento nei regimi pluviometrici e l'innalzamento della temperatura media terrestre (sia nell'atmosfera che nell'idrosfera), determinate dal progressivo riscaldamento della superficie terrestre e dell'atmosfera (per l'aumento delle emissioni antropiche), possono rappresentare, nel medio e lungo periodo, ulteriori fattori critici per gli ambienti costieri.

In vari studi effettuati (Mahongo, 2006; Casmiri, 2008; Kalugendo, 2008 ) viene mostrato come gli effetti indotti dal cambiamento climatico potrebbero influire negativamente sulla quantità e qualità dell'acquifero costiero di Dar es Salaam, aggravando una situazione già ampiamente compromessa, ed, in particolare, favorendo l'aumento della contaminazione marina nella falda acquifera.

Di seguito verranno descritti i possibili effetti (innalzamento del livello del mare e cambiamento dei regimi pluviometrici) del cambiamento climatico sugli ambienti litoranei, concentrandosi, in particolare, sulla risorsa idrica sotterranea.

Secondo le previsioni elaborate da studi nazionali ed internazionali, l'innalzamento del livello marino rappresenta una delle conseguenze attese rispetto alle variazioni climatiche in atto,

dovute al riscaldamento atmosferico registratosi negli ultimi decenni per l'effetto serra (IPCC, 2007).

Le conseguenze maggiori si potranno avvertire in maniera particolare sulle coste basse, nei delta e nelle città litoranee.

L'aumento del livello del mare, quindi, potrebbe causare seri problemi agli ambienti litoraneo/costieri, che rappresentano spesso aree particolarmente delicate e sensibili, proprio perché ricche di una grande diversificazione di habitat dovuta alla vasta gamma di ecosistemi presenti. Tali ambienti, infatti, sono caratterizzati da un'elevata dinamicità spaziale, nel senso che, in aree anche molto piccole, possono ospitare condizioni ambientali profondamente diverse, legate, ad esempio, al fattore "salinità" (da acque dolci ad acque iper-saline), o al fattore energetico (dalle aree lagunari e riparate, alle coste esposte al moto ondoso).

Gli impatti dell'innalzamento del livello dell'oceano possono essere classificati come primari e secondari, in relazione alla gravità dell'effetto (Mahongo, 2006).

Gli impatti primari sono rappresentati da:

- L'inondazione di aree depresse e spostamento delle aree umide.  
Tale impatto risulta essere particolarmente dannoso per gli "ambienti di transizione". L'aumento del livello dell'oceano potrebbe sommergere alcune aree (in particolare le aree deltizie, le lagune salate ed i mangrovieti) e favorire la salinizzazione del suolo per infiltrazione diretta di acqua salata, danneggiando irreparabilmente la vegetazione.
- Il rischio di allagamenti, dovuto alla maggiore probabilità di eventi meteorologici estremi (tempeste e cicloni tropicali).  
Tale impatto risulta particolarmente dannoso per le popolazioni che vivono nelle aree depresse e lungo i corsi d'acqua, soprattutto nelle realtà urbane in cui i servizi primari (sistema idrico, sistema fognario e sistema di gestione dei rifiuti) sono scadenti.
- L'erosione della costa.  
Un innalzamento del livello del mare può causare, in generale, un aumento dell'erosione della costa, con il conseguente spostamento verso l'entroterra del profilo della fascia costiera.
- L'aumento dell'intrusione salina negli estuari e negli acquiferi costieri.  
Un innalzamento del livello del mare può indurre ad una maggiore penetrazione delle acque salate sia direttamente lungo i sistemi fluviali, che nelle falde acquifere (in funzione del livello piezometrico locale), accelerando il processo di salinizzazione della fascia costiera. Gli acquiferi costieri superficiali con un livello statico medio prossimo al piano campagna risultano maggiormente a rischio.

Gli impatti secondari sono invece rappresentati da:

- L'alterazione del moto periodico delle maree.  
Un innalzamento del livello del mare può indurre ad un cambiamento nella frequenza di risonanza delle correnti di marea, mentre un aumento del livello di alta marea potrebbe

incrementare la salinità negli estuari, a causa della conseguente maggior estensione verso monte della zona di miscelazione (dove avviene il processo di *entrainment*).

- I cambiamenti delle dinamiche di sedimentazione.  
Un innalzamento del livello del mare può causare uno spostamento verso monte dei processi di sedimentazione dei solidi trasportati dai corsi d'acqua, e di conseguenza una modificazione della linea di costa.
- La diminuzione della penetrazione dei raggi solari nell'oceano.  
L'incremento dell'erosione costiera potrebbe aumentare la torbidità dell'acqua dell'oceano, diminuendo la profondità di penetrazione della luce solare nell'acqua, così da inibire l'attività fotosintetica e quindi la crescita degli organismi bentinici. Tale effetto, unitamente al riscaldamento dell'oceano, potrebbe avere notevoli conseguenze, ad esempio, sullo sviluppo delle barriere coralline. La scomparsa della barriera corallina determinerebbe una maggiore erosione della fascia costiera (le barriere coralline espletano una funzione protettiva sulle coste), ed una diminuzione della biodiversità del sistema, con gravi ripercussioni su tutte le attività collegate (ad esempio la pesca).
- L'aumento dell'altezza e dell'energia delle onde.  
Un innalzamento del livello del mare ridurrebbe la protezione assicurata dalla barriera corallina sulla zona litoranea nei confronti delle correnti oceaniche, inducendo ad un aumento dell'altezza e dell'energia delle onde che si infrangono sulla costa. L'aumento dell'energia delle onde potrebbe favorire l'erosione della costa e differenti dinamiche di sedimentazione dei sedimenti costieri.

In generale, è dunque possibile sostenere che gli ambienti litoranei, rappresentano le aree critiche per eccellenza in termini di vulnerabilità all'innalzamento del livello marino.

In particolare, l'innalzamento del livello marino (dovuto a fattori climatici) potrebbe porre in condizioni di ulteriore rischio da "inquinamento salino" gli acquiferi costieri superficiale e semiconfinato di Dar es Salaam, già parzialmente compromessi. Nel caso di eccessivo emungimento di acqua sotterranea, l'acquifero potrebbe divenire rapidamente non utilizzabile per le differenti attività umane.

Inoltre nelle foci dei numerosi corsi d'acqua presenti, l'elevazione del livello marino potrebbe portare anche ad una intrusione diretta di acqua salata lungo il sistema fluviale stesso, aumentando così la salinizzazione dell'entroterra.

La variazione dei regimi pluviometrici e dell'umidità del suolo (aumento dell'evapotraspirazione), unitamente all'aumento della temperatura media terrestre, sono possibili conseguenze attese rispetto al cambiamento climatico in atto (IPCC, 2007).

Naturalmente la variazione in intensità e quantità delle precipitazioni, nonché i tassi di infiltrazione nel suolo e di runoff superficiale, dipendenti dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del suolo, influenzano direttamente la quantità di risorsa idrica disponibile, sia superficiale che sotterranea, in una determinata area.

In generale, un aumento dell'intensità delle precipitazioni (più eventi estremi in un periodo limitato di tempo, a parità di piovosità media) determina sicuramente un incremento del ruscellamento superficiale, concentrato perlopiù in periodi limitati, e, di conseguenza, una minor infiltrazione nel suolo (che si satura velocemente), comportando una diminuzione del tasso annuo di ricarica di un acquifero.

Al tempo stesso la diminuzione della piovosità media, unitamente all'aumento della temperatura media, che induce l'incremento dell'evaporazione delle acque superficiali, possono determinare una flessione del deflusso medio nei corsi d'acqua.

Il sistema di fornitura idrica di Dar es Salaam, che serve un terzo della popolazione, come si è mostrato in precedenza, dipende quasi totalmente dalle acque superficiali del Fiume Ruvu.

I dati meteorologici della stazione meteo dell'Aeroporto di Dar es Salaam, mostrano un generale decremento della piovosità nel periodo che va dal 1954 al 1990 (Mjemah, 2007).

Una diminuzione del deflusso medio del Fiume Ruvu, potrebbe provocare una condizione di instabilità ed incertezza nella fornitura idrica, già attualmente limitata, con conseguenze estremamente negative per gli abitanti di Dar es Salaam. Come si è visto nei paragrafi precedenti, dal 1997, a seguito di un periodo di siccità, l'utilizzo dell'acqua sotterranea per l'approvvigionamento idrico è aumentata esponenzialmente.

Nel 2015, Mato (2002) stima che la quantità di acqua totale emunta potrebbe superare il tasso di ricarica dell'acquifero.

L'alimentazione dell'acquifero di Dar es Salaam è sostenuta sia dall'infiltrazione dell'acqua piovana attraverso le formazioni sabbiose che si estendono in gran parte della Regione, che dai numerosi corsi d'acqua costieri presenti (Fiumi Msimbazi, Mzinga, Kizinga e Tegeta) (Kalugendo, 2008).

In generale, i fattori antropici che possono influenzare negativamente il deflusso dei corsi d'acqua e la ricarica dell'acquifero costiero di Dar es Salaam sono:

- L'utilizzo delle acque superficiali e delle acque sorgentizie per l'attività agricola, che può indurre alla riduzione del deflusso minimo dei corsi d'acqua, soprattutto nella stagione secca.
- Il rapido processo di urbanizzazione, che ha incrementato notevolmente l'impermeabilizzazione del suolo.
- L'aumento dell'erosione del suolo, dovuto soprattutto all'attività agricola ed all'attività mineraria, che induce ad un incremento del ruscellamento superficiale.
- La deforestazione e gli incendi nel bacino di alimentazione dell'acquifero (necessità di spazi per l'attività agricola ed esigenza di prodotti forestali, come carbone e legna da ardere, per uso domestico), che aumentano, a loro volta, l'erosione del suolo.

E' evidente che un'ulteriore diminuzione della ricarica dell'acquifero dovuta alla variazione dei regimi pluviometrici, unitamente all'aumento dello sfruttamento della falda acquifera da parte degli abitanti, potrebbe indurre ad un incremento del fenomeno di intrusione salina nell'acquifero costiero, e, nel complesso, a conseguenze estremamente negative per l'intero ecosistema litoraneo.



## 4. RACCOLTA ED ELABORAZIONE DATI

### 4.1. La sensibilità del sistema biofisico

#### 4.1.1. Raccolta dati bibliografici

L'attività di raccolta di dati bibliografici è stata svolta sul campo durante un periodo di permanenza a Dar es Salaam di 3 mesi, tra Gennaio 2010 ed Aprile 2010.

I principali dati raccolti, utilizzati per la caratterizzazione del sistema biofisico (acquifero costiero) all'interno dell'area di studio, sono stati:

- caratteristiche climatiche (precipitazione e temperatura);
- caratteristiche morfologiche, geologiche ed idrogeologiche (profili geologici);
- caratteristiche fisiche e chimiche delle acque sotterranee.

Tali informazioni sono state reperite da documenti e studi esistenti, effettuati in ambiti differenti. In particolare, parte dei dati utilizzati per la definizione delle aree sensibili al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero, derivano da:

- Documenti e Report elaborati da enti pubblici che si occupano della gestione delle acque sotterranee (Ministry of Water and Irrigation; DAWASA; DDCA).
- Studi effettuati in ambito accademico (Msindai, 1988; Mato, 2002; Mjemah, 2007, Mtoni et al., 2010).
- Studi eseguiti da agenzie di cooperazione internazionale, che sviluppano progetti in collaborazione con il governo tanzaniano (JICA, 2005).

L'attività di reperimento di dati e studi esistenti si è rivelata estremamente difficoltosa, proprio perché la documentazione attualmente disponibile risulta scarsa, frammentaria, non organica (sparsa tra enti statali, strutture accademiche e agenzie di cooperazione internazionale) e spesso non facilmente accessibile, a causa dell'eccessiva burocratizzazione dei sistemi di accesso alle informazioni, soprattutto negli enti pubblici.

Nella maggior parte dei casi è stato necessario incrociare le informazioni provenienti dai differenti ambiti, in modo da avere a disposizione il maggior quantitativo di dati.

Una parte importante dell'attività di reperimento dati è stata svolta in collaborazione con il DDCA (*Drilling & Dam Construction Agency*), ente pubblico, facente parte del *Ministry of Water and Irrigation*, adibito alla perforazione e costruzione dei pozzi a Dar es Salaam (vedi Par. 3.5.4.)

Il DDCA, durante le procedure di costruzione di un pozzo, raccoglie dati relativi alla stratigrafia del terreno, alle caratteristiche idrogeologiche della falda acquifera (SWL, DWL, DD), nonché campioni di acqua, che vengono successivamente analizzati in laboratorio per determinare le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee (EC, pH, TDS, Durezza,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), al fine di stabilirne l'utilizzabilità. Tali dati vengono inseriti in un Report cartaceo (scheda del pozzo), che viene conservato nell'archivio del DDCA.

Le informazioni presenti nei Report non sempre si sono rivelate complete ed attendibili, soprattutto per i pozzi costruiti prima del 2003 (i report dei pozzi più antichi sono spesso scritti a mano): nel complesso i dati si riferiscono esclusivamente all'anno di costruzione, dal momento che non sono presenti sistemi di monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee.

E' inoltre interessante notare il fatto che, sebbene nel Report di un pozzo siano riportati informazioni quali il nome del proprietario, il distretto e l'area urbana in cui si trova, la localizzazione spaziale dello stesso rimane comunque estremamente complicata sia per la mancanza di georeferenziazione che per le gravi lacune della toponomastica locale, e per tal motivo diventa sostanzialmente patrimonio dei tecnici che hanno effettivamente partecipato alla costruzione del pozzo.

In sintesi, la scarsa consistenza dei dati disponibili, la loro frammentarietà, nonché l'estrema difficoltà nel localizzare i pozzi esistenti, rendono lo studio e la gestione della risorsa idrica sotterranea estremamente difficoltosi.

Nell'ambito dell'attività di collaborazione col DDCA sono stati raccolti ed analizzati 101 Report cartacei relativi a pozzi costruiti nell'area di studio dal 1997 al 2009.

I Report prelevati sono stati scelti in base alla disponibilità o meno delle coordinate spaziali del pozzo, ricavate sia direttamente durante la campagna di misurazioni sperimentali attraverso l'utilizzo di GPS, che indirettamente da 3 studi disponibili (JICA, 2005; Mjemah, 2007, Mtoni et al., 2010), i quali presupponevano, come parte integrante delle analisi delle caratteristiche del sistema idrogeologico della Regione di Dar es Salaam, un'attività di georeferenziazione dei pozzi utilizzati.

Inoltre da tali studi, eseguiti rispettivamente nel 2005, 2007 e 2010, sono stati raccolti (quando disponibili) dati relativi alle caratteristiche idrauliche dell'acquifero (SWL, DWL, DD), nonché alle caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee (EC, TDS,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), in modo da poter stabilire un'evoluzione nel tempo di tali parametri, laddove risultassero disponibili, per uno stesso pozzo, i medesimi dati relativi all'anno di costruzione (presenti nei Report cartacei prodotti dal DDCA).

In totale i pozzi georeferenziati, utilizzati per lo studio della sensibilità del sistema biofisico, risultano 165, così suddivisi:

- Per 26 di essi si dispone di dati relativi all'anno di costruzione (ottenuti da Report prodotto dal DDCA).
- Per 54 di essi si dispone sia di dati relativi all'anno di costruzione (ottenuti da Report prodotto dal DDCA), che di dati relativi al 2005 o al 2010 (ottenuti da studi effettuati).
- Per 64 di essi si dispone di dati relativi al 2005 o al 2010 (ottenuti da studi effettuati).
- Per 14 di essi si dispone sia di dati relativi all'anno di costruzione (ottenuti da Report prodotto dal DDCA), che di dati relativi al 2010 (ottenuti dalla campagna di monitoraggio effettuata).
- Per 7 di essi si dispone di dati relativi all'anno di costruzione (ottenuti da Report prodotto dal DDCA), di dati relativi al 2005 (ottenuti da studi effettuati), e di dati relativi al 2010 (ottenuti dalla campagna di monitoraggio effettuata).

#### 4.1.2. Campagna di monitoraggio idrogeologico 2010

La campagna di monitoraggio idrogeologico è stata svolta in collaborazione con un dipendente della *Ardhi University* (Dar es Salaam) e con un tecnico del DDCA, durante il periodo di permanenza a Dar es Salaam (Gennaio 2010 - Aprile 2010).

Obiettivo della campagna di misure in pozzo è stata la determinazione della profondità della zona di transizione tra acqua dolce ed acqua salata attraverso la misura del livello statico (SWL) e la ricostruzione dei profili conducibilità elettrica (EC), solidi totali disciolti (TDS), salinità e temperatura (T) dell'acqua lungo lo sviluppo dei pozzi.

Le attività di misura sono state condotte su un sottogruppo di 21 pozzi scelti sulla base di differenti criteri:

- Distribuzione il più possibile uniforme nell'area di studio.
- Possibilità di localizzazione del pozzo, sulla base dell'esperienza del tecnico del DDCA.
- La disponibilità dei proprietari all'utilizzo del proprio pozzo per le analisi.



Foto 4.1 Campagna di misurazioni in situ (Kunduchi, Prof. Akaro)



Foto 4.2 Campagna di misurazioni in situ (Mikocheni, Father Nguma)



Foto 4.3 Campagna di misurazioni in situ (Mikocheni, Father Nguma)



Foto 4.4 Campagna di misurazioni in situ (Kunduchi, Prof. Akaro)

Lo strumento utilizzato è stato una sonda multiparametrica portatile, del tipo MPS-D8, associata ad un freatimetro, del tipo KLL-Q-2, prodotti dalla SEBA Hydrometrie.

La sonda multiparametrica può essere equipaggiata con differenti sensori, ed, una volta inserita all'interno del pozzo, consente la misurazione immediata di vari parametri chimico-fisici dell'acqua come: il livello statico della falda [m], la temperatura [°C], la conducibilità elettrica [mS/cm], la densità [g/l], il pH, il potenziale redox [mV], la torbidità [NTU] e, a scelta, la concentrazione di differenti ioni disciolti [mg/l] (come cloro, calcio, fluoro, potassio, ammonio e nitrati). I sensori sono protetti da una armatura in acciaio di lunghezza pari a circa 50 cm e larghezza pari a circa 5 cm.

Per la trasmissione dei dati lo strumento è dotato di un cavo coassiale di 100 m, graduato ogni centimetro, in modo da individuare la profondità di misurazione rispetto al piano campagna. Il cavo è collegato ad una centralina di registrazione e restituzione dei dati rilevati, dotata di display, che, oltre alla lettura istantanea dei dati misurati dai sensori, consente il calcolo automatico, mediante alcuni algoritmi, del Total Dissolved Solids (TDS) [mg/l] e della Salinità [ppt] dell'acqua, a partire dai valori di conducibilità elettrica e temperatura.



Foto 4.5 La sonda multiparametrica utilizzata nella campagna di misurazioni (Mbezi Beach, Prof. Hayuma)



Foto 4.6 Il freatimetro con la centralina di restituzione dei dati rilevati (Mbezi Beach, Prof. Hayuma)

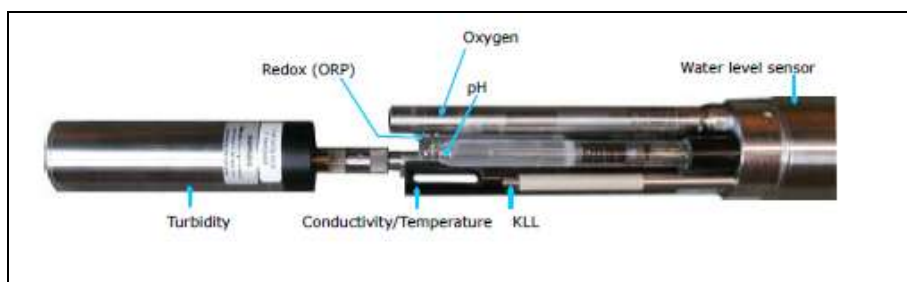


Foto 4.7 I sensori localizzati all'interno della sonda multiparametrica (SEBA Hydrometrie)

Le condizioni di lavoro hanno reso possibile la ricostruzione dei profili unicamente su 6 pozzi risultati sprovvisti di pompa, dal momento che, in presenza della pompa, il diametro dei pozzi non permetteva l'inserimento dello strumento (la tipologia costruttiva dei pozzi è descritta nel Par. 3.5.4.), mentre la rimozione della stessa era da considerarsi un'attività difficilmente praticabile, a causa del numero limitato di persone presenti durante i rilevamenti (la pompa e la condotta risultano piuttosto pesanti, specialmente nel caso di pozzi profondi) e del potenziale



rischio di danneggiamento della pompa stessa (spesso le pompe sono ancorate alle struttura con semplici corde).

In un solo caso è stato possibile rimuovere la pompa, ossia per effettuare le misurazioni in un pozzo pubblico, gestito dal DAWASA, l'ente pubblico responsabile del controllo del sistema idrico cittadino, che ha fornito i tecnici necessari alla rimozione, assumendosene la responsabilità.

Per i restanti pozzi selezionati (15) si è deciso di prelevare un campione di acqua, previo scorrimento nella condotta per almeno 10 minuti, che è stato successivamente analizzato con la sonda multiparametrica in modo da ricavarne almeno il valore puntuale di EC, T, TDS e Salinità. In questo caso diventava importante conoscere la profondità della pompa nel pozzo selezionato.



Foto 4.8 Pozzo non dotato di pompa (Kunduchi, TAFIRI)



Foto 4.9 Pozzo dotato di pompa (Kunduchi, Police Station)

I dati ottenuti attraverso la campagna di misurazioni in situ sono stati correlati sia con quelli ricavati dai Report prodotti dal DDCA all'anno di costruzione dei pozzi, che con quelli ricavati dagli studi esistenti (JICA, 2005; Mjemah, 2007; Mtoni et al., 2010), in modo da poter produrre un database, diviso secondo differenti livelli temporali, utile per l'analisi (in ambiente GIS) della sensibilità del sistema biofisico rispetto all'evoluzione del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero.

#### 4.1.3. Metodologia di analisi

Come osservato precedentemente, la sensibilità di un sistema biofisico (acquifero costiero) rappresenta la potenzialità che tale sistema possa essere danneggiato rispetto ad una certa perturbazione (intrusione salina), e può essere espressa in funzione di due parametri principali:

- I fattori di pressione sul sistema, sia naturali che antropici (sovrasfruttamento della falda; impermeabilizzazione del suolo; effetti del cambiamento climatico).
- La vulnerabilità intrinseca del sistema biofisico, dipendente dalle caratteristiche chimico-fisiche del sistema, che determinano il grado di esposizione (caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero; fattori naturali di salinizzazione).

Nel capitolo precedente (Par. 3.6.1. e Par. 3.6.2) è stato descritto come il crescente processo di urbanizzazione in atto a Dar es Salaam ha determinato una pressione sempre maggiore

sull'acquifero costiero, e come le potenziali conseguenze del cambiamento climatico rappresentino ulteriori fattori di pressione nel medio e lungo periodo.

Il sempre maggior sfruttamento della risorsa idrica sotterranea da parte della popolazione, unitamente all'aumento delle aree costruite (aumento dell'impermeabilizzazione del suolo e diminuzione della ricarica dell'acquifero) rappresentano i principali fattori che potrebbero indurre ad un aumento dell'intrusione salina nell'acquifero.

Attraverso l'elaborazione dei dati ricavati durante le attività sul campo (dati all'anno di costruzione dei pozzi, dati ricavati da ricerche sul tema e dati raccolti nei rilevamenti), si è cercato di localizzare le zone, all'interno dell'area di studio, che manifestano segni di salinizzazione dell'acquifero, causata dall'intrusione di acque marine, e di determinare, per quanto possibile, l'evoluzione del fenomeno dal 1997 (anno del "rilancio" della risorsa idrica sotterranea per l'approvvigionamento della popolazione) ad oggi.

Come si è visto precedentemente (Par. 3.2.5.) il sistema idrogeologico nella piana costiera di Dar es Salaam è formato da due differenti acquiferi sabbiosi del Quaternario, che possono essere suddivisi in un acquifero superficiale non confinato, con uno spessore massimo di 50 m, ed un acquifero inferiore semi-confinato, che può raggiungere una spessore di 100 m, separati da un acquitrando argilloso.

La ricostruzione della struttura idrogeologica del sistema fisico costiero all'interno dell'area di studio ha rappresentato il punto di partenza del processo di analisi del fenomeno dell'intrusione salina all'interno dell'acquifero costiero.

La metodologia di studio proposta, compatibile con la tipologia, la quantità e la qualità dei dati disponibili, è consistita nello sviluppo di differenti attività, descritte di seguito:

#### 1. Determinazione dell'evoluzione nel tempo del livello piezometrico della falda acquifera.

Il livello piezometrico (carico idraulico) di un acquifero è l'altezza che viene raggiunta dal livello dell'acqua (pelo dell'acqua) in un piezometro, rispetto ad un piano orizzontale di riferimento (livello medio del mare) e si esprime in metri sopra il livello del mare (m.a.s.l.). La superficie piezometrica rappresenta la distribuzione dei carichi idraulici in una determinata regione, ed è data dall'insieme dei valori delle altezze piezometriche in tutti i punti.

Nel caso di una falda freatica, la superficie piezometrica coincide con la superficie dell'acqua nella zona satura; perciò può anche essere definita, in senso idrogeologico, come "superficie freatica".

La superficie piezometrica di un acquifero viene rappresentata attraverso la costruzione di "curve isopieziche" (o "curve isofreatiche" nel caso di falda freatica).

Il livello statico (SWL) di un acquifero è l'altezza raggiunta dal livello dell'acqua rispetto al piano campagna, e si misura in metri al di sotto della superficie (m.b.g.l.).

Il valore del livello piezometrico viene ottenuto sperimentalmente misurando la distanza tra il livello statico della falda all'interno del pozzo, rispetto ad un punto di riferimento in superficie (boccapozzo), di cui si conosce la quota topografica (georeferenziazione del pozzo).

Secondo la relazione di Ghyben-Herzberg (vedi Par. 2.2.3.) il livello piezometrico di un acquifero costiero influisce sulla profondità della superficie di interfaccia tra acqua dolce e acqua salata. In generale, la diminuzione del carico idraulico favorisce la risalita del cuneo salino. Di conseguenza diventa importante determinare l'evoluzione nel tempo del livello piezometrico



della falda acquifera, in quanto una sua diminuzione potrebbe rappresentare un possibile fattore di salinizzazione dell'acquifero.

In generale, il livello piezometrico di un acquifero dipende principalmente da tre fattori (bilancio idrogeologico):

- Tasso annuo di ricarica dell'acquifero (entrate del sistema).
- Scambi idrici con altre unità idrogeologiche e con il mare.
- Quantità d'acqua totale emunta annualmente da parte della popolazione (uscite del sistema).

Se il tasso annuo di ricarica dell'acquifero (entrate nel sistema) può essere stimato attraverso il calcolo del bilancio idrologico in funzione della piovosità, del tasso di evapotraspirazione e del tasso di runoff superficiale (permeabilità del suolo), specifici dell'area di studio, il livello di sfruttamento dell'acquifero (uscite del sistema) da parte della popolazione di Dar es Salaam rappresenta un parametro difficilmente individuabile. Infatti, attualmente non esistono sistemi di monitoraggio della quantità d'acqua emunta, oltre al fatto che la localizzazione dei numerosi pozzi informali è un'operazione di difficile attuazione.

L'unica certezza è rappresentata dal fatto che, a causa dell'intenso processo di urbanizzazione in atto a Dar es Salaam, il numero di pozzi (quindi lo sfruttamento della risorsa idrica sotterranea) presenti nell'area di studio è aumentato sensibilmente negli ultimi anni.

La mancanza di dati sul livello di prelievo di acqua sotterranea non ha reso possibile il calcolo del bilancio idrogeologico. Di conseguenza, la valutazione dell'evoluzione del livello piezometrico nell'area di studio è stata effettuata attraverso la ricostruzione, a livello qualitativo, dell'andamento nel tempo delle curve isofreatiche, tramite l'interpolazione triangolare dei valori puntali di SWL disponibili (relativi ai pozzi analizzati).

Inoltre per quei pozzi dei quali si disponeva di misurazioni su differenti anni, è stata monitorata l'evoluzione nel tempo dei valori puntuali del livello piezometrico, al fine di stabilire un possibile trend per le differenti zone presenti all'interno dell'area di studio.

## 2. Definizione dell'andamento delle curve di isoconducibilità e dell'evoluzione dei valori puntuali di conducibilità elettrica dell'acqua nel tempo.

La salinità dell'acqua può essere definita come la concentrazione totale di sali disciolti in un corpo idrico ed è espressa in ‰ o parti per migliaia (ppt).

Mentre in passato la salinità era determinata sulla base della clorinità, grandezza che esprime il contenuto totale di cloruri ( $\text{Cl}^-$ ), bromuri ( $\text{Br}^-$ ) e ioduri ( $\text{I}^-$ ), attualmente viene calcolata misurando la conducibilità elettrica (EC), parametro che considera l'insieme dei sali presenti in soluzione.

La conducibilità elettrica (EC) è una proprietà fisica dell'acqua, e si esprime in Siemens al metro [ $\text{S/m}$ ]. Rappresenta la capacità dell'acqua di condurre elettricità, ed è correlata alla mobilità degli ioni presenti in soluzione. In generale può essere espressa come:

$$EC = N \cdot n \cdot e \cdot (u^+ + u^-)$$

dove:

$N$  = numero di ioni;

$n$  = valenza;

$e$  = carica elementare;

$u^+$ ,  $u^-$  = mobilità degli ioni positivi e negativi.

Dall'equazione risulta evidente come la conducibilità sia funzione della salinità, espressa come ioni disciolti nell'acqua. La mobilità degli ioni è fortemente influenzata dalla pressione e dalla temperatura, per cui, in un campione d'acqua a salinità costante, la conducibilità cambia al variare della pressione e della temperatura.

La determinazione dell'evoluzione nel tempo dei valori di conducibilità elettrica dell'acqua sotterranea, relativi ai pozzi osservati, rappresenta un parametro importante per valutare l'andamento del livello di salinità dell'acqua di falda.

In generale un incremento dei valori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee potrebbe essere correlato con differenti fattori, quali:

- Aumento dell'ingressione nella falda acquifera di acqua salata proveniente dall'oceano, soprattutto negli acquiferi costieri.
- Fattori di salinizzazione naturale, come la risalita di acque saline fossili, e l'erosione chimica delle rocce carbonatiche (dissoluzione della calcite dei depositi calcarei).
- Presenza di inquinanti di tipo antropico, provenienti da scarichi civili, attività agricola o attività industriale (come nitrati, fosfati, solfati).

La valutazione dell'evoluzione dei valori di conducibilità elettrica propri dell'acqua sotterranea nell'area di studio è stata effettuata attraverso la ricostruzione, a livello qualitativo, dell'andamento delle curve di isoconducibilità nel tempo, tramite l'interpolazione triangolare dei valori puntali di EC disponibili (relativi ai pozzi analizzati). La diminuzione dei valori di conducibilità dall'oceano verso la costa può essere indice di presenza di contaminazione marina. Inoltre per quei pozzi dei quali si disponeva di misurazioni su differenti anni, è stata monitorata l'evoluzione nel tempo dei valori puntuali di conducibilità elettrica, al fine di stabilire un possibile trend per le differenti zone presenti all'interno dell'area di studio.

### 3. Analisi delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee.

L'acqua di mare è una soluzione complessa che contiene la maggior parte degli elementi naturali conosciuti. I principali elementi presenti, con i relativi valori di concentrazione, sono mostrati in Tabella 4.1.

| Elemento | g/kg  | % in peso | $\Sigma$ |
|----------|-------|-----------|----------|
| Cloro    | 19.35 | 55.03%    |          |
| Sodio    | 10.78 | 30.65%    | 85.68%   |
| Zolfo    | 2.71  | 7.72%     | 93.40%   |
| Magnesio | 1.28  | 3.65%     | 97.05%   |
| Calcio   | 0.41  | 1.17%     | 98.22%   |
| Potassio | 0.39  | 1.13%     | 99.35%   |

Tabella 4.1 Principali elementi presenti nell'acqua di mare, con i relativi valori di concentrazione (Celico, 1986)

Al variare della salinità, i rapporti tra i componenti rimangono pressoché costanti; di conseguenza è possibile determinare la salinità misurando la concentrazione di alcuni ioni e moltiplicandola per il rapporto tra essi e gli ioni totali. In generale, il processo di salinizzazione (*salinsation*) della falda acquifera è indotto dalla penetrazione nell'acquifero costiero (contenente acqua dolce) di acqua marina (del tipo S-NaClØ).

I principali ioni presenti nelle acque dolci (del tipo F-CaHCO<sub>3</sub>Ø ) derivano perlopiù dalla dissoluzione delle rocce carbonatiche da parte dell'acqua piovana che si infiltra nel terreno. Con l'aumentare del contenuto di acqua salata nell'area di transizione (area di miscelamento, per dispersione idrodinamica, tra acqua dolce e acqua salata), si determinano reazioni chimiche di scambio ionico, in cui il sodio viene trattenuto dallo scambiatore (terreno), ed il calcio rilasciato. Ciò induce alla formazione di acqua del tipo CaCl<sub>2</sub>, tipica per i processi di salinizzazione. Viceversa il processo di desalinizzazione (*freshening*), in cui lo scambio ionico è inverso (deficit di Ca<sup>2+</sup>, surplus di Na<sup>+</sup>), induce alla formazione di acqua del tipo NaHCO<sub>3</sub> (Mjemah, 2007). I processi di salinizzazione e desalinizzazione sono esplicitati in Figura 4.1.

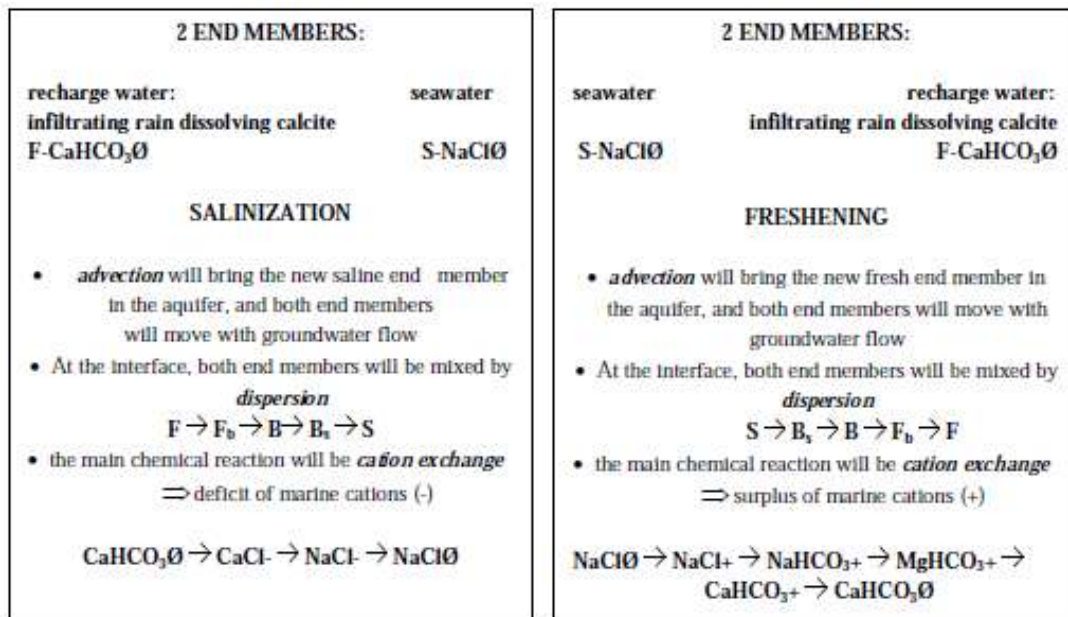


Figura 4.1 Processi di salinizzazione e desalinizzazione (Mjemah, 2007)

In generale, come detto precedentemente, non è certo che gli alti valori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee siano correlati solamente al fenomeno dell'intrusione marina, ma potrebbero essere causati anche dalla presenza eccessiva di sali, provenienti da fonti di inquinamento di tipo antropico (reflui domestici, scarichi industriali, fertilizzanti e pesticidi agricoli), come nitrati, fosfati e solfati.

A tal proposito, per stabilire in quali pozzi l'intrusione salina è da considerarsi di origine marina, sono state analizzate le caratteristiche chimiche delle acque (TDS, concentrazione degli ioni cloro, calcio, magnesio, sodio e potassio) relative ai pozzi disponibili nell'area di studio.

In particolare le analisi effettuate sono state:

- Classificazione delle acque in base al tenore di cloruri (Cl<sup>-</sup>) e Solidi Totali Disciolti (TDS).

Il contenuto di cloruri è indice della salinità dell'acqua, come visto precedentemente.

I Solidi Totali Disciolti rappresentano il materiale disciolto o in sospensione in un'acqua naturale. E' una misura della concentrazione degli ioni disciolti in soluzione (salinità), e viene espresso in mg/l o in ppm (parti per milione). A livello teorico, i TDS e la conducibilità elettrica non sono collegati linearmente, anche se il rapporto fra i due

parametri è generalmente espresso dalla seguente relazione:  $\text{TDS (ppm)} = \text{EC (mS/cm)} \times 0,67$ . Infatti due soluzioni con identico TDS potrebbero avere un valore di EC differente, a seconda della presenza e della concentrazioni di sale ionico e sostanza organica in soluzione.

- Relazione tra la concentrazione di  $\text{Cl}^-$  e TDS con la distanza dalla linea di costa dei diversi punti d'acqua.

Nel caso di presenza di contaminazione marina l'andamento dei valori di  $\text{Cl}^-$  e TDS dovrebbe mostrare un deciso decremento dallo costa verso l'entroterra.

- Analisi del grado di correlazione tra le concentrazioni degli ioni calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) e potassio ( $\text{K}^+$ ), rispetto al tenore di cloruri ( $\text{Cl}^-$ ) (comportamento in relazione alla linea di tendenza acqua dolce/acqua salata).

La caratterizzazione della tipologia e della concentrazione relativa degli ioni presenti nelle acque dei pozzi analizzati consente di stabilire quale pozzo manifesti segni di intrusione di acqua marina, ossia i punti d'acqua dove l'alto valore di salinità è probabilmente correlato alla penetrazione di acqua marina nell'acquifero.

#### 4. Ricostruzione ed evoluzione nel tempo della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata.

In generale, la caratterizzazione dell'estensione (in profondità) della contaminazione salina nell'acquifero (localizzazione della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata) si esegue attraverso indagini termo-conduttimetriche ed indagini geoelettriche, previa conoscenza della struttura litologica dell'acquifero.

L'impiego delle misure termo-conduttimetriche in foro ha origine proprio negli studi idrogeologici che riguardano gli acquiferi costieri. Le misure in parallelo di temperatura e conducibilità, al variare della profondità, sono generalmente utilizzate per individuare la presenza in falda di contaminazione salina.

La ricostruzione del carotaggio termico e di quello conduttimetrico (e conseguentemente di quello salino) rappresentano utili strumenti per l'identificazione della posizione della falda di acqua dolce rispetto al sottostante cuneo salino, e consentono di definire lo spessore della zona di miscelamento fra acqua dolce e acqua salata. Dai salti di conducibilità lungo la verticale del pozzo e dalle corrispondenti variazioni di temperatura è possibile individuare la profondità e l'ampiezza della zona di transizione, dove acqua dolce acqua salata risultano miscelate in diversa proporzione.

I metodi geoelettrici permettono la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sulla base di alcuni parametri fisici caratterizzanti gli strati del terreno. In particolare, prevedono l'immissione di corrente elettrica nel terreno al fine di individuare la resistività del sottosuolo mediante misure del potenziale elettrico effettuate in superficie.

La resistività è definita come l'attitudine di un materiale a lasciarsi attraversare da una corrente elettrica e si misura in Ohm per metro [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]. Ogni corpo roccioso presenta un ampio campo di variabilità dei propri valori di resistività che dipendono dal grado di omogeneità, dai livelli di alterazione e dal grado di fratturazione per rocce litoidi. Nel caso di terreni sciolti, quali i depositi alluvionali recenti, la resistività dipende dalla granulometria, dai fluidi in essi contenuti e dalla quantità di sali disciolti.

Il sondaggio elettrico verticale (*Vertical Electrical Sounding*, VES) consiste nell'esecuzione di successive misure di resistività mediante differenti configurazioni degli elettrodi, aumentandone progressivamente la distanza e mantenendo fisso il centro dello stesso.

I valori di resistività ottenuti vengono riportati su un grafico bilogaritmico, ottenendo una curva di resistività, dalla quale è possibile ricavare una elettrostratigrafia, che definisce gli spessori dei diversi strati. In base ai valori di resistività dei diversi strati individuati è possibile dedurre la tipologia di deposito litologico e di contenuto d'acqua. I valori tipici di resistività dell'acqua e delle rocce sono espressi in Tabella 4.2.

| Tipo di acqua e di roccia       | Resistività [ $\Omega \cdot m$ ] |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Acqua dolce                     | 100 – 3000                       |
| Acqua salata                    | < 0,2                            |
| Calcari e Dolomie               | 100 – 5000                       |
| Arenarie                        | 60 – 104                         |
| Argille (acqua dolce)           | 10 - 120                         |
| Argille (acqua salata)          | 1 – 10                           |
| Sabbie (da bagnate ad asciutte) | 100 – 1000                       |
| Graniti                         | 300 – 10000                      |
| Mame                            | 2 - 50                           |

Tabella 4.2 Valori di resistività in funzione del tipo di acqua e di roccia

Nell'ambito di questo lavoro non è stato possibile eseguire approfonditamente tali tipologie di indagine per la caratterizzazione dell'estensione della contaminazione salina, data la esigua disponibilità di questo tipo di dati (profili termo-conduttimetrici, e VES).

Di conseguenza, al fine di valutare l'evoluzione nel tempo del fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera, per ogni singolo punto d'acqua, in cui le analisi dei parametri chimici mostravano la presenza di contaminazione marina, si è cercato di definire la profondità della superficie di interfaccia acqua dolce/ acqua salata, attraverso l'analisi incrociata di differenti fattori, quali:

- Valore puntuale di conducibilità elettrica.
- Profondità del pozzo.
- Profilo termo-conduttimetrico, ove disponibile.
- VES, ove disponibile.

Attraverso l'interpolazione dei punti ottenuti, sono state ricostruite ipotetiche curve isobate (esprese in metri sotto il livello del mare) della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata rispetto al livello del mare.

Naturalmente, a causa della frammentarietà ed esiguità di dati, la misura della profondità della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata è risultata puramente qualitativa.

Come si vedrà nel capitolo successivo, i risultati ottenuti dallo studio dell'evoluzione del fenomeno nel tempo sono stati correlati con le caratteristiche di uso del suolo (indice delle possibili fonti di contaminazione) proprie dell'area di studio, al fine di ricostruire ipotetiche

mappe della sensibilità del sistema biofisico, in modo da definire le zone maggiormente sensibili al fenomeno dell'intrusione salina.

Di seguito verranno descritte le differenti fasi del processo di analisi dell'evoluzione del fenomeno di intrusione salina nell'acquifero costiero all'interno dell'area di studio.

#### *4.1.4. L'evoluzione del fenomeno dell'intrusione salina all'interno dell'area di studio*

##### 4.1.4.1. Caratteristiche dei dati utilizzati nella fase di analisi

I dati ricavati dalle differenti attività sul campo (dati contenuti nei Report prodotti dal DDCA, dati ricavati da studi esistenti, dati raccolti nei rilevamenti effettuati), relativi ai 165 pozzi georeferenziati, sono stati organizzati all'interno di un database in formato digitale, rispetto al quale è stata sviluppata l'attività di analisi dell'evoluzione del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero, con il supporto di un Sistema Informativo Territoriale (GIS).

In particolare, per ogni pozzo il database contiene informazioni relative a:

- Proprietario e numero identificativo del pozzo.
- Anno di costruzione (YC).
- Localizzazione spaziale.
- Distanza dalla linea di costa.
- Parametri costruttivi del pozzo (profondità e diametro).
- Livello Statico della falda acquifera (SWL).
- Parametri fisici delle acque sotterranee (EC, Conducibilità Elettrica; TDS, Solidi totali disciolti).
- Caratteristiche chimiche delle acque sotterranee (presenza di ioni disciolti: Cl<sup>-</sup>, Cloro; Ca<sup>2+</sup>, Calcio; Mg<sup>2+</sup>, Magnesio; Na<sup>+</sup>, Sodio; K<sup>+</sup>, Potassio).

I dati sono organizzati su differenti livelli temporali, corrispondenti al tipo di fonte da cui sono stati ricavati:

- Anno di costruzione del pozzo (DDCA Report)
- Anno di esecuzione dello studio eseguito dalla JICA (2005).
- Anno corrente (2010, campagna di misurazioni effettuate e studio svolto da Mtoni et al., 2010).

In generale, per ogni pozzo è possibile disporre di dati su uno o più livelli. La totalità dei pozzi utilizzati nell'analisi è rappresentata in Figura 4.2, mentre il database prodotto è mostrato in Allegato 1.

Compatibilmente con la tipologia, la quantità e la qualità di dati disponibili, nella fase di analisi del fenomeno è stato deciso di eseguire 2 principali semplificazioni:

- Considerare gli acquiferi non confinato e semi-confinato (Quaternario) come un unico acquifero.
- Suddividere i dati disponibili secondo intervalli temporali che comprendono più anni.

La ricostruzione della struttura idrogeologica dell'area di studio ha mostrato come nelle fascia prossima alla linea di costa i due acquiferi risultino maggiormente interconnessi dal punto di vista idraulico, a causa della frammentazione dell'acquitardo argilloso in lenti dallo spessore



ridotto. Per tal motivo, unitamente alla limitatezza dei dati relativi all'acquifero semi-confinato, è stato stabilito di considerare i due acquiferi del Quaternario (non-confinato e semi-confinato) come un unico acquifero.

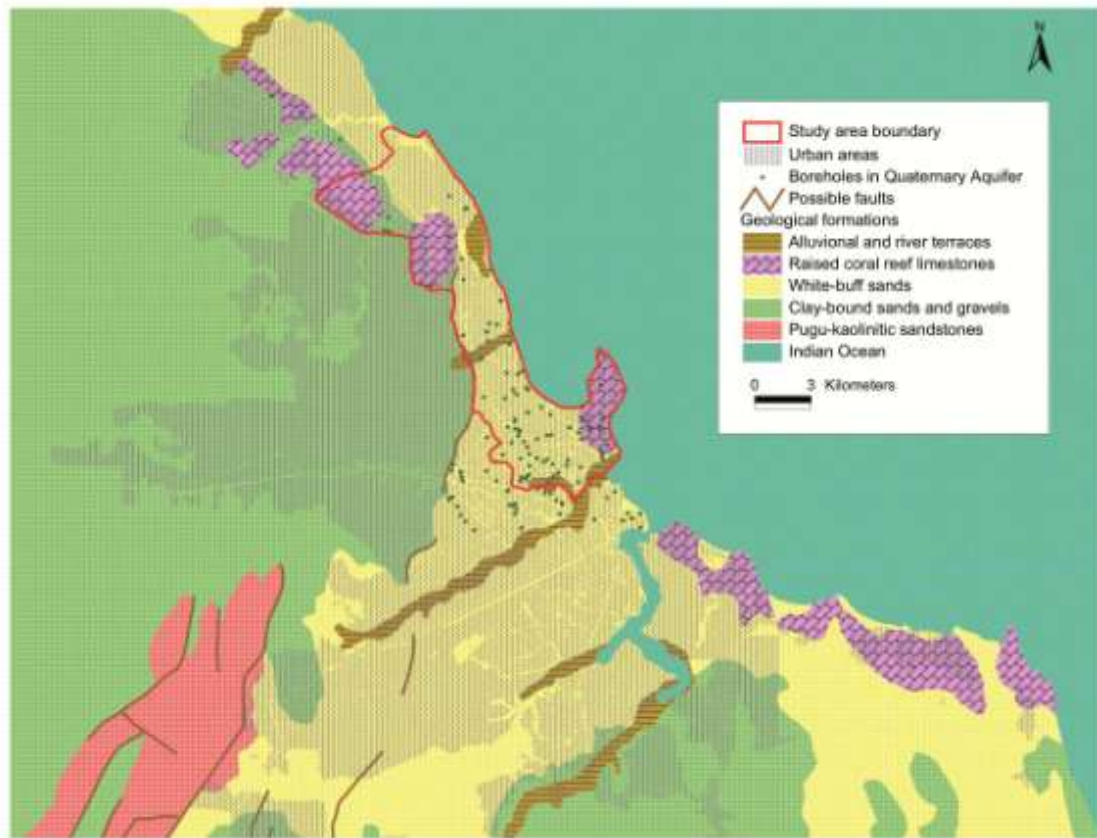


Figura 4.2 Carta geologica con la totalità dei pozzi utilizzati nelle analisi delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero

Per lo studio dell'evoluzione del livello piezometrico e dei valori di conducibilità elettrica è stata operata una suddivisione dei dati secondo 3 intervalli temporali: 1997-2002, 2005, 2006-2010.

Mentre per l'analisi delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee è stata operata una suddivisione dei dati secondo 2 intervalli temporali: 1997-2002, 2003-2008.

Nel primo caso, dato che per l'anno 2005 (anno dello studio eseguito dalla JICA) erano disponibili un numero maggiore di dati, è stato deciso di inserire un intervallo in più, al fine di comprendere in modo più esauriente l'andamento delle curve isofreatiche e di isoconducibilità nel tempo. Mentre nel secondo caso la disponibilità dei dati arrivava sino al 2008.

In particolare, la divisione dei dati secondo intervalli temporali che comprendono più anni (l'analisi rispetto ad un singolo anno sarebbe stata più esaustiva) è stata dettata dai seguenti fattori:

- Scarsità e frammentarietà dei dati disponibili per un singolo anno.  
L'esiguità dei dati disponibili sui singoli pozzi non ha permesso un'analisi su intervalli temporali più ridotti.
- La disomogeneità nella distribuzione dei dati relativi ad un singolo anno.  
Non di rado la distribuzione per anno dei dati relativi ai pozzi analizzati risulta concentrata in determinate zone, non riuscendo così a coprire l'intera area di studio.

- L'approssimazione di alcune misure puntuali.

Relativamente alle misure di SWL: i dati sono stati utilizzati senza applicare una differenziazione tra stagione secca e stagione piovosa (nei report prodotti dal DDCA e nello studio della JICA non sono indicate le date di rilievo). A livello teorico, nei climi sub-tropicali, il carico idraulico potrebbe variare notevolmente tra le differenti stagioni.

Relativamente alle misure di EC e dei parametri chimici dell'acqua: la presenza nei pozzi di filtri su differenti livelli (spesso collegando i due acquiferi sabbiosi), favorisce la miscelatura di acque di differente qualità. Di conseguenza i valori di conducibilità elettrica e dei parametri chimici rilevati rappresentano una approssimazione, in quanto, a livello teorico, potrebbero variare su differenti livelli di profondità in funzione di molteplici fattori, come l'inquinamento puntuale dovuto agli scarichi di origine domestica, agricola o industriale.

Naturalmente, attraverso l'applicazione di tali semplificazioni, non è possibile definire in modo quantitativo e rigoroso l'evoluzione nel tempo del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero, ma soltanto di dedurre a livello qualitativo il possibile andamento (ossia se è effettivamente riscontrabile un aumento nel tempo).

#### 4.1.4.2. Evoluzione del livello piezometrico e dei valori di conducibilità elettrica nel tempo

Per la valutazione dell'evoluzione del livello piezometrico nell'area di studio, è stato ricostruito qualitativamente, attraverso l'interpolazione triangolare dei valori puntali di SWL disponibili (relativi ai pozzi analizzati), l'andamento delle curve isofreatiche per i 3 intervalli temporali stabiliti (1997-2002/2005/2006-2010). I risultati ottenuti sono mostrati nelle Figure 4.3, 4.4, 4.5.

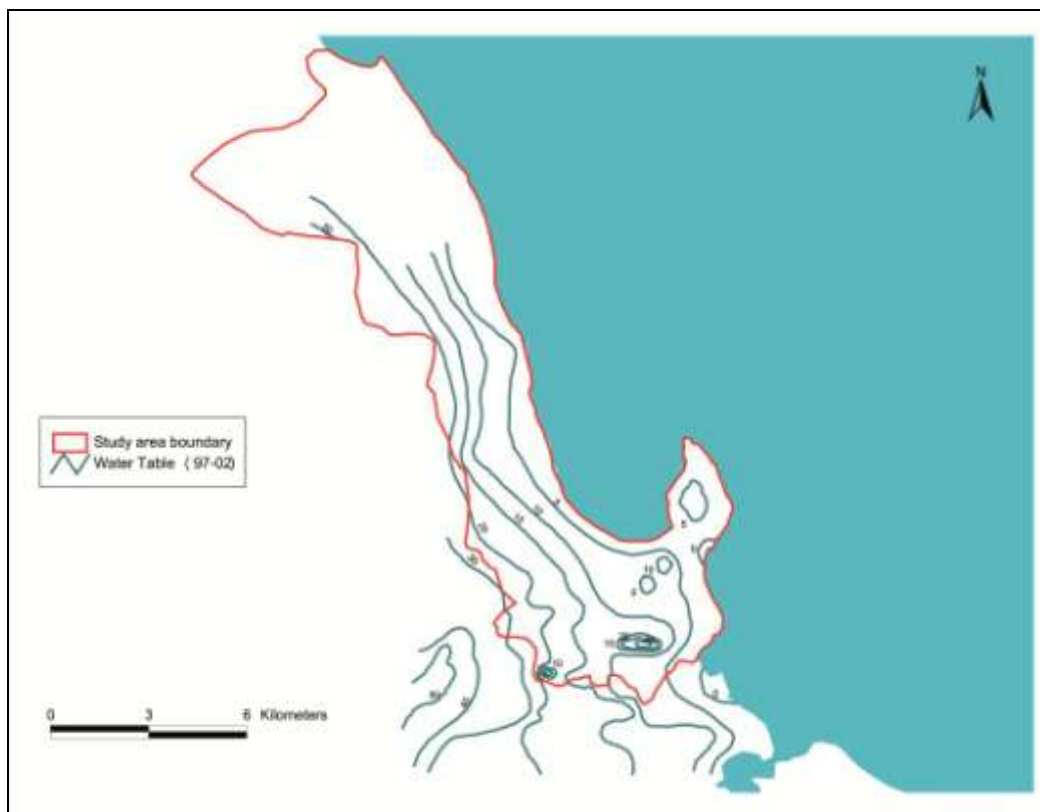


Figura 4.3 Andamento delle curve isofreatiche (1997-2002)

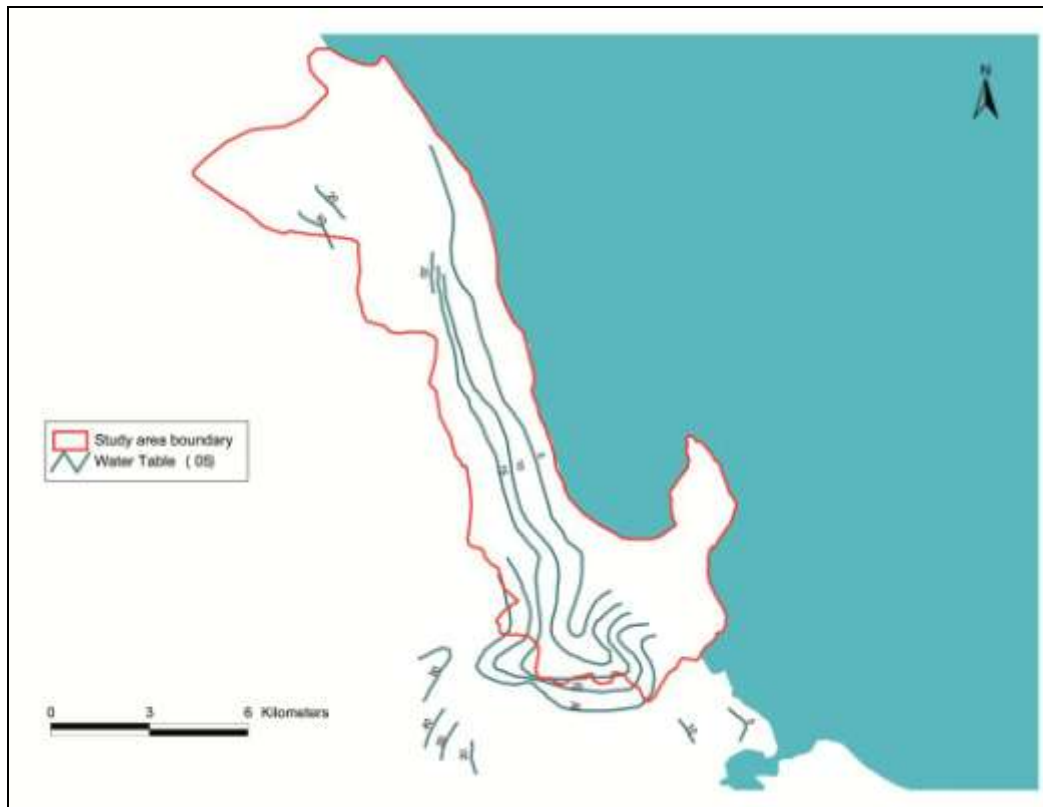


Figura 4.4 Andamento delle curve isofreatiche (2005)

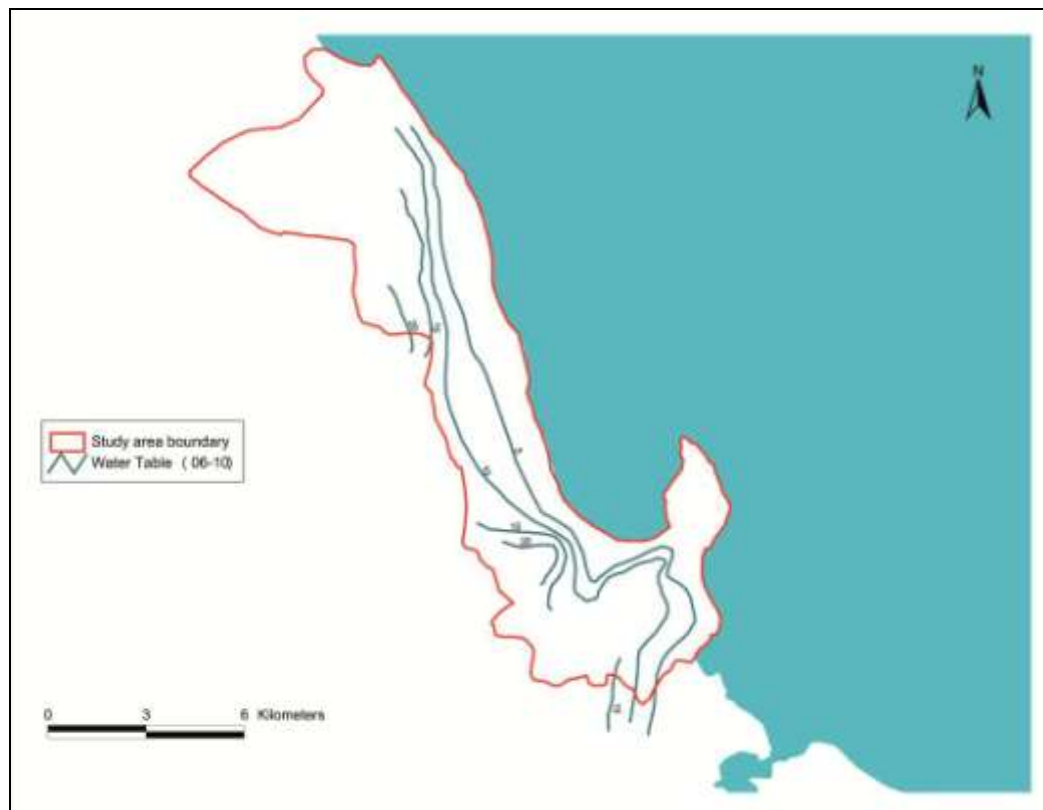


Figura 4.5 Andamento delle curve isofreatiche (2006-2010)

In generale, nell'area di studio il livello statico della falda acquifera varia da 0 m a 20 m al di sotto del piano campagna e, come dedotto dalla disposizione delle superfici piezometriche, la

direzione del flusso dell'acqua sotterranea risulta essere NO-SE, secondo l'inclinazione generale della struttura geologica.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si osserva un abbassamento generale del livello piezometrico distribuito su gran parte dell'area di studio.

Tale abbassamento sembra essere concentrato nelle aree prossime alla linea di costa, corrispondenti agli insediamenti urbani di Kawe e Msasani, dove le curve isofreatiche (5 m; 10 m) mostrano una decisa tendenza all'arretramento verso l'entroterra.

In particolare, essendo tali aree particolarmente popolate, è molto probabile che la diminuzione del livello della superficie freatica sia stata causata proprio dall'eccessivo sfruttamento della risorsa idrica sotterranea da parte degli abitanti.

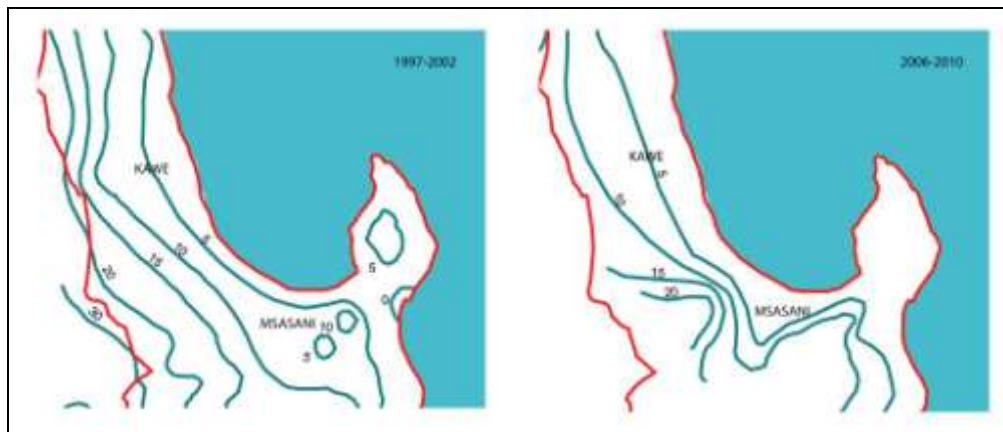


Figura 4.6 Abbassamento del livello piezometrico nelle aree di Kawe e Msasani

Per la valutazione, nell'area di studio, dell'evoluzione della conducibilità elettrica propria dell'acqua sotterranea, è stato ricostruito qualitativamente, attraverso l'interpolazione triangolare dei valori puntali di EC disponibili (relativi ai pozzi analizzati), l'andamento delle curve di isoconducibilità per i 3 intervalli temporali stabiliti (1997-2002/2005/2006-2010).

I valori puntuali di EC dell'acqua sono stati suddivisi seguendo la classificazione della FAO ([www.fao.org](http://www.fao.org)), che stabilisce gli intervalli di conducibilità per cui un'acqua debba considerarsi idonea per l'irrigazione. Secondo tale classificazione, le acque con valori di conducibilità superiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sono da considerarsi non potabili e non idonee per la maggior parte delle colture.

| Water class        | Electrical Conductivity [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] | Type of water                               |
|--------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Non-saline         | 0 - 700                                             | Drinking and irrigation water (fresh water) |
| Slightly saline    | 700 - 2000                                          | Irrigation water (fresh water)              |
| Moderately saline  | 2000 - 10000                                        | Brackish                                    |
| Highly saline      | 10000 - 25000                                       | Saline water                                |
| Very highly saline | 25000 - 50000                                       | Seawater                                    |
| Very highly saline | > 50000                                             | Brine (Seawater)                            |

Tabella 4.3 Classificazione dell'acqua in funzione del valore di conducibilità elettrica (FAO, [www.fao.org](http://www.fao.org))

Nelle Figure 4.7, 4.8 e 4.9 sono rappresentate le curve di isoconducibilità ricavate per i differenti intervalli temporali, associate ai valori puntuali di conducibilità elettrica relativi ai pozzi

analizzati, suddivisi secondo la classificazione della FAO ([www.fao.org](http://www.fao.org)). La diminuzione dei valori di conducibilità elettrica dall'oceano verso la costa può essere indice di presenza di contaminazione marina.

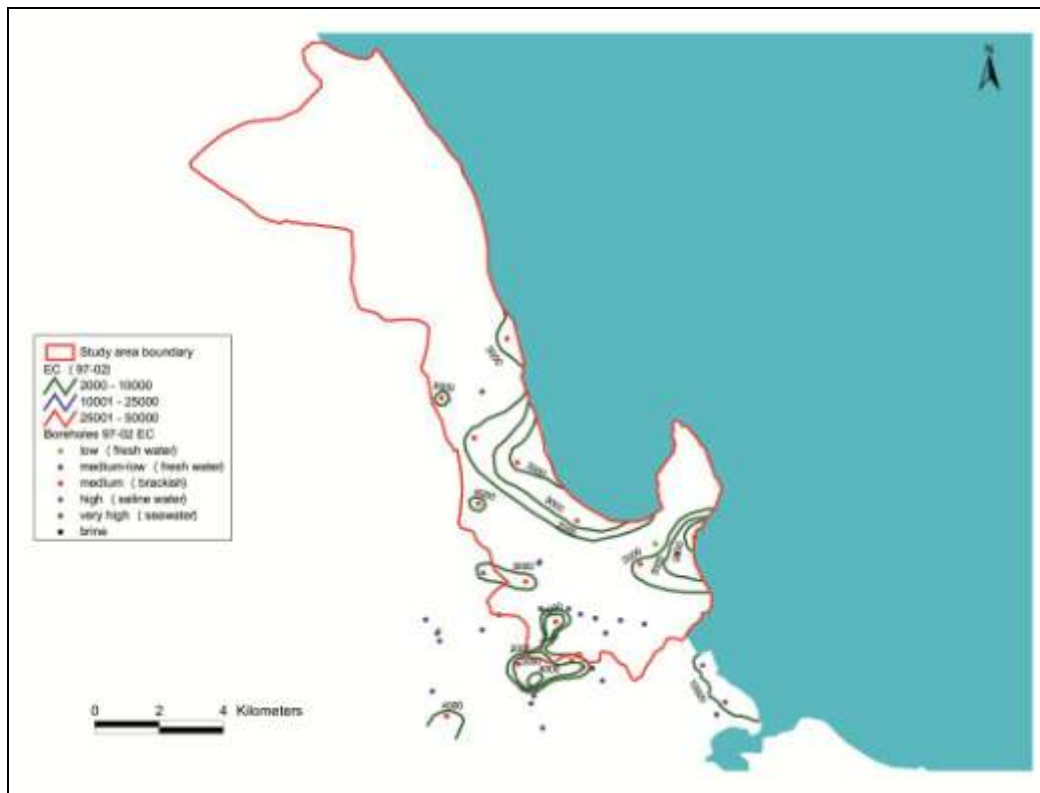


Figura 4.7 Andamento delle curve di isoconducibilità (1997-2002)

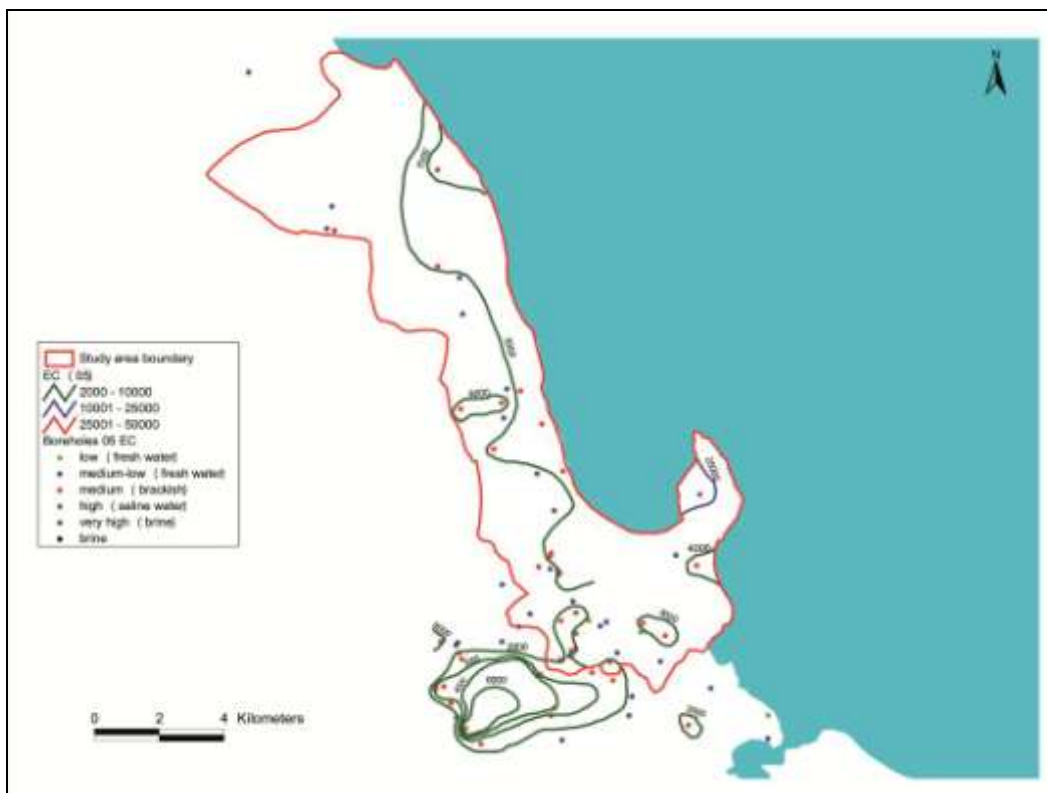


Figura 4.8 Andamento delle curve di isoconducibilità (2005)



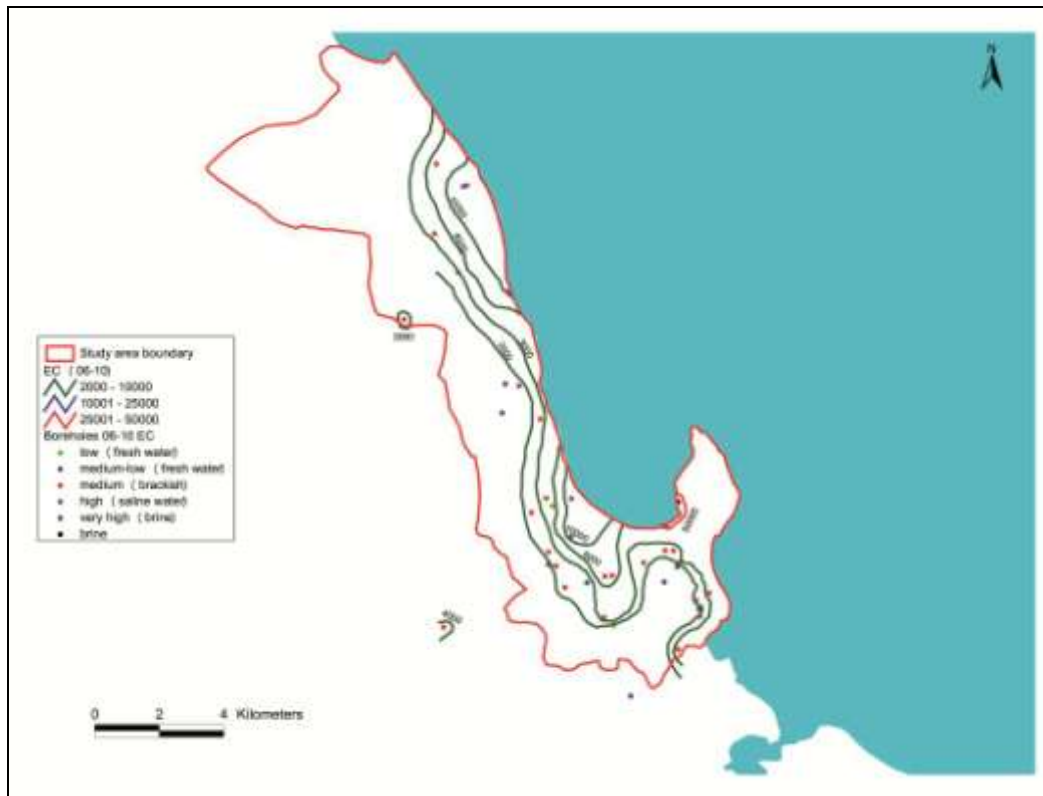


Figura 4.9 Andamento delle curve di isoconducibilità (2006-2010)

Dal confronto delle curve di isoconducibilità corrispondenti al primo ed al terzo intervallo temporale è possibile notare un aumento dei valori di conducibilità elettrica nelle aree di Mikocheni e Msasani.

In tali aree i dati relativi al secondo intervallo temporale risultano scarsi, perciò, per il suddetto intervallo, non è stato possibile ricostruire la distribuzione spaziale della conducibilità elettrica.

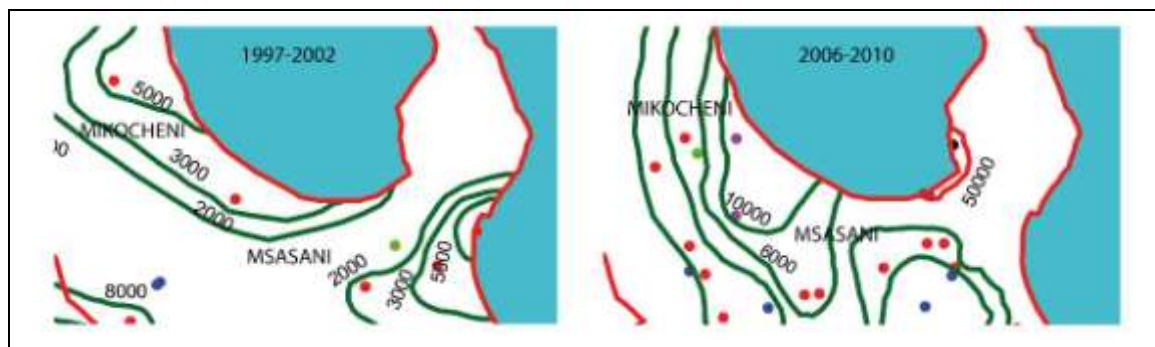


Figura 4.10 Aumento dei valori conducibilità elettrica nelle aree di Mikocheni e Msasani

Dal confronto delle curve di isoconducibilità corrispondenti al primo ed al secondo intervallo temporale è possibile notare un aumento dei valori di conducibilità elettrica nell'area di Manzese e Mwananyamala.

In tale area, i dati relativi al terzo intervallo temporale risultano scarsi, perciò, per il suddetto intervallo, non è stato possibile ricostruire la distribuzione spaziale della conducibilità elettrica.



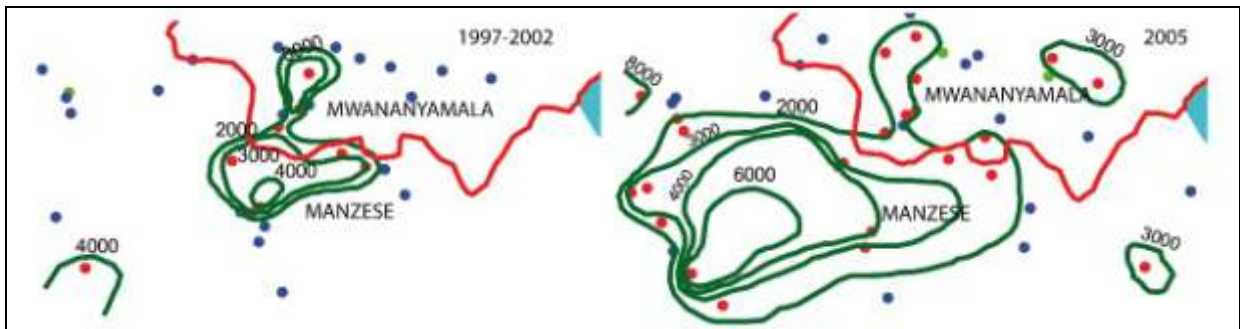


Figura 4.13 Aumento dei valori conducibilità elettrica nelle aree di Manzeze e Mwananyamala

Dal confronto delle curve di isoconducibilità corrispondenti al primo ed al secondo intervallo temporale è possibile notare un aumento dei valori di conducibilità elettrica nell'area di Kawe.

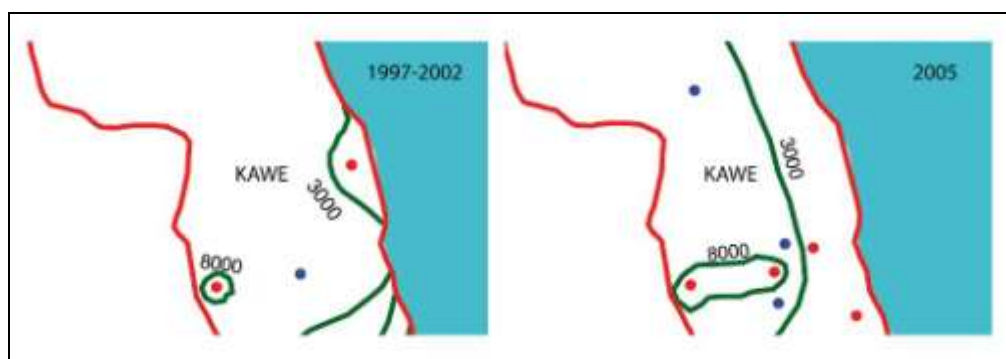


Figura 4.11 Aumento dei valori conducibilità elettrica nell'area di Kawe

Dal confronto delle curve di isoconducibilità corrispondenti al secondo ed al terzo intervallo temporale è possibile notare un aumento dei valori di conducibilità elettrica nell'area di Kunduchi.

In tale area, i dati relativi al primo intervallo temporale risultano scarsi, perciò, per il suddetto intervallo, non è stato possibile ricostruire la distribuzione spaziale della conducibilità elettrica.

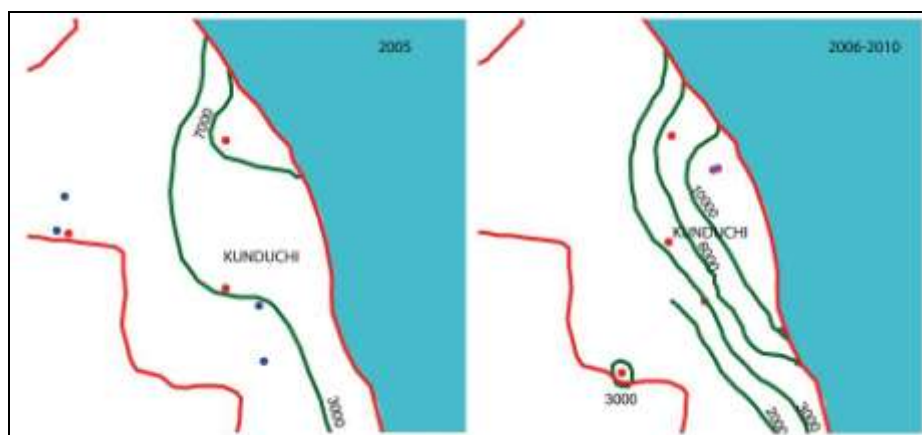


Figura 4.12 Aumento dei valori conducibilità elettrica nell'area di Kunduchi

In generale, la ricostruzione delle curve di isoconducibilità è da considerarsi approssimativa, proprio per il fatto che spesso i dati per i diversi intervalli temporali sono scarsi e non equamente distribuiti su tutta l'area di studio.

Di conseguenza è interessante andare a monitorare l'evoluzione dei valori puntuali nel tempo, per quei pozzi dei quali si dispone di misurazioni su differenti anni (pozzi campione).

Le Figure 4.14, 4.15 e 4.16 mostrano la localizzazione e le variazioni puntuali dei valori di conducibilità elettrica e del livello piezometrico relativi a 25 pozzi campione, divisi per sottoaree (blu = Kunduchi, verde = Kawe, rosso = Msasani/Oysterbay, viola = Mikocheni/Mwananyamala).

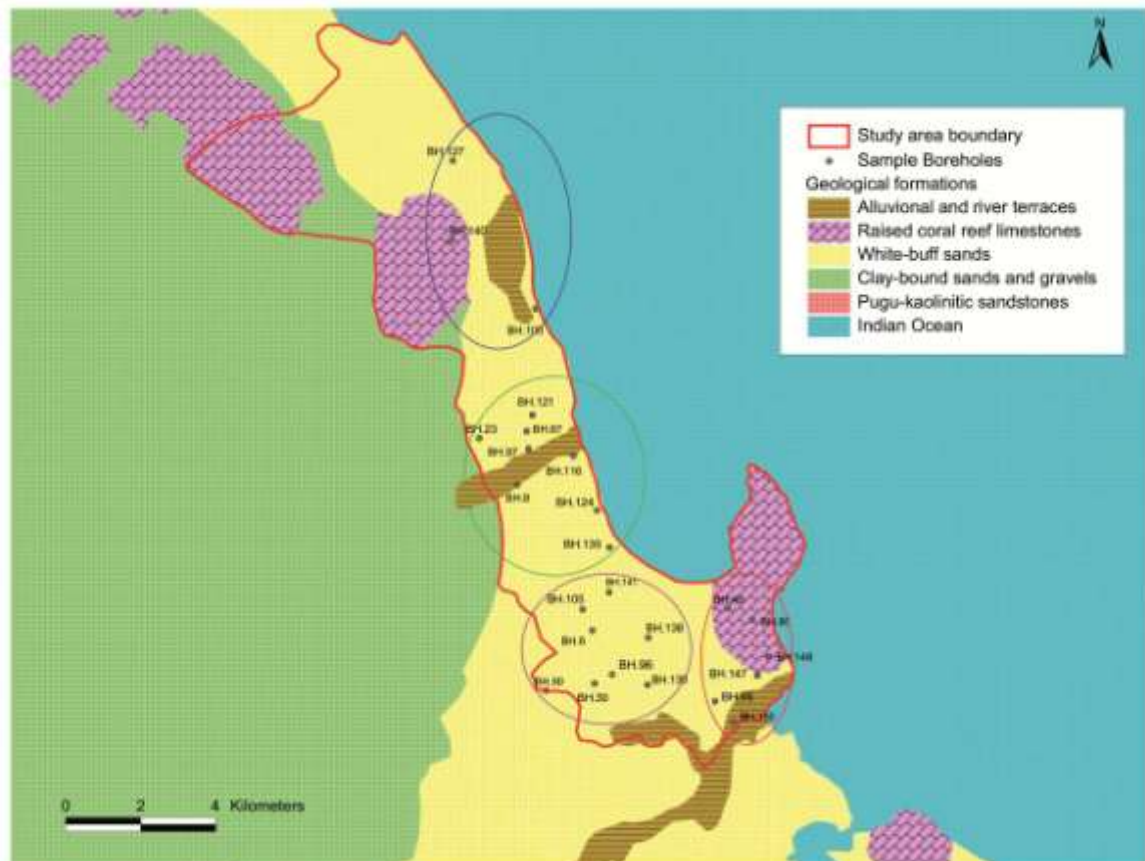


Figura 4.14 Localizzazione dei 25 pozzi campione

L'aumento del valore puntuale di conducibilità elettrica sembra essere un trend diffuso per la maggioranza dei pozzi appartenenti a tutte le sottoaree considerate.

In generale, per il singolo pozzo, il valore di conducibilità finale (corrispondente all'ultimo anno di cui sono disponibili misure) risulta quasi sempre superiore a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indice di presenza di acque salmastre. In particolare, nelle aree di Kawe, Kunduchi e Mikocheni i livelli di conducibilità risultano particolarmente elevati, in alcuni casi (B.H. 141, B.H. 100, B.H. 135) arrivando sino a valori superiori a 10000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  per l'anno corrente.

Per quanto riguarda l'evoluzione puntuale livello piezometrico, la scarsità di dati disponibili (relativi a diversi anni) per singolo pozzo non permette l'individuazione di un trend specifico, anche se nella maggioranza dei casi il livello piezometrico decresce. In particolare, nelle aree di Kawe e Msasani è possibile rilevare una diminuzione del livello piezometrico della falda acquifera, associato ad un aumento della conducibilità elettrica dell'acqua.

Tale comportamento potrebbe essere determinato proprio dalla risalita del cuneo salino, a causa dell'eccessivo sfruttamento dell'acquifero.

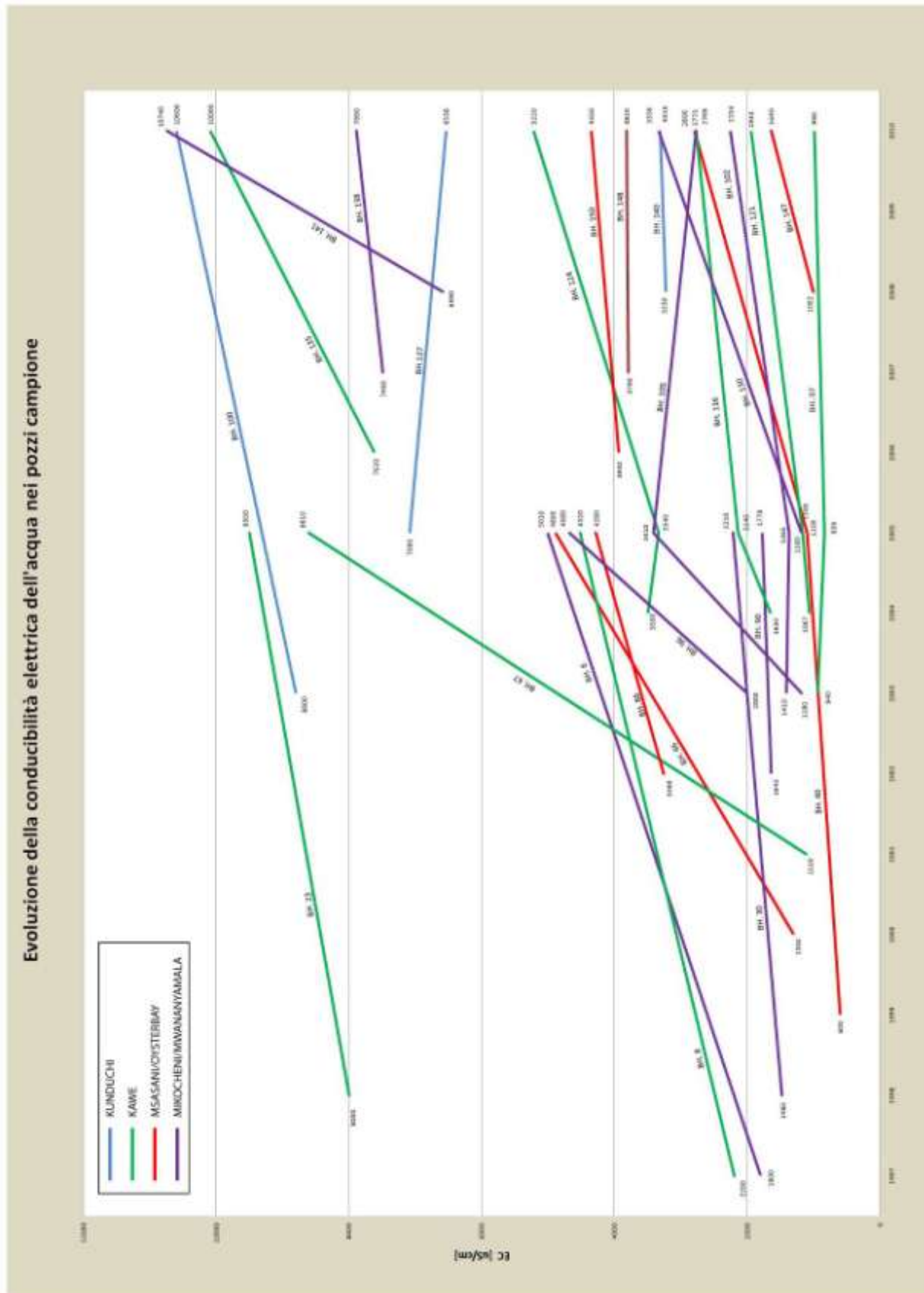


Figura 4.15 Evoluzione nel tempo dei valori di EC relativi a 26 pozzi campione

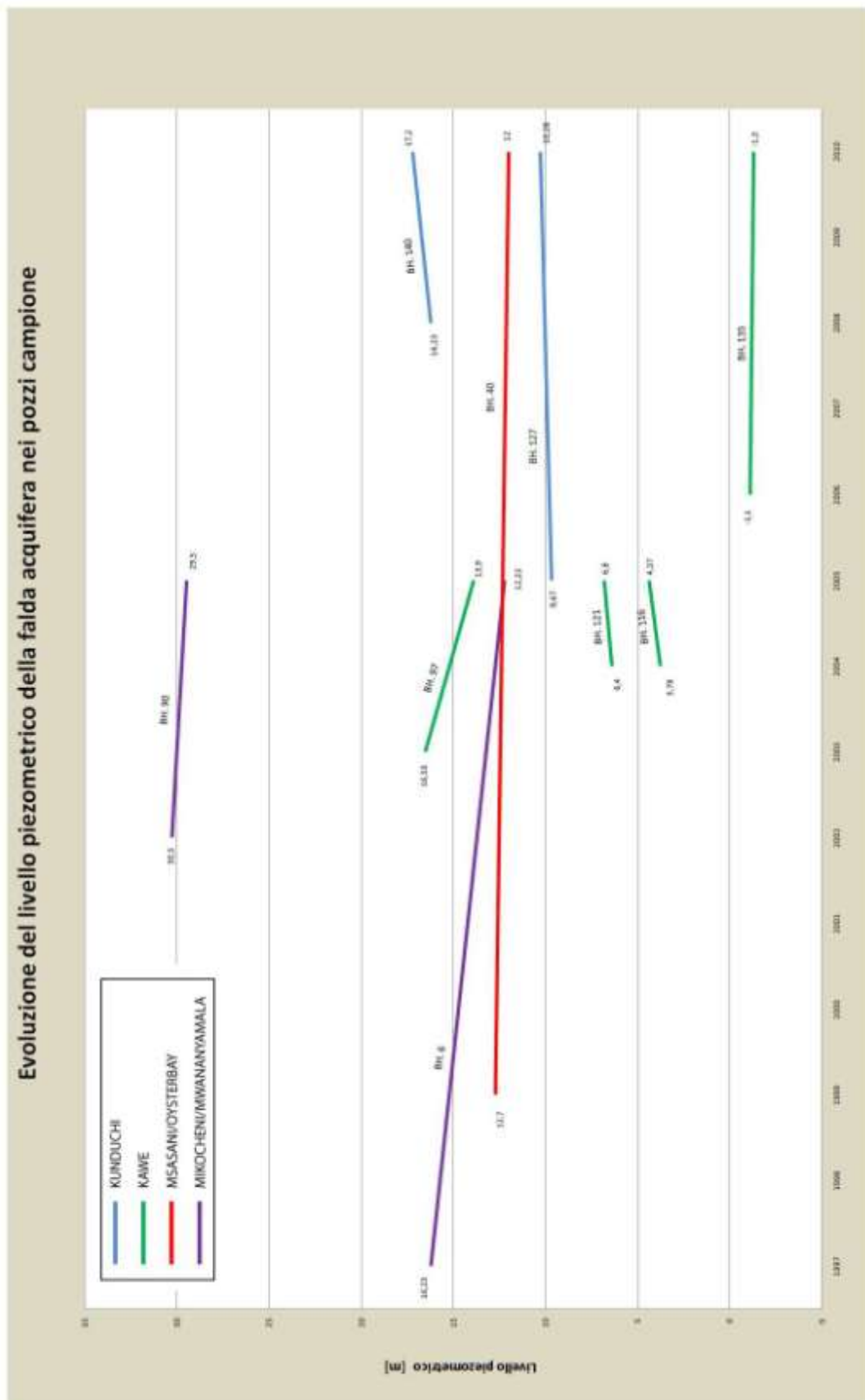


Figura 4. 16 Evoluzione nel tempo del livello piezometrico relativo a 9 pozzi campione

#### 4.1.4.3. Analisi delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee e ricostruzione della superficie di interfaccia acqua dolce/salata

In generale, come detto precedentemente, non è certo che gli alti valori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee siano correlati solamente al fenomeno di intrusione marina, ma potrebbero essere causati anche dalla presenza eccessiva di sali, provenienti da fonti di inquinamento di tipo antropico (reflui domestici, scarichi industriali, fertilizzanti e pesticidi agricoli), come nitrati, fosfati e solfati.

A tal proposito, per stabilire quali pozzi manifestino effettivamente segni di intrusione marina, e per definire una possibile evoluzione nel tempo del fenomeno, sono state analizzati i parametri chimici delle acque relativi ai pozzi disponibili nell'area di studio, secondo i 2 intervalli di tempo stabiliti (1997-2002/2003-2008).

L'area di studio è stata suddivisa in 2 sottozone (sud e nord), in modo da facilitare la lettura dei risultati ottenuti.

In particolare, per l'intervallo temporale 1997-2002, il Gruppo Viola corrisponde alla zona sud dell'area di studio (Mikocheni, Msasani, Oysterbay, Mwanyamala, Kinondoni, Sinza, Manzese), mentre il Gruppo Blu alla zona nord (Kunduchi, Mbezi Beach, Kawe).

Per l'intervallo temporale 2003-2008, il Gruppo Rosso corrisponde alla zona sud dell'area di studio (Mikocheni, Msasani, Oysterbay, Mwanyamala, Kinondoni, Sinza, Manzese), mentre il Gruppo Verde alla zona nord (Kunduchi, Mbezi Beach, Kawe).

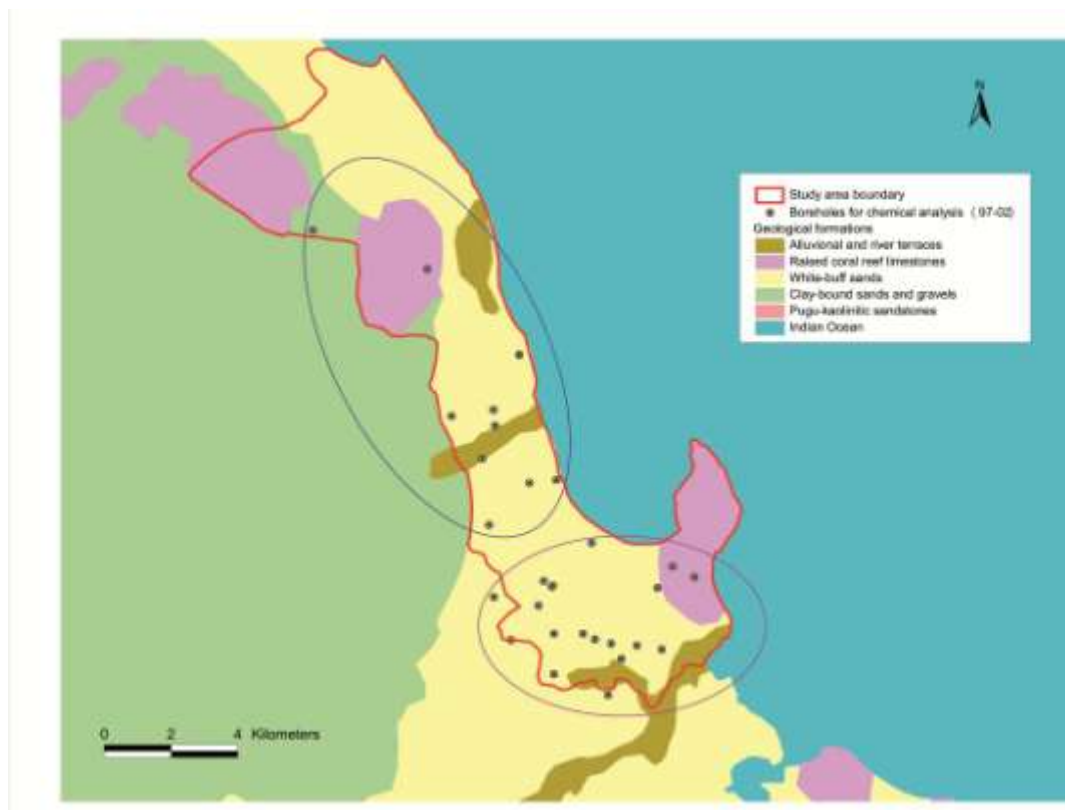


Figura 4.17 Gruppo Blu e Gruppo Viola (1997-2002)



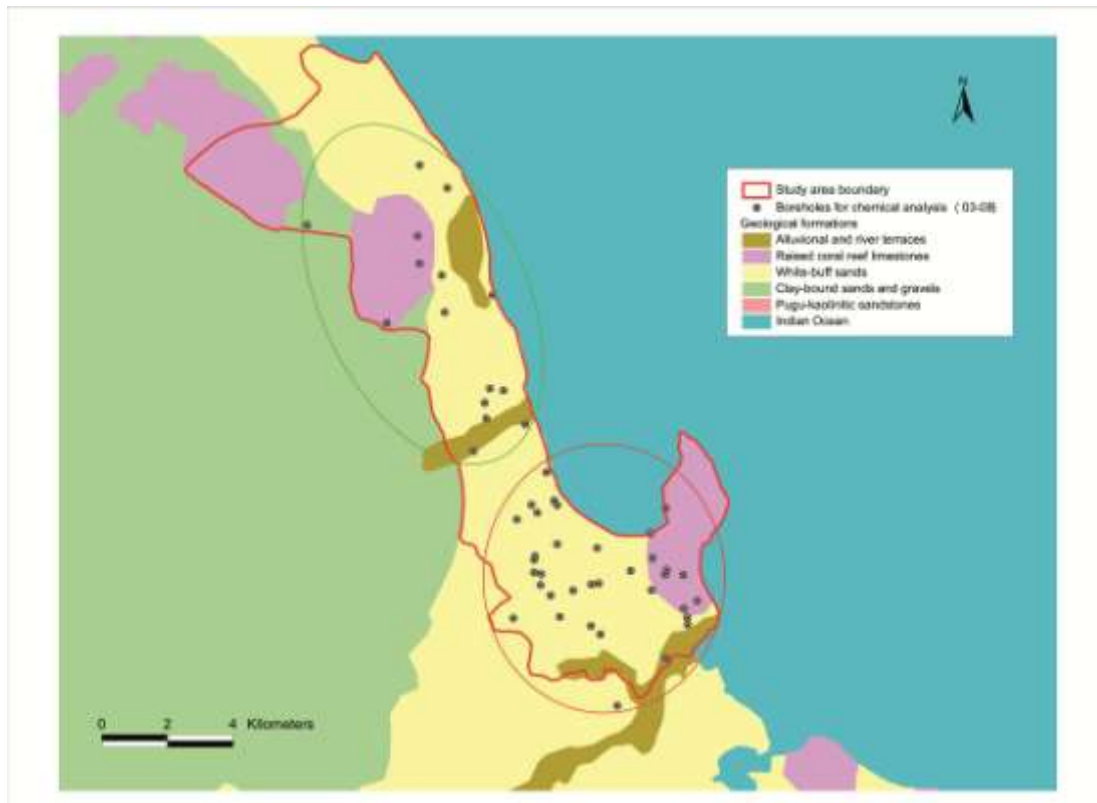


Figura 4.18 Gruppo Verde e Gruppo Rosso (2003-2008)

Per ogni intervallo temporale sono state suddivise le acque in funzione del tenore di cloruri ( $\text{Cl}^-$ ), secondo la classificazione di Celico (1986). Successivamente si è messa in relazione la concentrazione di  $\text{Cl}^-$  con la distanza dalla linea di costa dei diversi punti d'acqua.

| Tipo di acqua   | Tenori di $\text{Cl}^-$ [mg/l] |
|-----------------|--------------------------------|
| Acque dolci     | < 100                          |
| Acque salmastre | 100 ÷ 1000                     |
| Acque Saline    | > 1000                         |

Tabella 4.4 Classificazione delle acque in base al contenuto di cloruri (Celico, 1986)

La stessa procedura è stata eseguita rispetto ai valori dei Solidi Totali Disciolti (TDS), disponibili solamente per l'intervallo temporale 2003-2008. La classificazione delle acque rispetto al valore di TDS è espresso in Tabella 4.5.

| Tipo di acqua              | TDS [mg/l]    |
|----------------------------|---------------|
| Acque dolci                | 0 – 1000      |
| Acque salmastre            | 1000 – 5000   |
| Acque moderatamente saline | 5000 – 10000  |
| Acque intensamente saline  | 10000 – 30000 |
| Acqua marina               | > 30000       |

Tabella 4.5 Classificazione delle acque in base al valore di TDS (Celico, 1986)

I risultati dell'indagine, divisi per sottogruppi spaziali ed intervalli temporali sono mostrati nelle Figure 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 e 4.24.



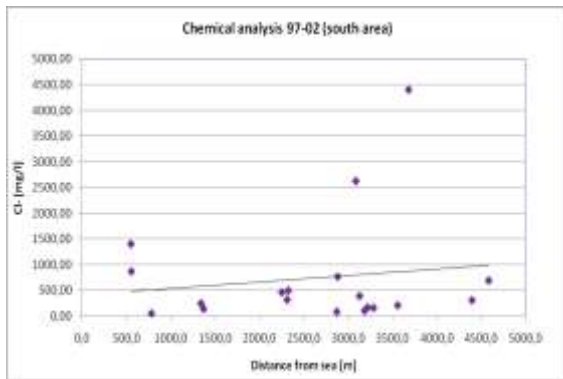


Figura 4.19 Concentrazione di cloruri rispetto alla distanza dalla linea di costa per i differenti punti d'acqua (1997-2002, Gruppo Viola)

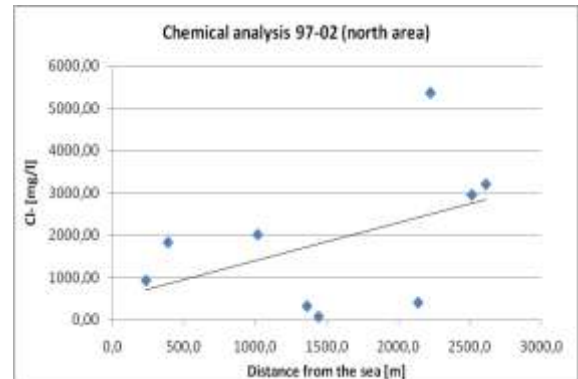


Figura 4.20 Concentrazione di cloruri rispetto alla distanza dalla linea di costa per i differenti punti d'acqua (1997-2002, Gruppo Blu)

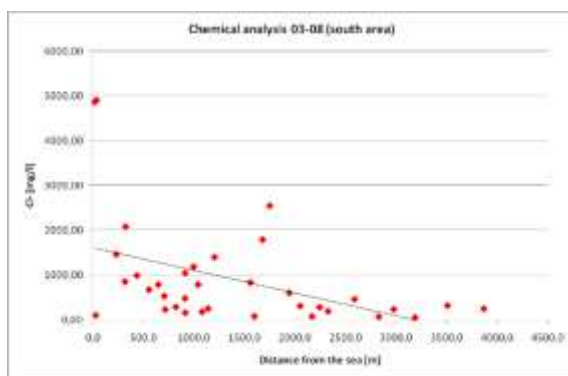


Figura 4.21 Concentrazione di cloruri rispetto alla distanza dalla linea di costa per i differenti punti d'acqua (2003-2008, Gruppo Rosso)

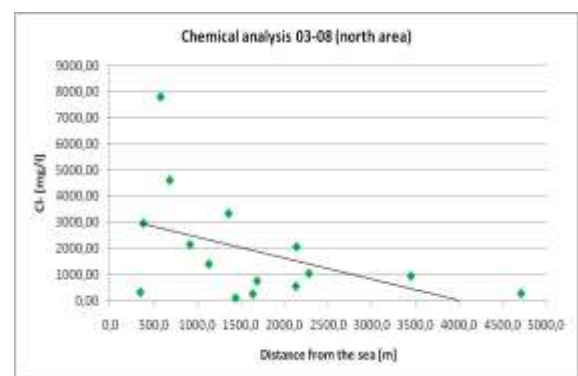


Figura 4.22 Concentrazione di cloruri rispetto alla distanza dalla linea di costa per i differenti punti d'acqua (2003-2008, Gruppo Verde)

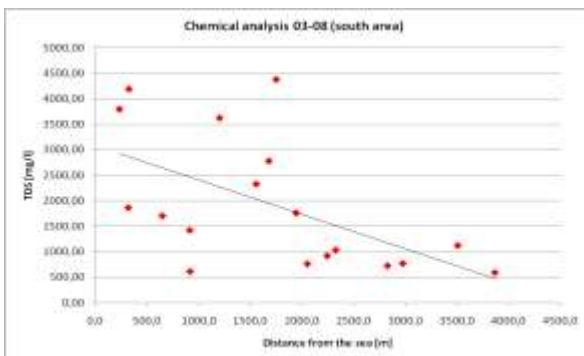


Figura 4.23 Concentrazione di TDS rispetto alla distanza dalla linea di costa per i differenti punti d'acqua (2003-2008, Gruppo Rosso)

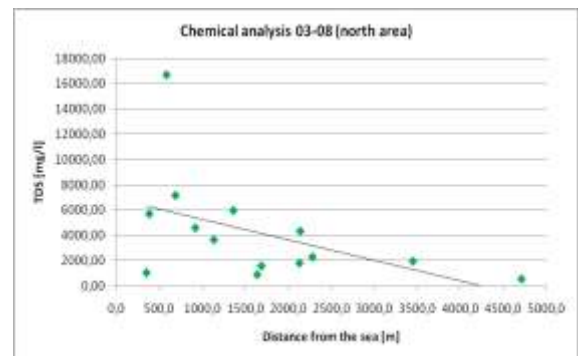


Figura 4.24 Concentrazione di TDS rispetto alla distanza dalla linea di costa per i differenti punti d'acqua (2003-2008, Gruppo Verde)

I tenori di  $\text{Cl}^-$  per i 2 gruppi (viola e blu) del primo intervallo temporale (1997-2002) sono per gran parte dei casi tali da classificare le acque come dolci o salmastre ed in un numero ridotto di casi (soprattutto nel gruppo blu) come saline. Ciononostante, tra le concentrazioni di  $\text{Cl}^-$  e la distanza dalla costa dei punti d'acqua, non risulta nessuna evidente relazione che possa indicare presenza di fenomeni di penetrazione nell'acquifero di acqua marina. In tal caso, la retta di regressione dovrebbe decrescere dalla costa verso l'entroterra, mentre, in questi 2 gruppi l'andamento della retta di regressione risulta essere opposto.

Ad ogni modo la scarsità e la dispersione dei dati rispetto alla retta di regressione non rendono troppo affidabile questo tipo di indagine per il primo intervallo temporale.

I tenori di  $\text{Cl}^-$  per i 2 gruppi (rosso e verde) del secondo intervallo temporale (2003-2008) sono per gran parte dei casi tali da classificare le acque come salmastre, ma in un numero abbastanza elevato di casi come saline.

Tra le concentrazioni di  $\text{Cl}^-$  e la distanza dalla costa dei punti d'acqua, sembra esserci una evidente relazione che possa indicare una possibile presenza di fenomeni di penetrazione nell'acquifero di acqua marina.

Infatti le rette di regressione individuate per entrambi i gruppi decrescono dalla costa verso l'entroterra ed i valori non risultano eccessivamente dispersi.

Inoltre, lo stesso comportamento dei punti d'acqua può essere osservato nel caso dei TDS, dove si nota un aumento della concentrazione con il diminuire della distanza dalla costa, anche se, in questo caso, soprattutto all'interno del gruppo rosso, i valori tendono a disperdersi maggiormente rispetto alla retta di regressione.

La caratterizzazione della tipologia e della concentrazione relativa degli ioni presenti nelle acque dei pozzi analizzati consente di stabilire quale pozzo manifesti segni di intrusione di acqua marina, ossia i punti d'acqua dove l'alto valore di salinità è probabilmente correlato alla penetrazione di acqua marina nell'acquifero. A tal proposito, per un singolo pozzo, sono state analizzate le concentrazioni degli ioni calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) e potassio ( $\text{K}^+$ ), rispetto al tenore di cloruri ( $\text{Cl}^-$ ) (grado di correlazione tra i principali ioni).

Il comportamento dei punti individuati nei piani [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ], [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ], [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ], [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ], rispetto alla linea di tendenza acqua dolce/acqua salata, fornisce informazioni riguardo alla presenza di acqua marina nel pozzo. In particolare, se il singolo punto si posiziona superiormente alla linea di tendenza per i piani [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ], [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ], ed inferiormente per i piani [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ], [ $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ], il relativo pozzo è affetto probabilmente da contaminazione marina.

La linea di tendenza acqua dolce-acqua salata è stata determinata, in funzione dei parametri chimici propri di un campione di acqua dell'Oceano Indiano e di un campione di acqua dolce (con conducibilità molto bassa), corrispondente ad un pozzo locato all'interno dell'area di studio (B.H. 97). In Tabella 4.6 sono rappresentate le caratteristiche chimiche dei campioni utilizzati per la costruzione della linea di tendenza.

| Campione d'acqua | $\text{Cl}^-$ [mg/l] | $\text{Ca}^{2+}$ [mg/l] | $\text{Mg}^{2+}$ [mg/l] | $\text{Na}^+$ [mg/l] | $\text{K}^+$ [mg/l] |
|------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| Acqua dolce      | 101,00               | 38,70                   | 20,73                   | 106,81               | 19,84               |
| Acqua salata     | 4911,00              | 138,64                  | 233,45                  | 2333,31              | 770,30              |

Tabella 4.6 Caratteristiche chimiche dei campioni utilizzati per la costruzione della linea di tendenza

L'analisi è stata eseguita per i differenti gruppi spaziali ed intervalli temporali. Il grado di correlazione tra i principali elementi (disposizioni dei punti d'acqua rispetto ai differenti piani) è rappresentato nei grafici inseriti nell'Allegato 1.

Di seguito, nella Figura 4.25, viene mostrato un esempio di 4 pozzi, in cui l'analisi del grado di correlazione dei parametri chimici ha mostrato presenza di contaminazione marina (B.H. 135 cerchiato in viola; B.H. 136 cerchiato in blu; B.H. 141 cerchiato in giallo; B.H. 157 cerchiato in verde - Gruppo Rosso, 2002-2008). Mentre le Figure 4.26 e 4.27, relative ai 2 intervalli temporali stabiliti, mostrano i risultati completi ottenuti dall'analisi dei parametri chimici. I

pozzi, all'interno dell'area di studio, in cui le analisi incrociate (tipologia e concentrazione relativa degli ioni presenti nelle acque) rivelano possibili segni di contaminazione marina sono evidenziati in rosso.

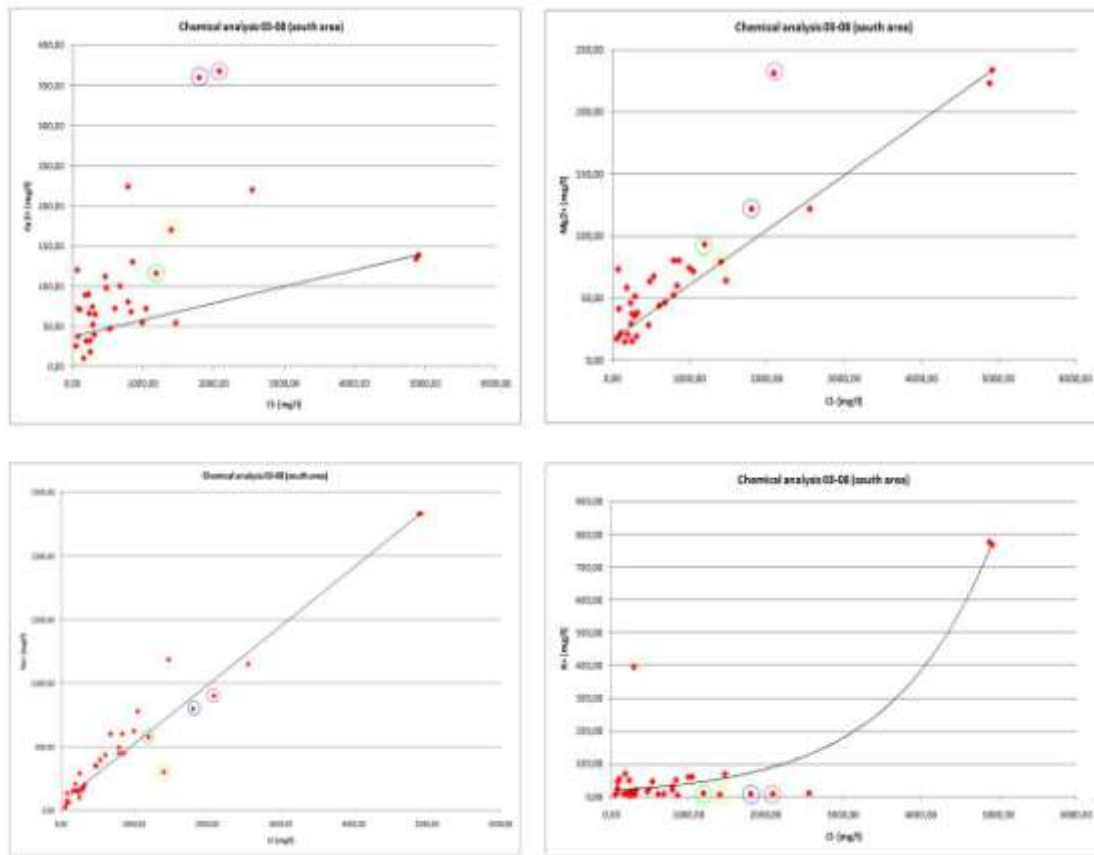


Figura 4.25 Gruppo Rosso, 2002-2008 - Grado di correlazione tra i principali parametri chimici. A titolo di esempio sono stati evidenziati 4 pozzi che mostrano segni di contaminazione marina

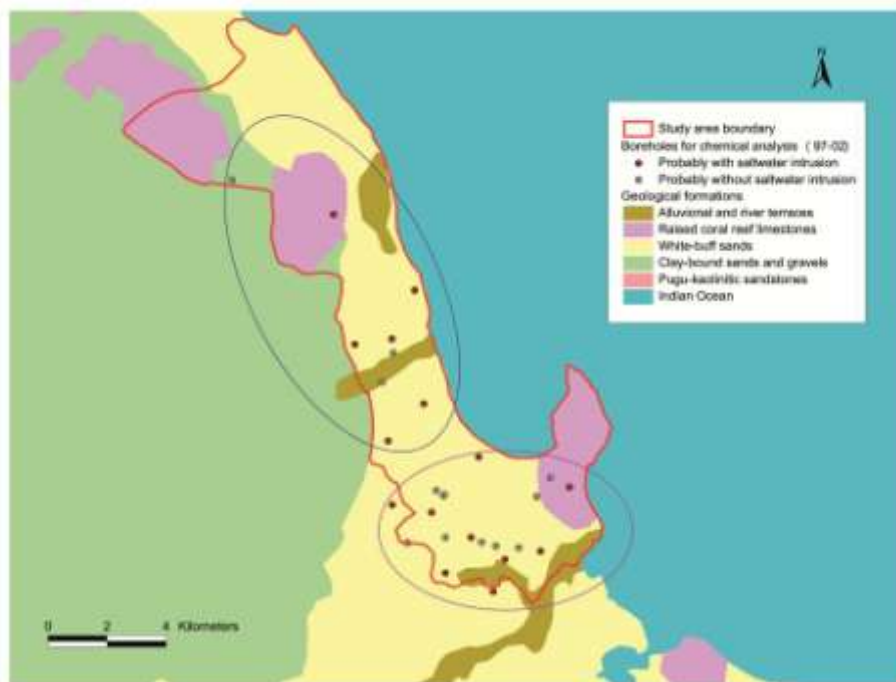


Figura 4.26 Pozzi che con presenza di acqua marina (evidenziati in rosso) – Gruppo Blu e Gruppo Viola, 1997-2002

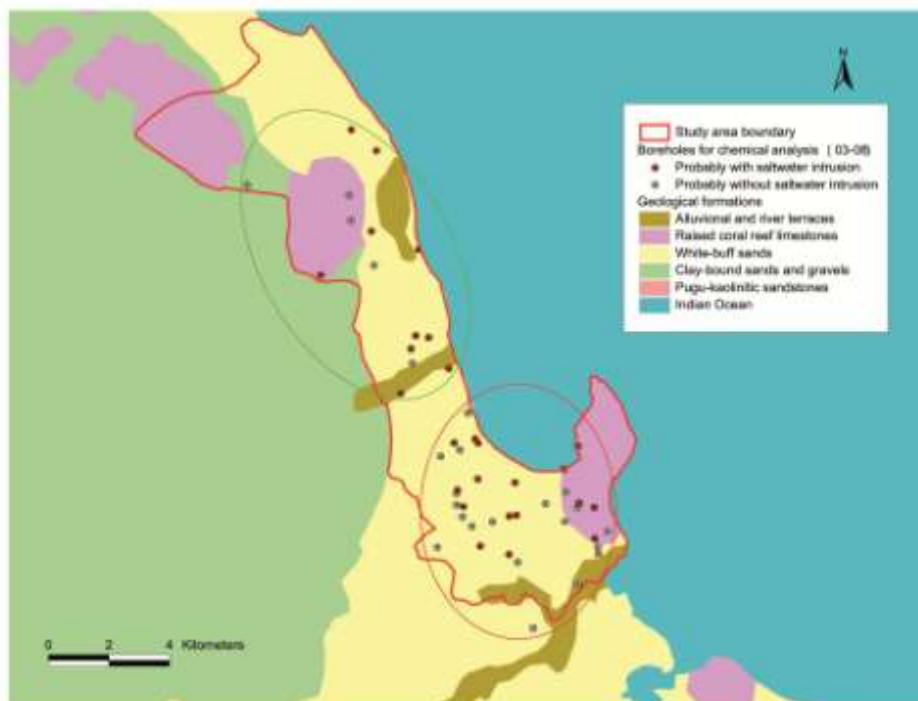


Figura 4.27 Pozzi che con presenza di acqua marina (evidenziati in rosso) – Gruppo Verde e Gruppo Rosso, 2003-2008

In generale, come detto precedentemente, la caratterizzazione dell'estensione (in profondità) della contaminazione salina nell'acquifero (localizzazione della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata) si esegue attraverso indagini termo-conduttimetriche ed indagini geoelettriche, previa conoscenza della struttura litologica dell'acquifero.

Nell'ambito di questo lavoro non è stato possibile eseguire approfonditamente tali tipologie di indagine.

Infatti, come detto in precedenza, nella campagna di misurazioni sul campo sono stati ricavati, con la sonda multiparametrica, i profili termo-conduttimetrici di solo 6 pozzi.

Mentre da studi realizzati sull'argomento (Mtoni et al., 2010) sono stati ricavati i VES relativi a 7 pozzi.

I punti d'acqua dove sono stati eseguiti i rilievi termoconduttimetrici, e dove risultano disponibili informazioni sulle caratteristiche geofisiche, ottenute dai Sondaggi Elettrici Verticali, sono mostrati in Figura 4.28.

Mentre nelle Figure 4.29 e 4.30, viene mostrato, a titolo di esempio, il profilo di temperatura ed il profilo di conducibilità relativo ad un pozzo analizzato (B.H. 135). I profili termo-conduttimetrici relativi a tutti i pozzi analizzati sono riportati nell'Allegato 1.

Dall'analisi del profilo termo-conduttimetrico è possibile rilevare come la temperatura diminuisca con la profondità, senza presentare comunque variazioni significative, mentre la conducibilità elettrica aumenti con la profondità, subendo una variazione molto ampia tra 6,80 m e 11,30 m di profondità (da 3317  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 10020  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), per poi mantenersi su valori elevati costanti.

La zona dove avviene il "salto" di conducibilità identifica lo spessore della zona di miscelamento tra acqua dolce ed acqua salata, all'interno del quale si può localizzare la superficie di interfaccia che separa i due corpi idrici.

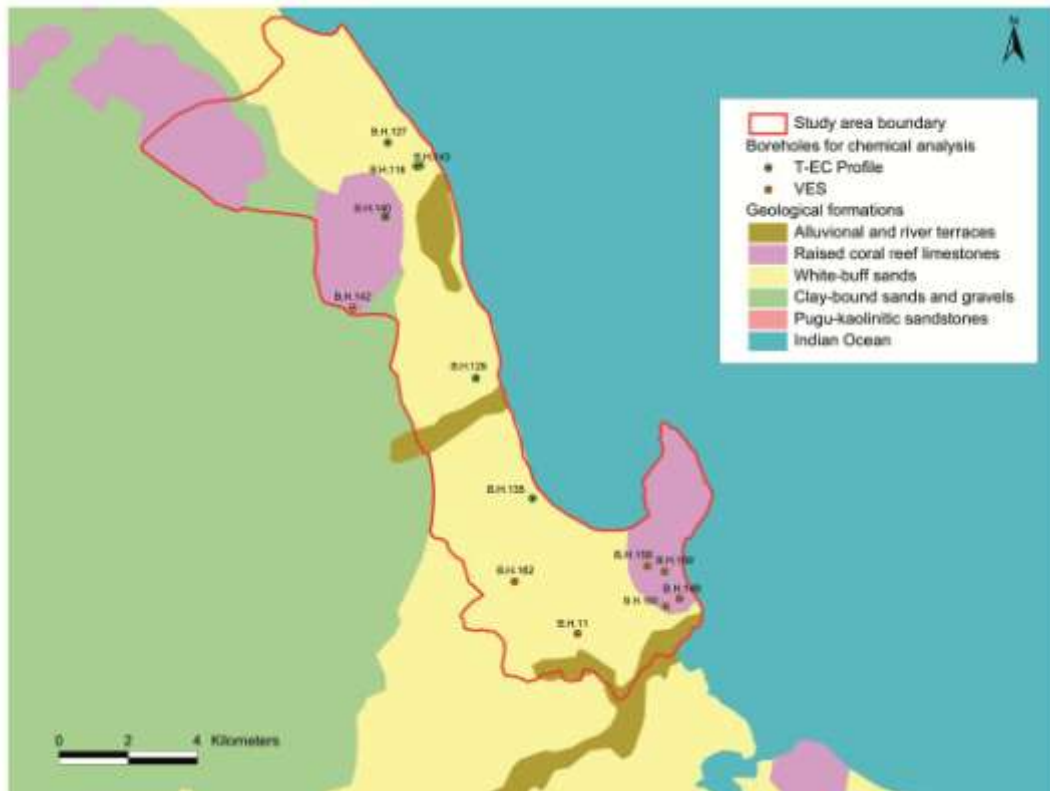


Figura 4.28 Localizzazione dei punti d'acqua rispetto ai quali sono state eseguiti rilievi termo-conduttimetrici, o si dispone di informazioni sulle caratteristiche geofisiche, ottenute dai VES

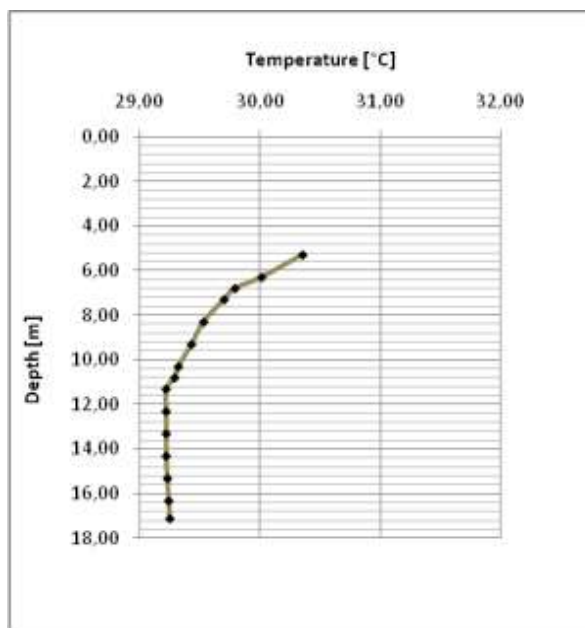


Figura 4.29 Profilo di temperatura (B.H. 135)

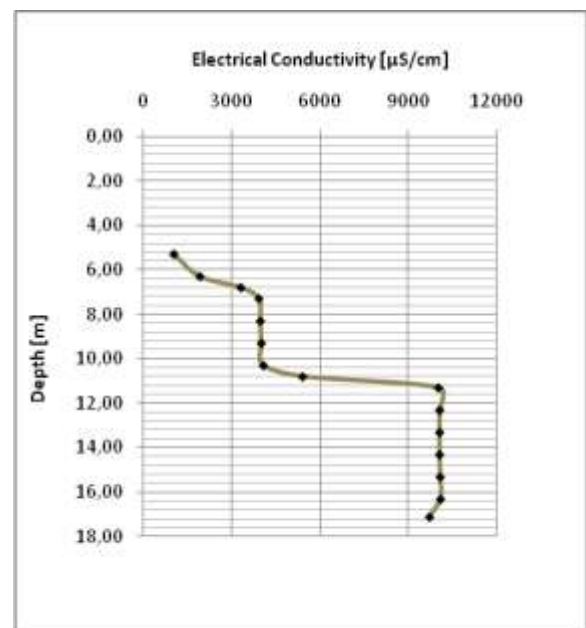


Figura 4.30 Profilo di conducibilità elettrica (B.H. 135)

Le curve di resistività di 2 differenti pozzi (B.H. 160, B.H. 162), con le relative interpretazioni elettrostratigrafiche, sono mostrate nelle Figure 4.31, e 4.32. L'interpretazione delle curve di resistività ricostruite dai VES disponibili indica, per quasi tutti i pozzi, la presenza nel sottosuolo di 3 strati geoelettrici, facilmente distinguibili in funzione dei differenti valori di resistività.

Gli strati superiori sono generalmente caratterizzati da alti valori di resistività. Ciò indica la presenza di sabbia asciutta con contenuto variabile di argilla. La resistività diminuisce all'aumentare del contenuto di argilla. Gli strati intermedi, caratterizzati da valori medi di resistività, rappresentano la formazione acquifera sabbiosa o calcarea. Mentre gli strati inferiori, caratterizzati da bassi valori di resistività, rappresentano sempre la stessa formazione acquifera, ma i bassi valori di resistività indicano un alto contenuto di acqua salata.

La profondità della superficie di interfaccia tra secondo e terzo strato identifica il posizionamento della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata.

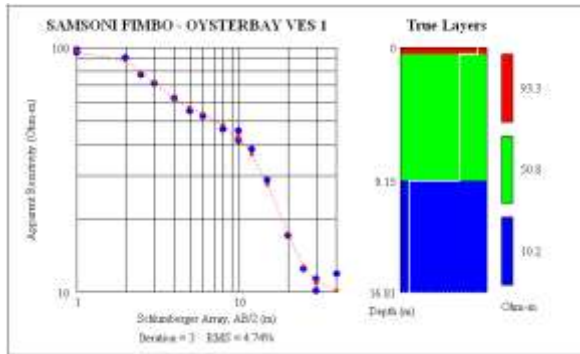


Figura 4.31 Curva di resistività (B.H. 160) (Mtoni et al., 2010)

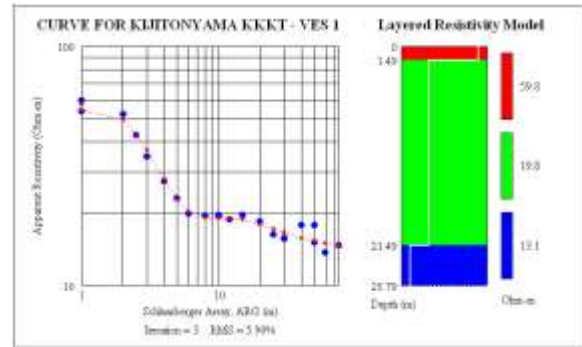


Figura 4.32 Curva di resistività (B.H. 162) (Mtoni et al., 2010)

Di seguito viene mostrata la tabella riassuntiva delle interpretazioni delle curve di resistività relative ai pozzi per i quali erano stati eseguiti Sondaggi Elettrici Verticali (Mtoni et al., 2010).

| B.H. Number | Type of Layer | Apparent Resistivity [m·Ω] | Layer Thicknesses [m] | Aquifer                     |
|-------------|---------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 11          | 1             | 1000                       | 2.3                   | Sand                        |
|             | 2             | 150                        | 6.2                   |                             |
|             | 3             | 8.5                        | +++                   |                             |
| 142         | 1             | 20.47                      | 1.00                  | Clayey Sand + Limestone     |
|             | 2             | 32.93                      | 4.58                  |                             |
|             | 3             | 45.26                      | 9.60                  |                             |
|             | 4             | 13.17                      | +++                   |                             |
| 148         | 1             | 135                        | 2                     | Weathering Limestone        |
|             | 2             | 202.5                      | 6                     |                             |
|             | 3             | <100                       | +++                   |                             |
| 158         | 1             | 63                         | 0.65                  | Weathering Limestone        |
|             | 2             | 171                        | 3.1                   |                             |
|             | 3             | 58                         | +++                   |                             |
| 159         | 1             | 160                        | 4                     | Sand + Weathering Limestone |
|             | 2             | 53.28                      | +++                   |                             |
| 160         | 1             | 93.26                      | 0.47                  | Sand + Weathering Limestone |
|             | 2             | 50.82                      | 8.68                  |                             |
|             | 3             | 10.16                      | +++                   |                             |
| 162         | 1             | 59.83                      | 1.49                  | Sand                        |
|             | 2             | 19.82                      | 20.00                 |                             |
|             | 3             | 13.11                      | +++                   |                             |

Tabella 4.7 Tabella riassuntiva delle interpretazioni delle curve di resistività (Mjemah, 2007)



Al fine di determinare una possibile interpretazione dell'evoluzione nel tempo del fenomeno dell'intrusione marina nella falda acquifera, per ogni singolo punto d'acqua, in cui le analisi dei parametri chimici mostravano la presenza di contaminazione marina, si è cercato di definire la profondità della superficie di interfaccia acqua dolce/ acqua salata, attraverso l'analisi incrociata di differenti fattori, quali:

- Valore puntuale di conducibilità elettrica.
- Profondità del pozzo.
- Profilo termo-conduttimetrico, ove disponibile (2003-2008).
- VES, ove disponibile (2003-2008).

Attraverso l'interpolazione triangolare dei punti ottenuti, sono state ricostruite, per i due intervalli temporali considerati (1997-2002/2003-2008), ipotetiche curve isobate (esprese in metri sotto il livello del mare) della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata rispetto al livello del mare (Figure 4.33 e 4.34). Naturalmente, a causa della frammentarietà ed esiguità di dati, la misura della profondità della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata risulta puramente qualitativa.

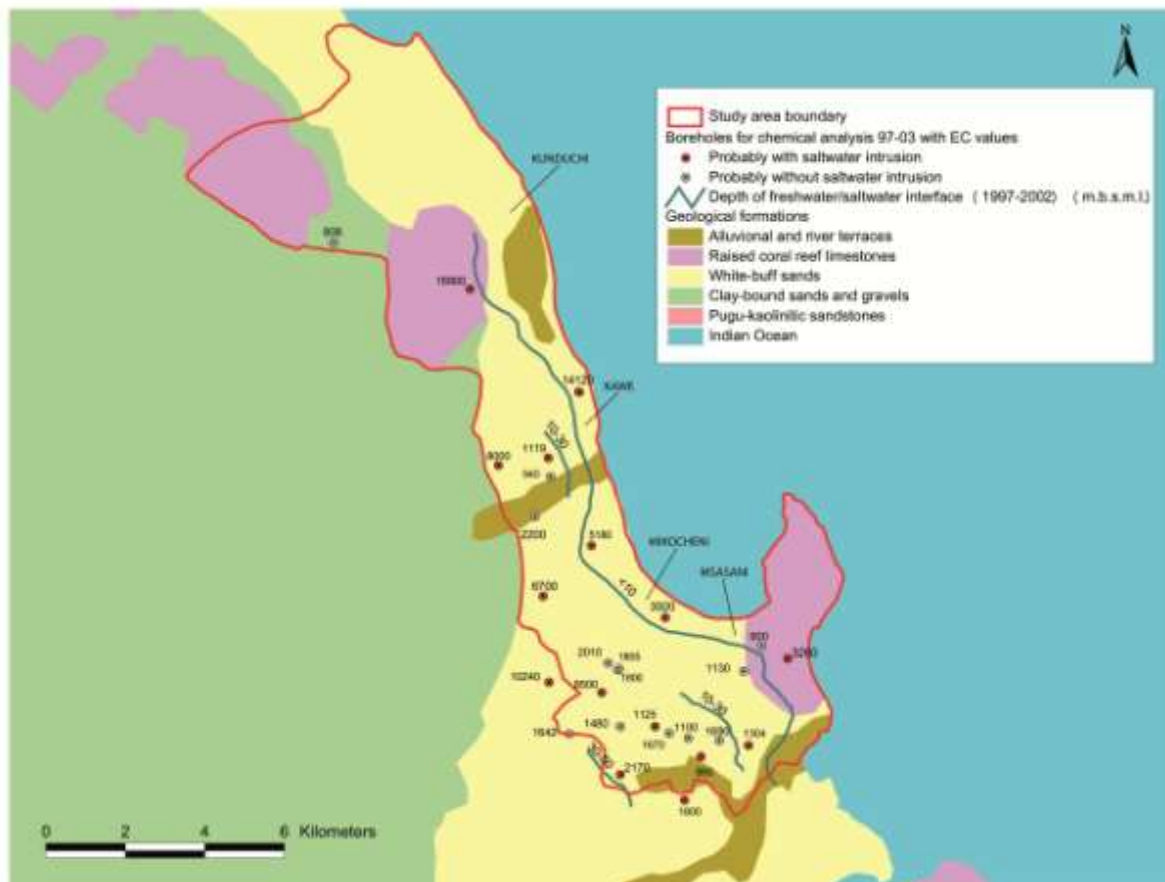


Figura 4.33 Andamento delle curve isobate della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata – 1997-2002

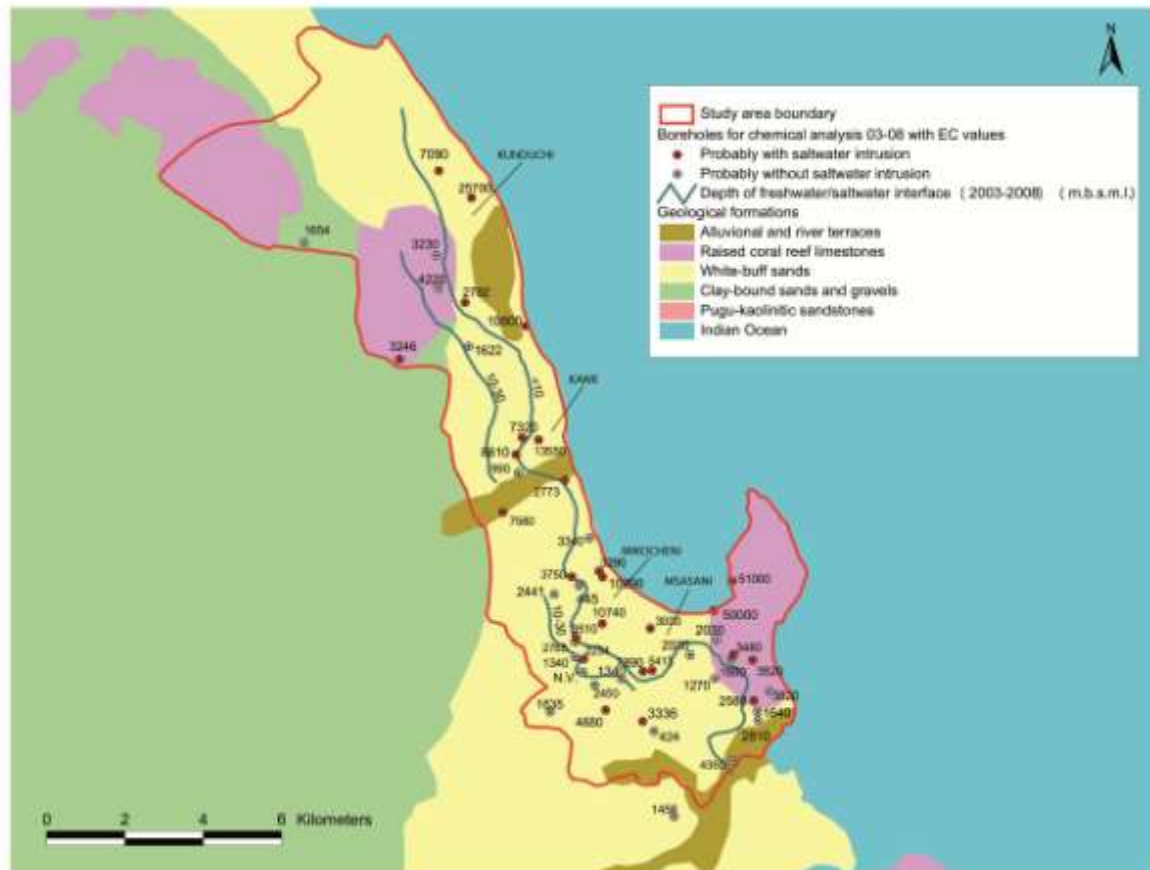


Figura 4.34 Andamento delle curve isobate della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata –2003-2008

Dal confronto dei 2 intervalli temporali è possibile rilevare, per gran parte dell'area di studio, un arretramento nel tempo della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata, indice di un probabile incremento di contaminazione marina (intensificazione del fenomeno di intrusione salina).

Le zone dove questa tendenza risulta più accentuata corrispondono alle aree urbane di Kawe e Mikocheni/Msasani, che sono proprio le stesse aree dove era stato osservato un abbassamento del livello piezometrico della falda acquifera, associato ad un aumento di conducibilità elettrica. Mentre, nell'area di Kunduchi, non si nota un deciso spostamento verso l'entroterra della superficie di interfaccia, anche se i valori puntuali di conducibilità elettrica sono comunque molto elevati.

## 4.2. La sensibilità del sistema sociale

### 4.2.1. Raccolta dati bibliografici

L'attività di raccolta dati bibliografici è stata svolta sia in precedenza che durante il periodo di permanenza a Dar es Salaam (Gennaio 2010 – Aprile 2010).

I principali dati raccolti, utilizzati per la caratterizzazione del sistema socioeconomico e del livello di utilizzo delle acque sotterranee da parte delle comunità all'interno dell'area di studio, sono stati:

- distribuzione demografica;
- potere economico dei differenti gruppi sociali;
- tipologia e qualità del tessuto urbano;
- tipologia e composizione delle attività economiche;
- tipologia di uso del suolo;
- qualità del servizio idrico cittadino;
- pratiche di approvvigionamento idrico.

Tali informazioni sono state reperite da documenti e studi esistenti, effettuati in ambiti differenti. In particolare, parte dei dati utilizzati per la definizione dei gruppi sociali maggiormente vulnerabili al possibile deterioramento dell'acquifero costiero, derivano da:

- Documenti e Report sulle caratteristiche socioeconomiche generali della popolazione di Dar es Salaam, elaborati da enti pubblici (Dar es Salaam City Council; National Bureau of Statistics, NBS; Ministry of Land, Survey and Mapping Division).
- Studi effettuati in ambito accademico (Kironde, 1994; Lupala, 2002; Kjellen; Ricci, 2010).
- Studi eseguiti da agenzie di cooperazione internazionale, che sviluppano progetti in collaborazione con il governo tanzaniano (JICA, 2005).
- Studi eseguiti da agenzie internazionali che collaborano con il governo tanzaniano (UN-HABITAT (1), 2009; AA.VV., 2007).

In particolare, lo studio di Ricci (2010) sull'adattamento al cambiamento climatico nelle aree di frangia peri-urbane di Dar es Salaam si è rivelato molto utile per definire le caratteristiche socioeconomiche dei gruppi sociali e per individuare le tipologie di approvvigionamento idrico prevalenti nell'area di studio.

Nell'ambito di tale studio Ricci ha effettuato una campagna di interviste, attraverso la somministrazione di questionari a famiglie appartenenti a gruppi sociali economicamente e culturalmente eterogenei, riguardanti il livello di interazione tra le aree urbane e le aree rurali, l'accesso e la gestione delle risorse naturali ed ambientali, e le strategie di adattamento autonomo alle trasformazioni ambientali.

#### 4.2.2. Rilievi spaziali e campagna di interviste qualitative

I rilievi spaziali e le interviste qualitative sono state svolte durante il periodo di permanenza a Dar es Salaam (Gennaio 2010 – Aprile 2010), in concomitanza con la campagna di monitoraggio idrogeologico, con la collaborazione di un dipendente della *Ardhi University*, necessaria per la traduzione dalla lingua swahili all'inglese.

I rilievi e le interviste qualitative (a campione), effettuati nei differenti insediamenti urbani presenti nell'area di studio, avevano l'obiettivo di comprendere il livello di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea da parte della popolazione e le pratiche di approvvigionamento idrico prevalenti, che, come si vedrà successivamente, risultano dipendenti da vari fattori, come le

caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate (potere economico), le caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti, nonché il tipo di attività economica praticata (agricoltura urbana, attività industriale, impiego formale ed informale), che determina il fabbisogno idrico di una comunità.

In particolare, durante i rilievi si è cercato di definire per le aree urbane in studio differenti parametri, come:

- Tipologia e la qualità del tessuto urbano (area pianificata, area non pianificata).
- Presenza di aree dedicate all'attività agricola.
- Presenza di aree dedicate all'attività industriale.
- Presenza del servizio idrico.
- Presenza nelle abitazioni di sistemi di immagazzinamento dell'acqua.
- Presenza di perforazioni illegali.
- Presenza di pratiche di compravendita dell'acqua.

Per quanto riguarda le interviste, sono state effettuate conversazioni informali con i proprietari dei pozzi analizzati e, ove possibile, con gli abitanti che manifestavano disponibilità.

Le domande eseguite riguardavano principalmente:

- Caratteristiche socioeconomiche (struttura familiare, proprietà, reddito mensile).
- Attività lavorativa svolta (agricoltura urbana, allevamento, attività industriale, impiego formale o informale).
- Tipologia di approvvigionamento idrico (acquedotto, pozzo, acquisto da venditori, acqua superficiale, e altri).
- Attività di vendita dell'acqua al vicinato (per i proprietari dei pozzi): se effettuata o meno.
- Dotazione di sistemi di immagazzinamento dell'acqua.
- Spesa e consumi idrici mensili.
- Qualità dell'acqua sotterranea: se è stato osservato un decremento negli ultimi anni.
- Salinità dell'acqua sotterranea: se è stato osservato un aumento negli ultimi anni.
- Fertilità delle suolo: se è stato osservato un cambiamento negli ultimi anni.
- Eventuali cambiamenti nelle colture a causa dell'eccessiva salinità dell'acqua.

Ad ogni modo nella maggior parte dei casi non è stato possibile eseguire le interviste in modo completo e rigoroso, spesso a causa della non eccessiva disponibilità da parte dei proprietari dei pozzi.

Le informazioni ottenute sia dagli studi precedenti (Kjellen, 2006; Ricci, 2010) che dai rilievi e dalle interviste effettuate, sono state necessarie per la costruzione degli indicatori, di tipo qualitativo, utilizzati per definire il grado di dipendenza dalla risorsa idrica delle comunità dei differenti insediamenti presenti nell'area di studio. Tale parametro, come si vedrà successivamente, definisce il grado di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento della risorsa idrica sotterranea.

#### 4.2.3. *Grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea. Tipologie di approvvigionamento idrico*

Come è stato osservato precedentemente, la sensibilità del sistema sociale, ossia la capacità delle persone o delle comunità di far fronte ad una certa perturbazione sul sistema biofisico, assorbire gli impatti o recuperare (ad esempio attraverso riserve monetarie e assicurazioni), è influenzata da diversi fattori sociologici, economici, politici e geografici, come, ad esempio, l'età ed il sesso, la struttura familiare e le reti sociali, la disabilità, l'etnia di provenienza, il reddito e le risorse materiali a disposizione, l'occupazione, la tipologia e la localizzazione delle strutture abitative, il livello delle infrastrutture e dei servizi primari, e la capacità di gestire il territorio da parte delle amministrazioni locali.

Tali fattori determinano il grado di suscettibilità delle persone o delle comunità alla perturbazione, e permettono di individuare i gruppi sociali maggiormente sensibili (gruppi vulnerabili) ai possibili impatti di una certa perturbazione sul sistema biofisico.

Nell'ambito di questo lavoro di tesi, per la definizione del livello di sensibilità sociale delle comunità insediate all'interno dell'area di studio, viene proposta una metodologia di analisi testata sui dati ad oggi disponibili e destinata ad orientare una futura e più approfondita valutazione della vulnerabilità delle comunità.

Identificando come perturbazione sul sistema biofisico l'aumento del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero di Dar es Salaam, si è cercato di definire un indice che rappresentasse il livello di sensibilità delle comunità rispetto al deterioramento delle acque sotterranee.

Come indice è stato identificato il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea, che definisce il livello di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea da parte della popolazione per le differenti attività domestiche ed economiche.

Per lo studio dei gruppi vulnerabili è stato deciso di suddividere il territorio in studio secondo la struttura urbana, ossia secondo i principali insediamenti presenti (*Subwards*), quali Tegeta, Kunduchi, Mbezi Beach, Kawe, Michokeni, Msasani, Oysterbay, Mwananyamala/Kijitonyama/Kinondoni.

Ogni singola area diviene l'unità territoriale minima alla quale verrà assegnato un valore di sensibilità sociale. L'area di Tegeta è stata esclusa dal processo di analisi, in quanto non erano disponibili informazioni sufficienti per la definizione dei gruppi vulnerabili.

Non disponendo di dati precisi sul reale sfruttamento dell'acqua sotterranea da parte della popolazione (numero effettivo di pozzi e portata relativa per ogni area in studio), è stato stabilito di determinare, a livello qualitativo, il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea attraverso l'individuazione della tipologia di approvvigionamento idrico prevalente nei diversi stanziamenti urbani presenti nell'area di studio.

Come è stato descritto dettagliatamente nel Cap. 3 (Par. 3.5.1., 3.5.2., 3.5.3.), le tipologie di approvvigionamento idrico diffuse a Dar es Salaam sono molteplici e variano in funzione della fonte di provenienza e della qualità della risorsa, entrambi fattori che ne determinano il costo (per tutte le tipologie di approvvigionamento il costo varia con la stagione, risultando minore nelle stagioni piovose e maggiore nelle stagioni secche).

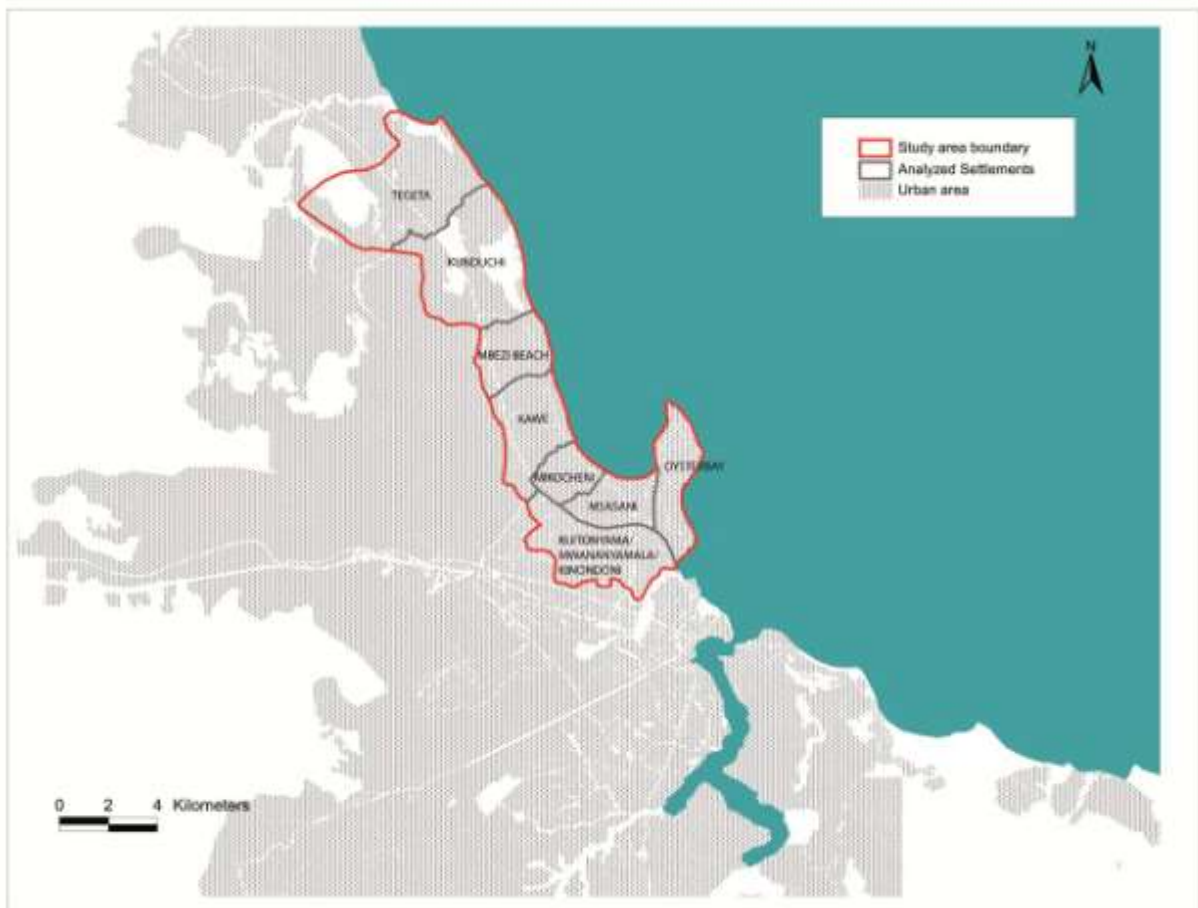


Figura 4.35 Suddivisione dell'area di studio secondo la struttura urbana. Localizzazione degli insediamenti urbani analizzati

L'elenco delle differenti tipologie di approvvigionamento idrico comprende:

- Connessione diretta al sistema idrico cittadino (fonte protetta).  
L'accesso al servizio idrico da parte della popolazione è dipendente dalla qualità dell'area urbana abitata (le aree pianificate risultano maggiormente servite), e, soprattutto, dal potere economico del privato. Solo gli abitanti con un reddito medio-alto possono affrontare i notevoli costi strutturali (tariffe, condotte terziarie, sistema di immagazzinamento) necessari a connettersi alla rete.  
Ad ogni modo il servizio idrico non sempre è regolare ed equilibrato, a causa dell'inadeguatezza delle strutture (condotte, impianti di presa e trattamento) e delle differenza di pressione tra le varie parti del sistema.
- Connessione indiretta al sistema idrico cittadino, attraverso l'acquisto di acqua da privati connessi alla rete (fonte protetta).  
Tale tipologia di approvvigionamento ha un costo medio-alto (100-200 Tsh per tanica da 20 l, variabile in funzione della regolarità del servizio) ed è diffusa soprattutto nelle aree urbane pianificate, maggiormente servite dal sistema idrico.



- Acquisto di acqua da punti di distribuzione pubblica (chioschi o fontane pubbliche), gestite dal DAWASA, connessi alla rete o ad un singolo pozzo (fonte protetta).  
Tale tipologia di approvvigionamento ha un costo basso (20-35 Tsh per tanica da 20 l) ed è diffusa sia nelle aree pianificate che informali (a seconda della presenza o meno di connessione alla rete idrica).  
Il problema principale è rappresentato dal fatto che tale servizio è irregolare e spesso non funzionante.
- Dotazione di pozzo legale (fonte protetta o non protetta a seconda della qualità dell'acqua sotterranea).  
Tale tipologia di approvvigionamento è diffusa prevalentemente nelle aree non pianificate (non servite dalla rete idrica), ed ha un costo elevato; solo gli abitanti con un reddito medio-alto possono affrontare i notevoli costi di costruzione del pozzo (le perforazioni superano quasi sempre 15-20 m).
- Dotazione di pozzo illegale (perforazione informale) (fonte non protetta).  
Tale tipologia di approvvigionamento è diffusa soprattutto nelle aree informali, dove si concentrano le fasce più povere della popolazione, in quanto ha un costo molto basso (praticamente nullo).  
La falda acquifera superficiale rappresenta una fonte facilmente accessibile (il livello statico della falda superficiale è mediamente basso) attraverso semplici scavi, di profondità inferiore ai 10 m.  
Ed al tempo stesso rappresenta una fonte non protetta in quanto la falda acquifera superficiale risulta molto compromessa a causa dell'elevato inquinamento di tipo domestico (reflui civili), proprio soprattutto delle aree informali (prevalenza di strutture sanitarie in situ).
- Acquisto di acqua da privati, dotati di proprio pozzo (fonte protetta o non protetta a seconda della qualità dell'acqua sotterranea).  
Tale tipologia di approvvigionamento è diffusa prevalentemente nelle aree non pianificate (non servite dalla rete idrica), ed ha un costo medio-basso (35-50 Tsh per tanica da 20 l), in funzione della qualità dell'acqua sotterranea (ad esempio l'acqua moderatamente salata ha un costo inferiore).
- Raccolta ed immagazzinamento di acqua piovana (fonte non protetta).  
Tale tipologia di approvvigionamento è legata alla stagionalità climatica, ha un costo nullo ed è praticata da gran parte degli abitanti di Dar es Salaam, indipendentemente dal reddito o dalla qualità dell'insediamento.
- Rifornimento diretto da corsi d'acqua superficiali o pozze (fonte non protetta).  
Tale tipologia di approvvigionamento è legata alla stagionalità climatica, ha un costo basso (praticamente nullo) ed è diffusa soprattutto nelle aree informali.  
Rappresenta una fonte non protetta in quanto i corsi d'acqua cittadini risultano molto compromessi a causa dell'elevato inquinamento di tipo antropico (reflui civili, rifiuti solidi, scarichi industriali).

- Acquisto di acqua da venditori ambulanti in carretto o da autocisterne, che si riforniscono da punti di distribuzione pubblica o privata (fonte protetta o non protetta a seconda del tipo di fonte primaria).

Tale tipologia di approvvigionamento è diffusa prevalentemente nelle aree non pianificate (la prima nelle aree urbane densamente popolate, la seconda nelle aree a bassa densità), non servite dal sistema idrico, ed ha un costo piuttosto elevato (150-300 Tsh per tanica da 20 l nel caso dei venditori ambulanti; 40000-800000 Tsh per 10 m<sup>3</sup> nel caso di autocisterne) a causa proprio del servizio di trasporto a domicilio offerto.

Naturalmente la scelta di una tipologia di approvvigionamento idrico rispetto ad un'altra non è sempre univoca, ma può essere diversificata. Infatti, spesso, i differenti nuclei familiari possono scegliere di approvvigionarsi da più di una fonte, a seconda del fabbisogno idrico necessario, delle attività economiche praticate, della distanza dalla fonte (tempo impiegato per rifornirsi) o della disponibilità momentanea di acqua per una determinata fonte, come nel caso del prelievo d'acqua dai fiumi stagionali, della raccolta di acqua piovana, o di possibili interruzioni nel sistema idrico cittadino, a causa di malfunzionamenti.

Per la definizione della tipologia prevalente di approvvigionamento idrico nelle unità territoriali considerate sono stati utilizzati 3 criteri di valutazione, corrispondenti ai principali fattori che determinano l'indirizzarsi delle persone verso una tipologia di fonte piuttosto che un'altra. Tali criteri sono:

- Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate.  
La capacità economica dei gruppi sociali influisce sulla scelta della tipologia di approvvigionamento, in quanto il costo della risorsa idrica differisce in funzione della qualità e della fonte di provenienza (protetta o non protetta).
- Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti.  
Le aree pianificate (nel caso la struttura geomorfologica del territorio lo permetta) risultano maggiormente connesse al sistema idrico cittadino (a livello strutturale). Di conseguenza, in queste aree, gli abitanti possono accedere direttamente o indirettamente a tale fonte protetta di approvvigionamento. Viceversa nelle aree informali la connessione al sistema idrico è sicuramente meno diffusa.
- Caratteristiche funzionali delle attività insediate.  
Il tipo di attività economica prevalente (agricoltura urbana, pascolo, attività industriale, impiego formale o informale) influisce sul fabbisogno idrico.

L'approccio scelto per la valutazione di tali criteri si basa sulla costruzione di opportuni indicatori, cioè sull'individuazione di una serie di variabili (informazioni semplici) che una volta elaborate diventano informazioni sintetiche che indicano le qualità e le caratteristiche delle aree considerate.

La complessità del sistema sociale pone un primo ostacolo nella definizione delle variabili da inserire all'interno del sistema di analisi. Inoltre la scelta degli indicatori può essere spesso condizionata dalla disponibilità di dati: a volte i dati esistono ma sono difficilmente reperibili, oppure sono disponibili in formati non controllabili o difficilmente utilizzabili, o ancora possono risultare troppo generici rispetto alla scala di lavoro scelta.

Un set di indicatori, che deve risultare specifico per ogni campo di interesse, dovrebbe essere in un numero limitato in modo da non incorrere in una ridondanza di risultati, ma allo stesso tempo in grado di esprimere un certo fenomeno nella sua interezza. In generale, per essere efficaci gli indicatori dovrebbero possedere i seguenti requisiti (OECD, [www.oecd.org](http://www.oecd.org)):

- Rilevanza ed utilità per gli utilizzatori: fornire un'immagine realistica e rappresentativa del sistema in studio, essere semplici e di facile interpretazione;
- Flessibilità analitica: avere buona credibilità, basandosi su valide basi tecnico-scientifiche;
- Misurabilità: essere facilmente disponibili o resi tali entro un ragionevole rapporto costi/benefici, adeguatamente documentabili e di comprovata qualità, aggiornabili ad intervalli regolari in accordo con le procedure disponibili.

Con tali finalità e compatibilmente con i dati disponibili, nell'ambito di questo studio, vengono proposti 3 indicatori (uno per ogni criterio di valutazione) di facile interpretazione e semplice misurabilità, attraverso immagini aeree o satellitari.

Tale attributo è piuttosto importante, specialmente in un contesto in rapida evoluzione come Dar es Salaam, dove i dati istituzionali relativi alle caratteristiche socioeconomiche della popolazione ed alla qualità del tessuto urbano risultano carenti e spesso troppo onerosi da ricavare.

Le informazioni ricavate da studi esistenti (Kjellen, 2006; Ricci, 2010) sono state utilizzate per convalidare l'efficacia e la flessibilità delle ipotesi effettuate nella fase di definizione degli indicatori.

L'analisi dei criteri di valutazione nelle differenti unità territoriali considerate ha permesso l'individuazione del livello di utilizzo dell'acqua di falda per l'approvvigionamento, ossia del grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea per gli abitanti dei differenti insediamenti presenti all'interno dell'area di studio.

Nel paragrafo successivo verranno descritti i differenti criteri di valutazione ed i relativi indicatori utilizzati nella fase di analisi della sensibilità del sistema sociale.

Per ciascun indicatore scelto viene fornita una scheda dettagliata che riporta in una serie di campi le informazioni necessarie alla sua corretta individuazione, alla fonte di reperimento ed alle problematiche connesse al suo utilizzo.

#### *4.2.4. Indicatori utilizzati nella fase di analisi*

##### 4.2.4.1. Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate

In generale, il potere economico di un gruppo sociale influisce sulla scelta della tipologia di approvvigionamento.

Come è stato mostrato precedentemente, la risorsa idrica possiede un costo differente in funzione della qualità, che dipende principalmente dalla fonte di provenienza (fonte protetta o non protetta).

L'acqua del sistema idrico cittadino rappresenta la risorsa idrica più pregiata ed ha un costo maggiore rispetto all'acqua proveniente da altre fonti (acque superficiali dei corsi d'acqua cittadini ed acque sotterranee).

Il sistema idrico di Dar es Salaam, che serve circa il 30% della popolazione, utilizza principalmente le acque superficiali del Fiume Ruvu, che scorre a nord-ovest della città (lontano dalle possibili fonti di inquinamento cittadino), in cui sono localizzate due prese (*Upper Ruvu* e *Lower Ruvu*). Prima di essere messa in rete l'acqua viene parzialmente trattata attraverso processi di sedimentazione, filtrazione e clorazione.

Come è stato descritto nel Cap. 3 (Par. 3.5.1.), l'accesso diretto al sistema idrico da parte degli abitanti presuppone una quantità di investimenti piuttosto elevata, completamente a carico del privato, come la tariffa di connessione al sistema, il costo per la disposizione della condotta terziaria, il costo del sistema di immagazzinamento, nonché il costo dell'eventuale sistema per ovviare alla bassa pressione nella rete. Di conseguenza, è evidente il fatto che solamente i residenti con un reddito medio-alto possano connettersi al sistema di fornitura idrica, che rimane inaccessibile per la maggioranza degli abitanti di Dar es Salaam.

Anche l'accesso indiretto al sistema idrico, attraverso l'acquisto di acqua sia da privati connessi alla rete che da venditori ambulanti o autocisterne, ha comunque un costo abbastanza elevato, che può essere sopportato solamente da residenti con un reddito medio o medio-alto.

Nelle aree dove il sistema idrico non è presente o scarsamente funzionante, gli abitanti generalmente utilizzano l'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento.

La costruzione di pozzi legali (che attingono sia dalla falda superficiale che semiconfinata), di profondità variabile ma quasi sempre superiore a 15 m, richiede un grande investimento economico per le attività di perforazione ed i materiali di costruzione (vedi Par. 3.5.4.). In generale solo gli abitanti con un reddito medio-alto possono affrontare tali spese.

Ad ogni modo, nella maggioranza dei casi, i privati dotati di pozzo rivendono l'acqua al vicinato, ad un prezzo relativamente basso (inferiore di circa il 50% rispetto al prezzo dell'acqua della rete) in quanto la qualità di tale risorsa è considerata inferiore rispetto all'acqua del sistema idrico. Di conseguenza l'acqua sotterranea diventa una risorsa disponibile per gran parte degli abitanti con un reddito medio o medio-basso.

Mentre la fasce più indigenti della popolazione (soprattutto negli stanziamenti informali e nelle aree peri-urbane) sono costrette a ricercare fonti di approvvigionamento ancora più economiche, talvolta non protette (con tutte le problematiche sanitarie che possono derivare dal notevole e crescente inquinamento), come il rifornimento diretto da corsi d'acqua e pozze o dalla falda acquifera superficiale, attraverso perforazioni informali (di ridotta profondità).

In generale è possibile sostenere che l'utilizzo dell'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento idrico è una pratica diffusa principalmente tra le fasce di popolazione con un reddito medio-basso o basso.

Di conseguenza definire le caratteristiche socioeconomiche prevalenti delle comunità che vivono all'interno dell'area di studio rappresenta un'attività importante per individuare gli insediamenti nei quali la dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea risulta più rilevante.

L'indicatore diretto ideale per valutare la disponibilità economica delle popolazione all'interno degli insediamenti in studio sarebbe la distribuzione del reddito medio mensile dei nuclei familiari.

Il problema principale nell'utilizzo di tale indicatore sta proprio nel fatto che non risulta facilmente ricavabile. In assenza di dati istituzionali su scala locale, la rilevazione di tale parametro è da considerarsi troppo difficoltosa ed onerosa. Infatti i dati istituzionali disponibili generalmente si riferiscono ad una scala più ampia (distribuzione del reddito medio mensile a scala di municipalità).

Per tale motivo si è scelto di utilizzare i pochi dati a disposizione relativi al reddito medio delle popolazioni, ricavati da studi effettuati (Ricci, 2010) e disponibili solo per alcune aree (Kunduchi, Kawe e Msasani), per verificare la validità di un differente indicatore indiretto di più facile rilevazione.

Come indicatore indiretto della disponibilità economica delle famiglie all'interno dei differenti insediamenti in studio si propone di utilizzare la presenza nelle abitazioni di serbatoi di immagazzinamento dell'acqua.

Maggiore è il numero di abitazioni dotate di serbatoio di immagazzinamento, maggiore sarà la capacità economica delle famiglie in quell'area urbana.

Infatti il serbatoio di immagazzinamento viene utilizzato quando si ha la necessità di stoccare grandi volumi d'acqua, ossia nel caso di connessione diretta al sistema idrico, dotazione di pozzo privato, oppure di acquisto di acqua dalle autocisterne. Tutte tipologie di approvvigionamento che richiedono notevoli capacità economiche.

Oltre al fatto che l'investimento iniziale per un sistema di immagazzinamento (che oltre al serbatoio collocato all'altezza del tetto presuppone la presenza di un serbatoio sotterraneo di riserva ed un sistema di pompaggio) risulta piuttosto elevato.

La presenza nelle abitazioni di serbatoi di immagazzinamento è un parametro di semplice rilevazione, in quanto i serbatoi, posti all'altezza dei tetti, sono facilmente visibili sia dall'esterno dell'abitazione nel caso di rilievo sul campo, che da immagini satellitari ad alta risoluzione.

La scheda relativa a tale indicatore indiretto è mostrata in Tabella 4.8.

| Nome dell'indicatore           | <b>PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                    |               |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Breve descrizione</b>       | La presenza nelle abitazioni di serbatoi di immagazzinamento dell'acqua rappresenta un indicatore indiretto della disponibilità economica delle famiglie all'interno degli insediamenti in studio.                                                                                                                                                                                            |                    |               |
| <b>Significato</b>             | Maggiore è il numero delle abitazioni dotate di serbatoio di immagazzinamento, maggiore sarà la capacità economica delle famiglie in quell'area urbana. Il potere economico di un gruppo sociale influisce sulla scelta della tipologia di approvvigionamento. Maggiore è la disponibilità economica dei gruppi sociali, minore sarà il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea. |                    |               |
| <b>Categorie di variazione</b> | Poco diffusi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Mediamente diffusi | Molto diffusi |
| <b>Fonte</b>                   | Le informazioni per costruire questo indicatore sono state ricavate dall'utilizzo di immagini satellitari (Quickbird), e dai rilievi effettuati sul campo.                                                                                                                                                                                                                                    |                    |               |
| <b>Limiti</b>                  | --                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                    |               |

Tabella 4.8 Presenza nelle abitazioni di serbatoi di immagazzinamento. Indicatore indiretto della disponibilità economica delle famiglie all'interno dei differenti insediamenti in studio

Per verificare la relazione tra l'indicatore proposto e la capacità economica delle famiglie, si sono confrontati i valori osservati relativi alla presenza di serbatoi di immagazzinamento con la

distribuzione del reddito medio mensile nelle aree per le quali sono disponibili informazioni a riguardo (Kunduchi, Kawe, Msasani).

Per agevolare il confronto, i dati disponibili relativi al reddito medio delle popolazioni insediate sono stati suddivisi in 3 intervalli di variazione (Reddito Basso: < 100000 Tsh; Reddito Medio: 100000-300000 Tsh; Reddito Alto: > 300000 Tsh) in funzione della distribuzione del reddito medio mensile per l'intero distretto di Kinondoni (all'interno del quale è locata l'area di studio), dove il 19% della popolazione ha un reddito medio mensile di 20000-30000 Tsh, il 19% di 30000-60000 Tsh, il 19% di 100000-150000 Tsh, il 15% di 150000-200000 Tsh, l'11% di 60000-100000, l'11% di 200000-300000 Tsh, il 3% di 300000-500000, ed il 3% superiore a 500000 Tsh (1 USD corrisponde attualmente a circa 1500 Tsh), come visibile in Figura 4.36 (JICA, 2005).

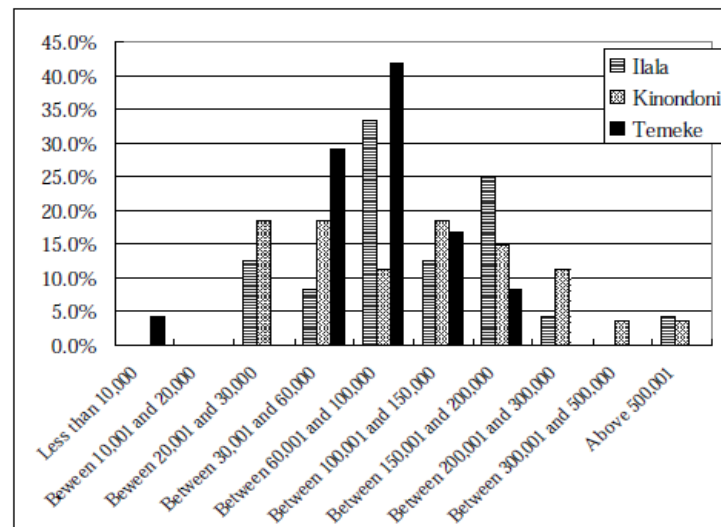


Figura 4.36 Distribuzione del reddito medio mensile per l'intera area di Dar es Salaam (JICA, 2005)

In particolare, dall'analisi dei dati disponibili emerge una sostanziale congruenza tra i valori dei due parametri (presenza di serbatoi nelle abitazioni e reddito medio mensile degli abitanti); difatti è possibile osservare una relazione diretta tra le categorie di variazione di entrambi.

Di conseguenza la presenza di serbatoi di immagazzinamento nelle abitazioni può essere assunta come un indicatore indiretto della capacità economica delle popolazioni insediate nelle differenti aree analizzate.

#### 4.2.4.2. Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti

La possibilità di connettersi al sistema idrico da parte degli abitanti delle differenti aree urbane analizzate rappresenta un parametro importante per comprendere la tipologia di approvvigionamento prevalente.

In particolare nelle aree dove non c'è possibilità di accesso alla rete idrica, a causa di mancanze strutturali del sistema, l'utilizzo dell'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento risulterà sicuramente maggiore.

L'indicatore diretto ideale per valutare il grado di connessione al sistema idrico all'interno degli insediamenti in studio sarebbe proprio la presenza o meno del servizio idrico nell'area.



Il problema principale nell'utilizzo di tale indicatore sta proprio nel fatto che non risulta facilmente ricavabile. In assenza di dati istituzionali su scala locale, la rilevazione di tale parametro è da considerarsi troppo difficoltosa ed onerosa. Infatti i dati istituzionali disponibili generalmente si riferiscono ad una scala più ampia (percentuale di utenze servite dalla rete idrica nelle municipalità).

Per tale motivo si è scelto di utilizzare i pochi dati a disposizione relativi alla presenza del sistema idrico, ricavati da studi effettuati (Kjellen, 2006; Ricci, 2010) e disponibili solo per alcune aree (Kunduchi, Kawe e Msasani), per verificare la validità di un differente indicatore indiretto di più facile rilevazione, costruito in base alle caratteristiche morfologiche degli insediamenti.

In generale, la tipologia e la qualità del tessuto urbano influiscono sulla presenza o meno del servizio idrico.

Le aree pianificate risultano maggiormente connesse al sistema idrico cittadino, nel caso la struttura geomorfologica del territorio lo permetta (la pressione nel sistema non è sufficiente per servire gli stanziamenti dell'altopiano).

Di conseguenza, in queste aree, gli abitanti possono accedere direttamente o indirettamente a tale fonte protetta di approvvigionamento. Viceversa nelle aree non pianificate la connessione al sistema idrico è sicuramente meno diffusa. Determinare le tipologie di insediamento presenti nell'area di studio rappresenta un'operazione importante per stabilire il grado di connessione alla rete idrica cittadina.

In un contesto urbano così complesso come quello di Dar es Salaam, la distinzione tra aree pianificate e non pianificate non risulta così agevole. Non di rado vi può essere la presenza di aree miste mediamente popolate, in cui le parti pianificate si intersecano con le parti informali, e dove la qualità dell'abitato può essere estremamente variabile. Oppure vi possono essere aree poco popolate che, nonostante siano informali, posseggono un tessuto urbano di elevata qualità, dove si concentrano fasce molto ricche di popolazione.

A tal proposito come indicatore in grado di mostrare la tipologia di insediamento si propone di utilizzare la morfologia insediativa dei differenti stanziamenti urbani in studio, senza considerare le aree dedicate all'attività agricola e all'attività industriale.

Tale parametro rappresenta un tipo di indicatore utilizzato in molti contesti urbani per differenti finalità.

Ad esempio nell'Atlante Ambientale di Berlino lo studio della struttura urbana, attraverso la definizione della tipologia e della disposizione dell'edificato, serve ad individuare, tra le altre, il tipo di uso del suolo, la percentuale di aree costruite e non costruite ed il tasso di impermeabilizzazione del suolo (Berlin Digital Environmental Atlas, 2008).

In generale, la morfologia insediativa può essere definita come il rapporto tra la struttura insediativa e la morfologia del territorio. Tale parametro, dunque, si riferisce alle caratteristiche di distribuzione della struttura urbana, ossia alla tipologia di disposizione dell'edificato nei differenti stanziamenti in studio.

Per la definizione della morfologia insediativa negli stanziamenti in studio sono state effettuate 3 ipotesi concettuali, descritte di seguito:

- Le aree che presentano una disposizione irregolare dell'edificato corrispondono principalmente agli insediamenti informali (*Unplanned Areas*), in cui si concentrano le fasce più povere della popolazione, e dove la qualità dell'abitato risulta piuttosto bassa. In generale, possono corrispondere sia ad aree informali caratterizzate da una alta densità dell'edificato, localizzate soprattutto nelle zone limitrofe al centro città, che ad aree informali caratterizzate da una bassa densità dell'edificato, localizzate nelle fascia peri-urbana della città. In tali aree è molto probabile che non vi sia la possibilità di accedere al sistema idrico (anche in termini di capacità economica). In questo caso la popolazione è costretta a ricercare fonti alternative per l'approvvigionamento idrico (acqua sotterranea, acque superficiali).
- Le aree che presentano una disposizione mista dell'edificato corrispondono principalmente agli insediamenti, nei quali vi è la presenza sia di zone pianificate che informali (*Mixed Planned-Unplanned Areas*), dove la qualità e la densità dell'abitato risulta variabile. In questo caso la popolazione potrebbe avere una ampia gamma di scelta per l'approvvigionamento idrico, dato che è abbastanza probabile che in tali aree vi sia la possibilità di accedere al sistema idrico sia direttamente che indirettamente (in tal caso la capacità economica di un gruppo sociale diventa il fattore determinante nella scelta della fonte).
- Le aree che presentano una disposizione regolare dell'edificato (in cui risulta evidente la lottizzazione del territorio) corrispondono principalmente agli insediamenti pianificati (*Planned Areas*), caratterizzati sia da alta che bassa densità dell'edificato, in cui la qualità dell'abitato risulta piuttosto buona, e dove generalmente vi è la possibilità di accedere al sistema idrico. Tali aree potrebbero corrispondere anche a zone non pianificate, nelle quali si concentrano fasce ricche di popolazione (*Affluent Areas*). In questo caso la presenza o meno del sistema idrico non rappresenta un fattore determinante per definire il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea, in quanto gli abitanti di queste aree, avendo la possibilità economica di approvvigionarsi in modi differenti (ad esempio dalle autocisterne), risultano meno sensibili al possibile deterioramento delle acque sotterranee.

La morfologia insediativa, dunque, potrebbe rappresentare un indicatore indiretto della possibilità di connettersi alla rete idrica cittadina per gli abitanti delle differenti aree urbane analizzate, dedotta in relazione alla tipologia e qualità del tessuto urbano. Inoltre rappresenta un parametro di facile stima, ad esempio a partire da dati rilevabili tramite l'utilizzo di immagini satellitari o foto aeree, nonchè da semplici rilevamenti sul campo.

Il limite principale nell'utilizzo di tale indicatore sta proprio nella difficoltà di caratterizzare le aree peri-urbane a bassa densità, dove la grande presenza di zone dedicate all'attività agricola, rende piuttosto complicata la classificazione della tipologia di disposizione dell'edificato.

La scheda relativa a tale indicatore indiretto è mostrata in Tabella 4.9.

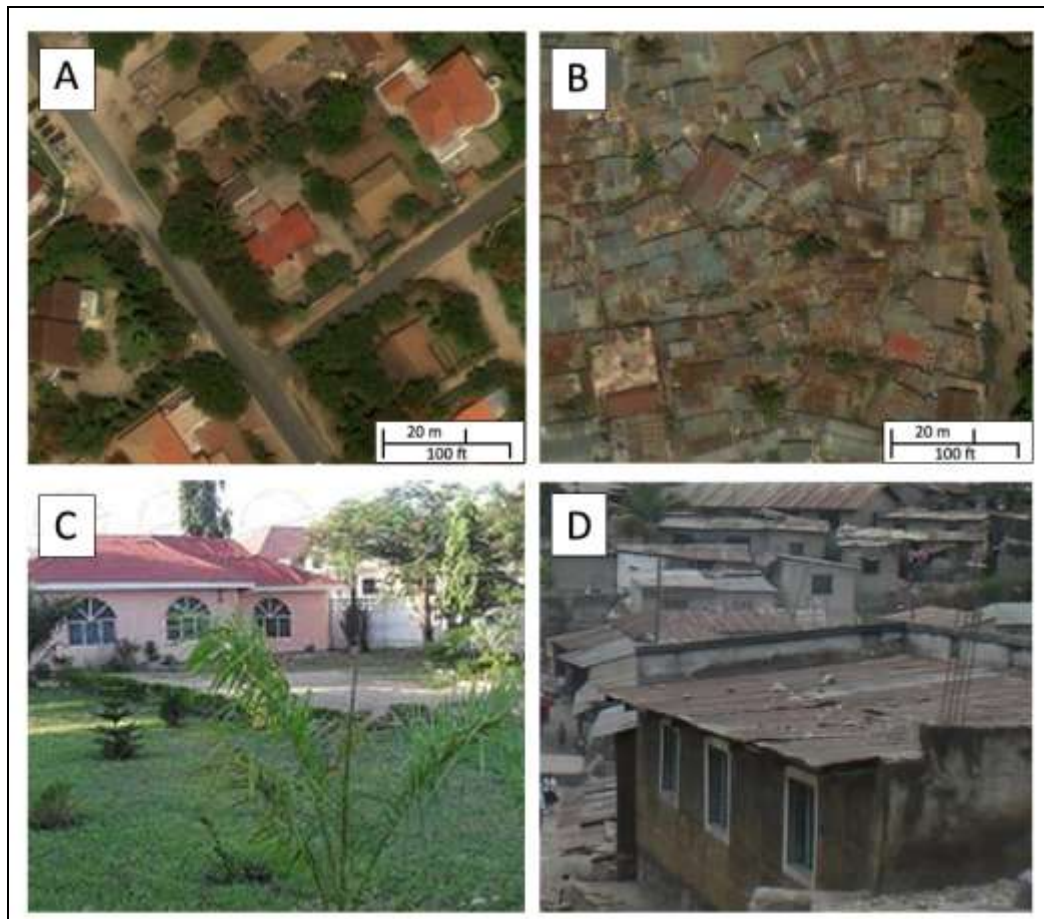


Figura 4.37 Morfologia insediativa: aree caratterizzate da una disposizione regolare dell'edificato e alta qualità degli edifici (A-C) ed aree caratterizzate da una disposizione irregolare dell'edificato e bassa qualità degli edifici (B-D)

| Nome dell'indicatore    | MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                               |                                                                                  |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Breve descrizione       | La morfologia insediativa rappresenta un indicatore indiretto della possibilità di connettersi alla rete idrica cittadina per gli abitanti delle differenti aree urbane analizzate, dedotta in relazione alla tipologia e qualità del tessuto urbano.                                                                                                                                                               |                                                                               |                                                                                  |
| Significato             | Permette di determinare le differenti tipologie di insediamento presenti nell'area di studio. La tipologia e la qualità dell'insediamento influiscono sulla presenza o meno del servizio idrico. Nelle aree dove non c'è possibilità di accesso alla rete idrica, per mancanze strutturali del sistema, l'utilizzo dell'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento risulterà sicuramente maggiore. |                                                                               |                                                                                  |
| Categorie di variazione | Disposizione irregolare dell'edificato<br>( <i>Unplanned Areas</i> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Disposizione mista dell'edificato<br>( <i>Mixed Planned-Unplanned Areas</i> ) | Disposizione regolare dell'edificato<br>( <i>Planned Areas; Affluent Areas</i> ) |
| Fonte                   | Le informazioni per costruire questo indicatore sono state ricavate dall'analisi di immagini satellitari (Quickbird), della carta di uso del suolo, nonché dai rilievi effettuati sul campo.                                                                                                                                                                                                                        |                                                                               |                                                                                  |
| Limiti                  | Il limite principale nell'utilizzo di tale indicatore sta nella difficoltà di caratterizzare le aree peri-urbane a bassa densità, dove la classificazione della tipologia di disposizione dell'edificato è resa complicata dall'elevata presenza di aree dedicate all'attività agricola.                                                                                                                            |                                                                               |                                                                                  |

Tabella 4.9 Morfologia insediativa. Indicatore indiretto della possibilità di connettersi alla rete idrica cittadina per gli abitanti delle differenti aree urbane analizzate, dedotta in relazione alla tipologia e qualità del tessuto urbano

Per verificare la relazione tra l'indicatore proposto e il grado di connessione al sistema idrico, si sono confrontati i valori osservati relativi alla morfologia insediativa con i dati relativi alla presenza del sistema idrico nelle aree per le quali sono disponibili informazioni a riguardo (Kunduchi, Kawe, Msasani).

Per agevolare il confronto, i dati disponibili relativi alla presenza del sistema idrico sono stati suddivisi in 3 intervalli di variazione (Poco diffuso < 30%; Mediamente diffuso 30% - 65 %; Molto diffuso > 65%) in funzione della distribuzione percentuale osservata negli insediamenti.

In particolare, dall'analisi dei dati disponibili emerge una sostanziale congruenza tra i valori dei due parametri (morfologia insediativa e presenza del sistema idrico); difatti è possibile osservare una relazione diretta tra le categorie di variazione di entrambi.

Di conseguenza la morfologia insediativa può essere assunta come un indicatore indiretto del grado di connessione al sistema idrico cittadino nelle differenti aree urbane analizzate.

#### 4.2.4.3. Caratteristiche funzionali delle attività insediate

Il tipo di attività economica praticata negli insediamenti in studio influisce sul fabbisogno idrico, e di conseguenza sul livello di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea.

Come è stato mostrato nel Par. 3.4.2., allo stato attuale l'attività economica principale a Dar es Salaam, che impegna circa l'80% della popolazione in tutti i suoi livelli (dal lavoro sul campo alla vendita nei mercati o per strada), è rappresentata dall'agricoltura urbana. Circa il 38% del territorio regionale (di cui il 23% a Kinondoni, il 57% a Temeke, e il 20% ad Ilala) viene utilizzato per la produzione agricola, concentrata soprattutto nella aree peri-urbane e lungo le valli alluvionali dei fiumi, anche se la cifra è variabile in funzione della rapida espansione del tessuto urbano.

Mentre le principali attività industriali presenti a Dar es Salaam includono: industrie tessili, chimiche-farmaceutiche, alimentari, attività manifatturiere, attività minerarie, produzione e lavorazione di cemento, gomma, vetro, vernici, plastica e metallo, raffinazione di prodotti petroliferi ed impianti di generazione di energia elettrica. La maggior parte degli stabilimenti industriali, circa il 64%, sono situati nel distretto di Temeke, il 29% nel distretto di Kinondoni, mentre il 7% nel distretto di Ilala.

Circa l'65% del consumo idrico è tipo domestico, includendo in tale definizione i consumi destinati all'irrigazione ed all'allevamento, il 15% è destinato all'attività industriale, il 10% alle attività commerciali, mentre il restante 10% è di tipo istituzionale (Mato, 2002).

Spesso la fonte di approvvigionamento idrico utilizzata per le differenti attività economiche differisce da quella utilizzata per procurarsi l'acqua da bere e per le attività domestiche (cucinare, lavare), dove si tende ad utilizzare, ove la disponibilità economica lo permetta, fonti più sicure e protette (acqua di maggior qualità).

In particolare, per l'agricoltura urbana ed il pascolo, le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque superficiali o sotterranee non protette, ed anche la maggior parte delle industrie (alimentari, chimiche e minerarie) utilizzano soprattutto l'acqua sotterranea per i propri cicli produttivi (gran parte delle industrie possiede il proprio pozzo).

Di conseguenza è importante definire le caratteristiche funzionali delle attività insediate nelle aree in studio, in quanto la presenza di attività agricole o industriali è indice di un maggiore fabbisogno idrico per le comunità e, quindi, di una maggiore dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea.

A tal proposito come indicatore in grado di mostrare le caratteristiche funzionali delle attività insediate si propone di utilizzare la tipologia di attività prevalenti nella aree in studio.

Tale parametro, dunque, potrebbe rappresentare un indicatore indiretto dei consumi e del fabbisogno idrico delle comunità.

Data la grande importanza dell'attività agricola nel sostentamento degli abitanti, si è deciso di suddividere l'indicatore nelle seguenti classi:

- Prevalentemente residenziale
- Misto (presenza di aree residenziali ed aree dedicate alle attività agricole ed industriali)
- Misto con forte presenza di attività agricole

Inoltre la tipologia di attività presenti negli insediamenti in studio è un indicatore di facilmente stimabile a partire da dati rilevabili tramite immagini aeree o satellitari, nonché da semplici rilevamenti sul campo.

La scheda relativa a tale indicatore indiretto è mostrata in Tabella 4.10.

| Nome dell'indicatore    | TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |                              |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------|
| Breve descrizione       | La tipologia di attività presenti negli insediamenti rappresenta un indicatore indiretto dei consumi e del fabbisogno idrico delle comunità.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |                              |
| Significato             | Per l'agricoltura urbana e per le differenti attività industriali le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate generalmente dalle acque superficiali o sotterranee non protette. Di conseguenza la presenza di aree dedicate alle attività industriali, ma soprattutto di aree dedicate alle attività agricole negli insediamenti in studio è indice di un maggiore fabbisogno idrico e, quindi, di una maggiore dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea. |       |                              |
| Categorie di variazione | Misto con forte presenza di attività agricole                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Misto | Prevalentemente residenziale |
| Fonte                   | Le informazioni per costruire questo indicatore sono state ricavate dall'analisi di immagini satellitari (Quickbird), della carta di uso del suolo, nonché dai rilievi effettuati sul campo.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |                              |
| Limiti                  | --                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |                              |

Tabella 4.10 Tipologia di attività presenti. Indicatore indiretto dei consumi e del fabbisogno idrico delle comunità all'interno degli insediamenti in studio

#### 4.2.5. Analisi qualitativa delle caratteristiche degli insediamenti in studio

##### 4.2.5.1. Kunduchi

L'area Kunduchi si sviluppa nella zona nord dell'area di studio, nella fascia peri-urbana della città. E' un insediamento in parte formatosi prima del 1980 (era un villaggio di pescatori) ed in parte di recente formazione. Le aree di recente formazione sono prevalentemente insediamenti informali, localizzati principalmente lungo le strade più importanti, come la Bagamoyo Road.

Il tessuto urbano è misto, essendo formato da aree caratterizzate da una regolare disposizione ed una bassa densità dell'edificato, sia pianificate che informali, dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto, ed aree informali con una media-bassa densità ed una disposizione irregolare dell'edificato, che ospitano fasce più povere di popolazione.

La qualità delle abitazioni, sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ (allacciamento all'acquedotto, presenza di serbatoi di immagazzinamento per l'acque e

*septic tanks* per le acque di scarico) è variabile da zona a zona in relazione al reddito di chi ne è il proprietario.

I servizi primari e le infrastrutture sono scadenti: manca completamente il sistema fognario ed il sistema idrico serve solo una piccola parte di popolazione (connessione diretta per chi ha maggior capacità economica).

L'acquisto di acqua, sia da privati connessi al sistema idrico o dotati di proprio pozzo che da venditori ambulanti, è la pratica di approvvigionamento prevalente.

L'agricoltura e l'allevamento rappresentano le attività economiche principali della popolazione. Difatti gran parte del territorio è dedicato all'attività agricola. Inoltre nell'area di Kunduchi l'attività mineraria è molto sviluppata, e comprende l'estrazione di sabbia, ghiaia, pietra calcarea ed argilla. In particolare a Wazo Hill, lungo la Bagamoyo Road, vi è la presenza di una grande cava. L'attività estrattiva è naturalmente molto importante sia per le imprese edili locali, che per la popolazione locale, in quanto un alto numero di abitanti, soprattutto giovani, sono occupati nel settore minerario. Un'altra attività mineraria importante è l'estrazione del sale, con le principali saline localizzate nell'area lagunare.

Ad ogni modo, considerando l'elevata presenza di aree dedicate all'attività agricola, le fonti primarie di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque sotterranee e dalle acque superficiali (in funzione della stagione). In particolare, sono presenti numerosi pozzi, soprattutto di tipo informale (perforazioni superficiali illegali).

I valori assunti dagli indicatori per l'area di Kunduchi sono mostrati in Tabella 4.11.



Foto 4.10 Area di Kunduchi



Foto 4.11 Area di Kunduchi



Foto 4.12 Area di Kunduchi



Foto 4.13 Area di Kunduchi





Foto 4.14 Saline nell'area lagunare di Kunduchi e cava sulla Wazo Hill sullo sfondo

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                               |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Mediamente diffusi                            |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                               |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione mista dell'edificato             |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                               |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Misto con forte presenza di attività agricole |

Tabella 4.11 Valori assunti dagli indicatori per l'area di Kunduchi

#### 4.2.5.2. Mbezi Beach

L'area Mbezi Beach si sviluppa nella zona centro-nord dell'area di studio, immediatamente a sud dell'area di Kunduchi. E' un insediamento pianificato sviluppatosi dal 1970 in poi, caratterizzato generalmente da una disposizione regolare ed una bassa densità dell'edificato, con uno standard abitativo piuttosto alto (sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ), dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto ("middle and upper class" tanzaniana).

In generale, i servizi primari (sistema idrico e sistema fognario) e le infrastrutture risultano scadenti. Il paradosso osservabile è rappresentato dalla presenza di abitazioni di ottima qualità che non sono facilmente accessibili a causa della mancanza di infrastrutture adeguate.

In questo caso la presenza o meno del sistema idrico non rappresenta un fattore determinante per definire il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea, in quanto gli abitanti di queste aree, avendo la possibilità economica di approvvigionarsi in modi differenti (ad esempio dalle autocisterne o dai venditori ambulanti), risultano meno sensibili al possibile deterioramento delle acque sotterranee.

In particolare, le acque sotterranee vengono perlopiù utilizzate per l'irrigazione dei giardini e dei piccoli orti privati, locati all'interno delle abitazioni (gran parte degli abitanti è fornita di pozzi privati).

L'attività agricola risulta mediamente diffusa, mentre sono poco diffuse le aree dedicate all'attività industriale (attività manifatturiera), concentrate prevalentemente lungo le principali strade.

I valori assunti dagli indicatori per l'area di Mbezi Beach sono mostrati in Tabella 4.12.



Foto 4.15 Area di Mbezi Beach



Foto 4.16 Pozzo utilizzato per l'irrigazione del giardino (Mbezi Beach, Prof. Hayuma)

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                      |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Molto diffusi                        |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                      |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione regolare dell'edificato |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                      |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Misto                                |

Tabella 4.12 Valori assunti dagli indicatori per l'area di Mbezi Beach

#### 4.2.5.3. Kawe

L'area di Kawe si sviluppa nella zona centrale dell'area di studio, immediatamente a sud dell'area di Mbezi Beach. E' un insediamento non pianificato sviluppatosi prima del 1980.

Il tessuto urbano è variabile, essendo formato da aree caratterizzate da una disposizione regolare ed una bassa densità dell'edificato, localizzate soprattutto nella fascia costiera, dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto, ed aree caratterizzate da una disposizione irregolare ed una medio-alta densità dell'edificato, che ospitano fasce più povere di popolazione.

La qualità delle abitazioni, sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ (allacciamento all'acquedotto, presenza di serbatoi di immagazzinamento per l'acque e *septic tanks* per le acque di scarico) è variabile da zona a zona in relazione al reddito di chi ne è il proprietario.

Nelle aree più dense, come già detto, le abitazioni sono disposte in modo irregolare, le strade sono strette e spesso le vie di accesso sono limitate dalle attività informali localizzate negli spazi aperti, talvolta favorendo una mobilità esclusivamente pedonale.

Generalmente i servizi primari e le infrastrutture hanno una bassa qualità, e nelle aree più popolate possono essere del tutto assenti.

L'acquisto di acqua, sia da privati connessi al sistema idrico o dotati di proprio pozzo che da venditori ambulanti, è la pratica di approvvigionamento prevalente.

L'agricoltura e l'allevamento rappresentano le attività economiche principali della popolazione. Difatti buona parte del territorio è dedicato all'attività agricola. Mentre sono mediamente diffuse le aree dedicate all'attività manifatturiera (lavorazione del legno e del metallo), concentrate prevalentemente lungo le principali strade.

Ad ogni modo, considerando l'elevata presenza di aree dedicate all'attività agricola, le fonti primarie di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque sotterranee e dalle acque superficiali (in funzione della stagione). In particolare, sono presenti numerosi pozzi, soprattutto di tipo informale (perforazioni superficiali).

I valori assunti dagli indicatori per l'area di Kawe sono mostrati in Tabella 4.13.



Foto 4.17 Zona a bassa densità nell'area di Kawe



Foto 4.18 Zona a medio-alta densità nell'area di Kawe



Foto 4.19 Abitazione di elevata qualità nella zona a bassa densità nell'area di Kawe



Foto 4.20 Zona a medio-alta densità nell'area di Kawe

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                               |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Mediamente diffusi                            |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                               |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione mista dell'edificato             |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                               |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Misto con forte presenza di attività agricole |

Tabella 4.13 Valori assunti dagli indicatori per l'area di Kawe

#### 4.2.5.4. Mikocheni

L'area Mikocheni si sviluppa nella zona centro-sud dell'area di studio, immediatamente a sud dell'area di Kawe. E' un insediamento pianificato sviluppatosi dal 1970 in poi, in parte di tipo residenziale, ed in parte di tipo industriale.

L'area residenziale è caratterizzata generalmente da una disposizione regolare ed una media densità dell'edificato, con uno standard abitativo piuttosto alto (sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ), dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto. Le strutture abitative sono generalmente caratterizzate da costruzioni indipendenti di 2/3 piani, spesso con giardini privati. La dotazione di servizi ed infrastrutture è sufficiente, considerando gli standard di Dar es Salaam. Infatti buona parte delle abitazioni è dotata di allacciamento alle rete idrica.

Inoltre molti abitanti sono forniti di pozzo privato, ma in questo caso le acque sotterranee vengono perlopiù utilizzate per l'irrigazione dei giardini e dei piccoli orti privati, locati all'interno delle abitazioni.

L'area industriale è piuttosto estesa ed ospita perlopiù industrie alimentari, chimiche e manifatturiere, che utilizzano soprattutto l'acqua sotterranea per i propri cicli produttivi. La



maggior parte delle industrie infatti è fornita di più di un pozzo. Sono assenti aree dedicate all'attività agricola.

I valori assunti dagli indicatori per l'area di Mikocheni sono mostrati in Tabella 4.14.



Foto 4.21 Area di Mikocheni



Foto 4.22 Edificio di 2 piani con 4 serbatoi di immagazzinamento dell'acqua. Area di Mikocheni

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                      |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Mediamente diffusi                   |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                      |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione regolare dell'edificato |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                      |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Misto                                |

Tabella 4.14 Valori assunti dagli indicatori per l'area di Mikocheni

#### 4.2.5.5. Msasani

L'area di Msasani si sviluppa nella zona sud dell'area di studio, immediatamente a sud dell'area di Mikocheni. E' un insediamento residenziale sviluppatosi prima del 1980, comprendente sia aree pianificate che aree non pianificate.

Il tessuto urbano è variabile, essendo formato da aree con una distribuzione regolare ed una bassa densità dell'edificato, sia pianificate che non pianificate, dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto, ed aree informali con una alta densità ed una distribuzione irregolare dell'edificato, che ospitano fasce più povere di popolazione.

La qualità delle abitazioni, sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ (allacciamento all'acquedotto, presenza di serbatoi di immagazzinamento per l'acque e *septic tanks* per le acque di scarico) è variabile da zona a zona in relazione al reddito di chi ne è il proprietario.

Nelle aree più dense le abitazioni sono disposte in modo irregolare, le strade sono strette e spesso le vie di accesso sono limitate dalle attività informali localizzate negli spazi aperti, talvolta favorendo una mobilità esclusivamente pedonale.

Nelle aree pianificate i servizi primari e le infrastrutture sono sufficienti e buona parte delle abitazioni è dotata di allacciamento alle rete idrica. Inoltre, in tali aree, molti abitanti sono forniti di pozzo privato, ma in questo caso le acque sotterranee vengono perlopiù utilizzate per l'irrigazione dei giardini e dei piccoli orti privati, locati all'interno delle abitazioni.

Nelle aree non pianificate i servizi primari e le infrastrutture sono scadenti: manca completamente il sistema fognario ed il sistema idrico serve solo una piccola parte di popolazione (connessione diretta per chi ha maggior capacità economica). In tali aree, l'acquisto di acqua, sia da privati connessi al sistema idrico o dotati di proprio pozzo che da venditori ambulanti, è la pratica di approvvigionamento prevalente. Inoltre sono molto diffuse le perforazioni superficiali illegali.

Le aree dedicate alle attività agricole ed industriali sono poco diffuse.

I valori assunti dagli indicatori per l'area di Msasani sono mostrati in Tabella 4.15.



Foto 4.23 Abitazione di elevata qualità nella zona pianificata dell'area di Msasani



Foto 4.24 Giardino interno di una abitazione nell'area di Msasani



Foto 4.25 Zona non pianificata nell'area di Msasani



Foto 4.26 Zona non pianificata nell'area di Msasani



| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                   |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Mediamente diffusi                |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                   |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione mista dell'edificato |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                   |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Prevalentemente residenziale      |

Tabella 4.15 Valori assunti dagli indicatori per l'area di Msasani

#### 4.2.5.6. Oysterbay

L'area di Oysterbay si sviluppa nella zona sud dell'area di studio, ed occupa quasi interamente la Msasani Peninsula. E' un insediamento pianificato sviluppatosi prima del 1970, nel quale erano situati gli stanziamenti coloniali britannici.

E' un'area principalmente di tipo residenziale, caratterizzata generalmente da una bassa densità ed una disposizione regolare dell'edificato, con uno standard abitativo molto alto (sia rispetto alla tipologia costruttiva che alla dotazione di servizi in situ). Infatti le abitazioni sono molto spaziose e dotate di grandi giardini privati.

Sicuramente rappresenta una delle aree urbane di maggior qualità a Dar es Salaam, destinata ad abitanti con un alto reddito (soprattutto la classe dirigente tanzaniana). In particolare, molte ambasciate straniere e molti alberghi di lusso sono situati ad Oysterbay.

La dotazione di servizi primari ed infrastrutture è buona e la gran parte delle abitazioni è dotata di allacciamento alle rete idrica.

Le pratiche di compravendita dell'acqua sono poco diffuse e le acque sotterranee vengono perlopiù utilizzate per l'irrigazione dei giardini locati all'interno delle abitazioni (gran parte degli abitanti è fornita di pozzi privati).

Le aree dedicate all'attività agricola ed industriale sono praticamente assenti.

I valori assunti dagli indicatori per l'area di Oysterbay sono mostrati in Tabella 4.16.



Foto 4.27 Area di Oysterbay



Foto 4.28 Area di Oysterbay

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                      |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Molto diffusi                        |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                      |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione regolare dell'edificato |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                      |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Prevalentemente residenziale         |

Tabella 4.16 Valori assunti dagli indicatori per l'area di Oysterbay

#### 4.2.5.7. Kijitonyama/Mwananyamala/Kinondoni

Le aree di Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni si sviluppano nella zona sud-ovest dell'area di studio, e confinano con le aree di Mikocheni, Msasani e Oysterbay.

Kijitonyama è un insediamento prevalentemente pianificato sviluppatosi dal 1970. Mwananyamala è un insediamento prevalentemente non pianificato sviluppatosi prima del 1980. Mentre Kinondoni è un insediamento pianificato sviluppatosi prima del 1970.

Sono aree prevalentemente di tipo residenziale, caratterizzate da una media-alta densità dell'edificato, dove si concentrano perlopiù abitanti di medio-basso reddito.

Le strade sono strette e spesso le vie di accesso sono limitate dalle attività informali localizzate negli spazi aperti, talvolta favorendo una mobilità esclusivamente pedonale.

La dotazione di servizi primari ed infrastrutture è carente e lo standard abitativo risulta piuttosto basso.

A Kijitonyama e Mwananyamala, le abitazioni sono generalmente basse ed hanno una disposizione irregolare, mentre Kinondoni è costituita principalmente dalla tipologia cittadina delle *Swahili Houses* (costruite in epoca coloniale e destinate alla popolazione africana che lavorava negli uffici europei), strutture abitative in cemento, rettangolari e compatte perlopiù disposte regolarmente, in cui le condizioni igienico-sanitarie sono piuttosto problematiche, a causa della scarsa ventilazione e del calore interno, dovuto alla presenza di tetti in metallo.

In generale, manca completamente il sistema fognario ed il sistema idrico serve solo una piccola parte di popolazione (connessione diretta per chi ha maggior capacità economica).

Infatti l'acquisto di acqua, sia da privati connessi al sistema idrico o dotati di proprio pozzo che da venditori ambulanti, è la pratica di approvvigionamento prevalente. Inoltre sono molto diffuse le perforazioni superficiali illegali.

Le aree dedicate all'attività agricola risultano poco diffuse e sono perlopiù concentrate lungo le valli alluvionali dei corsi d'acqua, mentre sono praticamente assenti aree dedicate all'attività industriale.

I valori assunti dagli indicatori per le aree di Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni sono mostrati in Tabella 4.17.



Foto 4.29 Area di Mwananyamala



Foto 4.30 Area di Kinondoni



Foto 4.31 Area di Kijitonyama



Foto 4.32 Area di Kijitonyama

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIA                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                   |
| PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA                  | Poco diffusi                      |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                   |
| MORFOLOGIA INSEDIATIVA                                                                | Disposizione mista dell'edificato |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                   |
| TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI                                                       | Prevalentemente residenziale      |

Tabella 4.17 Valori assunti dagli indicatori per le aree di Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni

## 5. RISULTATI

### 5.1. La vulnerabilità presente delle comunità rispetto all'intrusione salina nell'acquifero costiero

Come è stato mostrato nel Cap. 2 (Par. 2.3.1), la vulnerabilità presente delle persone o delle comunità rispetto ad una certa perturbazione è funzione di due fattori principali:

- La sensibilità del sistema biofisico rispetto alla perturbazione.  
Tale fattore (rischio di evento pericoloso) rappresenta la potenzialità che il sistema biofisico possa essere danneggiato dalle conseguenze di un evento dannoso, ed individua il grado di esposizione delle persone o delle comunità alla perturbazione (dipendenza dei gruppi sociali verso il sistema biofisico).
- La sensibilità del sistema sociale, ossia la capacità delle persone o delle comunità di far fronte alla perturbazione, assorbire gli impatti (resistenza), recuperare (resilienza), o adattarsi al cambiamento.  
Tale fattore determina il grado di suscettibilità delle persone o delle comunità alla perturbazione e si riferisce alla vulnerabilità sociale ed economica dei differenti gruppi sociali (definizione dei gruppi vulnerabili).

La vulnerabilità unisce l'insieme delle pressioni sul sistema biofisico ed i differenti aspetti delle capacità e delle condizioni dei gruppi sociali, come, ad esempio, il grado di povertà, la sicurezza alimentare, il reddito, la salute o la dotazione di abitazione (Downing et al., 2007).

E' un aspetto essenziale del sistema sociale ed economico ed in questo senso la valutazione di vulnerabilità è una attività prettamente qualitativa.

Per quanto concerne il caso in studio, la vulnerabilità presente delle comunità rispetto all'intrusione salina nell'acquifero costiero, può essere espressa come l'unione tra la sensibilità del sistema biofisico (evoluzione nel tempo del fenomeno), che determina il grado di esposizione delle comunità alla perturbazione, e la sensibilità dei differenti gruppi sociali (grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea), che mostra il grado di suscettibilità (capacità delle comunità di resistere, recuperare ed adattarsi) rispetto alle conseguenze dell'evento dannoso (aumento dell'intrusione salina).

Il procedimento per la definizione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto alla salinazione dell'acquifero costiero è consistito in una serie di operazioni che, partendo dai risultati ottenuti nella fase di elaborazione dati, hanno permesso la costruzione di carte tematiche che visualizzano la criticità del territorio in studio sulla base della sua sensibilità fisica e sociale.

A conclusione del processo di analisi sono state quindi prodotte delle carte di sintesi: una relativa alle condizioni di contaminazione dell'acquifero costiero, rispetto alla quale ci si è focalizzati sulle aree con predominanza di fattori di contaminazione marina, e l'altra relativa al grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea delle comunità insediate nelle differenti aree analizzate.

La sovrapposizione tra le due ha portato a definire lo stato di vulnerabilità delle comunità rispetto alla salinizzazione dell'acquifero.

I risultati ottenuti dallo studio dell'evoluzione nel tempo del fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera, incentrato sull'analisi delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (parametri chimico-fisici dell'acqua), sono stati relazionati con le caratteristiche di uso del suolo proprie dell'area di studio (indice delle possibili fonti di contaminazione), al fine di individuare le zone all'interno dell'area di studio maggiormente sensibili alla contaminazione marina.

L'esito di tale attività ha permesso la costruzione di 2 mappe della sensibilità del sistema biofisico (*Biophysical System Sensitivity Mapping*) corrispondenti ai per i 2 intervalli temporali considerati nell'analisi.

Mentre l'analisi qualitativa delle caratteristiche degli insediamenti in studio, incentrata sulla valutazione di opportuni indicatori, ha permesso l'individuazione della tipologia prevalente di approvvigionamento idrico nelle diverse aree urbane analizzate, e, di conseguenza, la determinazione del grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea per gli abitanti dei differenti insediamenti. Tale parametro definisce il livello di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee.

Per la rappresentazione dei risultati ottenuti da tale attività è stata costruita la mappa della sensibilità del sistema sociale (*Social System Sensitivity Mapping*).

Per la definizione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto alla salinizzazione della falda acquifera, si è cercato di comprendere come la sensibilità del sistema sociale (grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea) interagisca con il grado di esposizione alla perturbazione (sensibilità del sistema biofisico: evoluzione nel tempo del fenomeno di salinizzazione dell'acquifero costiero) nei differenti insediamenti presenti all'interno dell'area di studio.

A tal proposito sono stati sovrapposti i risultati dell'analisi della sensibilità del sistema biofisico, con i risultati dell'analisi della sensibilità del sistema sociale.

L'esito di tale attività ha permesso la costruzione della mappa della vulnerabilità delle comunità rispetto all'intrusione salina nell'acquifero costiero (*Vulnerability Mapping*).

Nei paragrafi successivi verranno espone le 3 fasi del processo di valutazione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero:

- Biophysical System Sensitivity Mapping
- Social System Sensitivity Mapping
- Vulnerability Mapping.

#### 5.1.1. *Biophysical System Sensitivity Mapping*

I risultati ottenuti dallo studio dell'evoluzione del fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera, basato sull'analisi delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (determinazione della struttura idrogeologica, ricostruzione delle curve di isoconducibilità, evoluzione nel tempo dei valori puntuali di conducibilità elettrica, analisi dei parametri chimici dei punti d'acqua, ricostruzione della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata) sono stati correlati con le caratteristiche di uso del suolo proprie dell'area di studio, al fine di

costruire, per i due intervalli temporali considerati, mappe della sensibilità del sistema biofisico, in modo da definire le zone, all'interno dell'area di studio, maggiormente sensibili al fenomeno dell'intrusione salina.

In generale, la tipologia di uso del suolo (aree pianificate, aree non pianificate, aree commerciali ed industriali, aree verdi coltivate, ed aree verdi non coltivate) può essere considerata come un indice delle possibili fonti di inquinamento puntuali e diffuse (reflui domestici, scarichi industriali e scarichi provenienti da attività agricole).

Nelle Figure 5.1 e 5.2 sono mostrate le variazioni dei valori puntuali di EC propri dei punti d'acqua disponibili (tra l'anno di costruzione del pozzo ed il 2005, e tra l'anno di costruzione del pozzo ed il 2010), rispetto alle caratteristiche di uso del suolo.

Mentre nelle Figure 5.3 e 5.4 sono mostrati, per i due intervalli temporali (1997-2002/2003-2008), i punti d'acqua che hanno mostrato segni di intrusione di acqua salata dall'oceano, rispetto alle caratteristiche di uso del suolo.

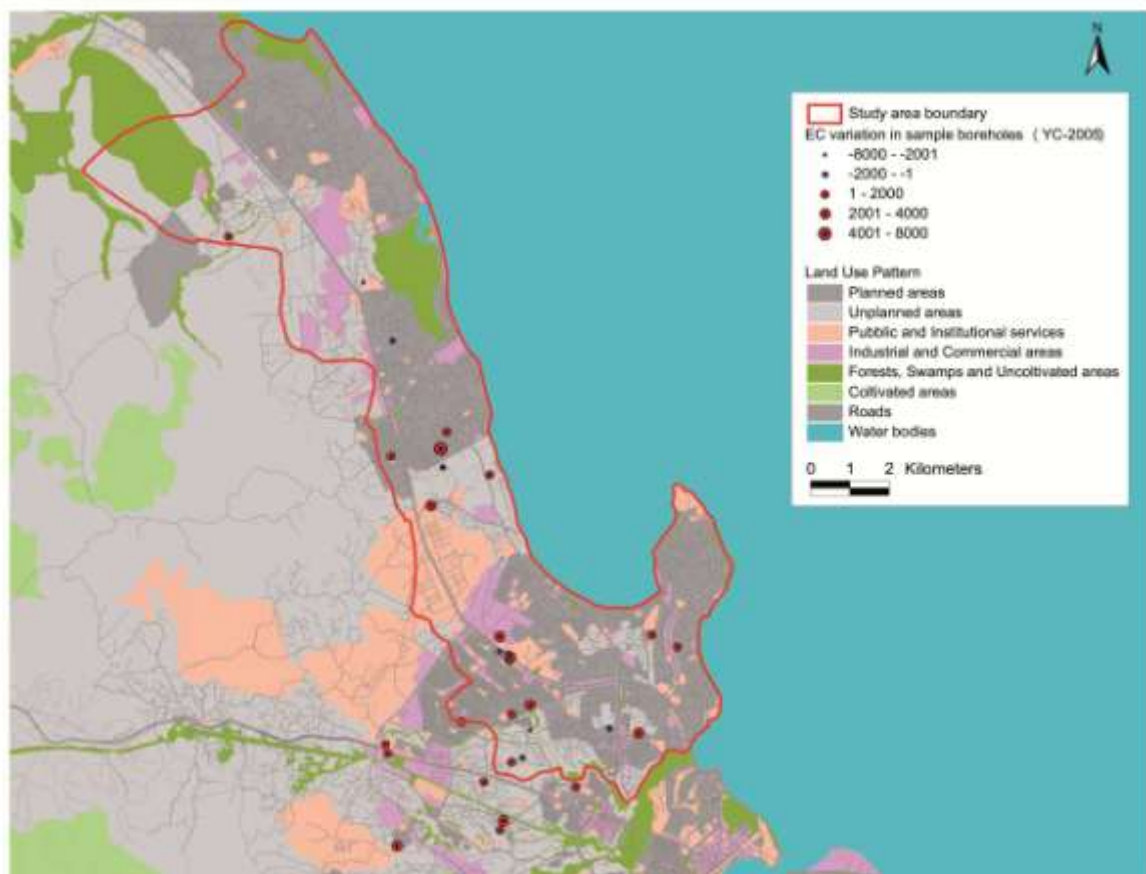


Figura 5.1 Variazioni dei valori puntuali di EC propri dei punti d'acqua disponibili, tra l'anno di costruzione del pozzo ed il 2005



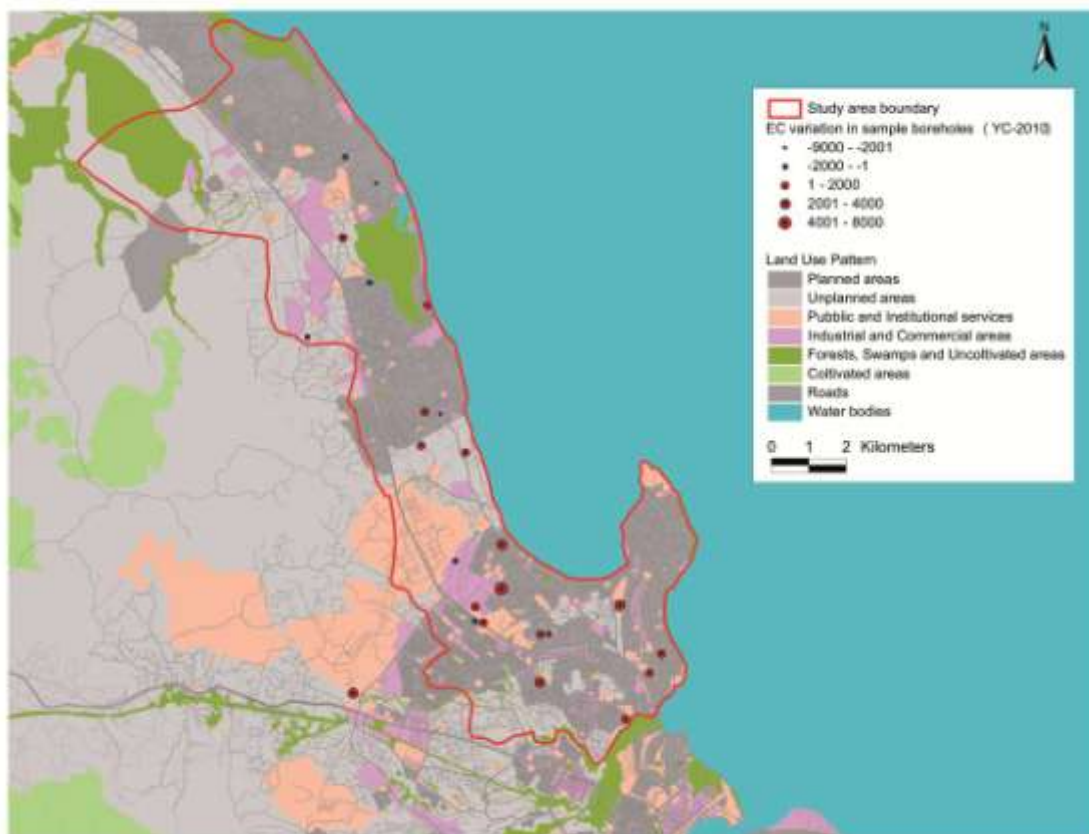


Figura 5.2 Variazioni dei valori puntuali di EC propri dei punti d'acqua disponibili, tra l'anno di costruzione del pozzo ed il 2010

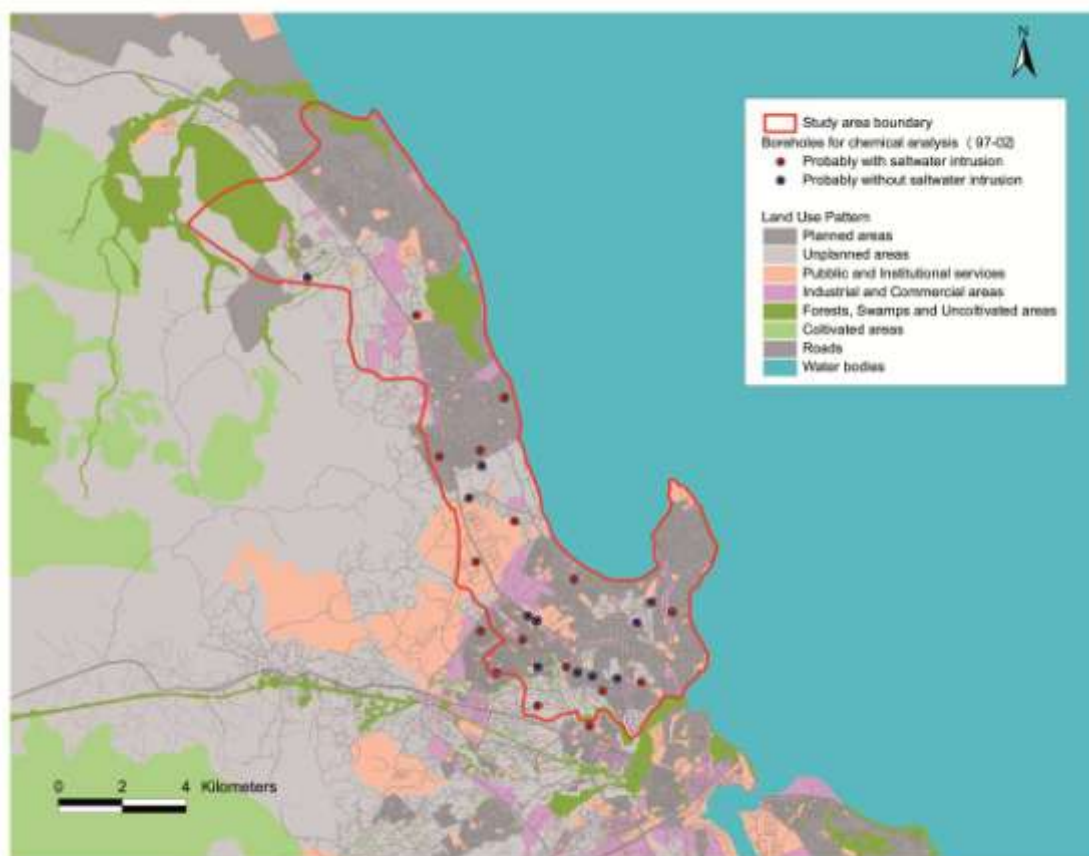


Figura 5.3 Punti d'acqua con segni di intrusione salina, rispetto alle caratteristiche di uso del suolo – 1997-2002

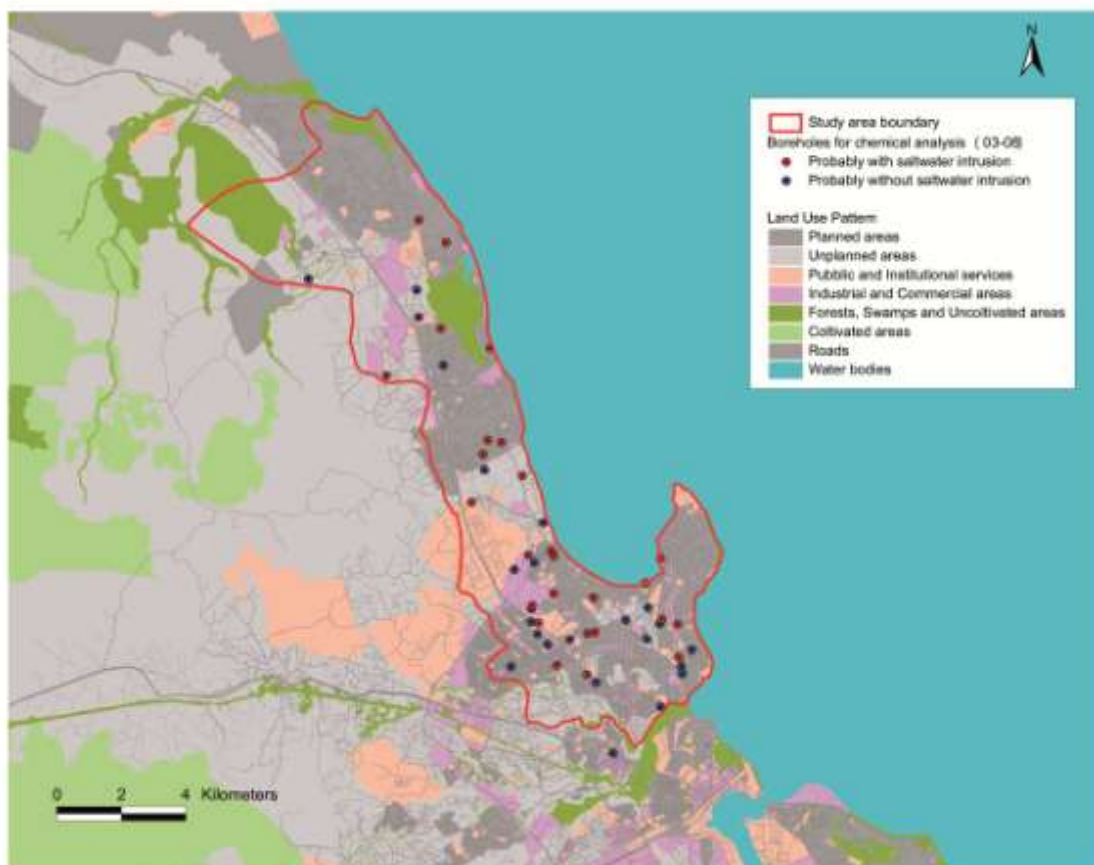


Figura 5.4 Punti d'acqua con segni di intrusione salina, rispetto alle caratteristiche di uso del suolo – 2003-2008

Come è stato mostrato nel Cap. 4 (Par. 4.1.3.), un incremento nel tempo dei valori di conducibilità elettrica delle acque sotterranee potrebbe essere correlato con differenti fattori, quali:

- Aumento dell'ingressione nella falda acquifera di acqua salata proveniente dall'oceano, soprattutto negli acquiferi costieri.
- Fattori di salinizzazione naturale, come la risalita di acque saline fossili, e l'erosione chimica delle rocce carbonatiche (dissoluzione della calcite dei depositi calcarei).
- Presenza di inquinanti di tipo antropico, provenienti da scarichi civili, attività agricola o attività industriale (come nitrati, fosfati, solfati).

Le differenti fonti di inquinamento antropico e naturale sono state descritte nel Cap. 3 (Par. 3.5.5.).

Per la ricostruzione delle mappe della sensibilità del sistema biofisico, le zone, all'interno delle quali i punti d'acqua mostravano alti valori di conducibilità elettrica sono state classificate in base alla supposta predominanza di una tipologia di contaminazione rispetto ad un'altra.

Naturalmente tale operazione deve essere considerata come un'approssimazione; infatti, in ogni singola area vi potrebbero essere la presenza di molteplici fattori di contaminazione.

I fattori di contaminazione derivanti da attività agricola sono stati considerati all'interno dei fattori domestici, in quanto l'agricoltura urbana è un'attività spesso a conduzione familiare, perlopiù localizzata nelle aree periurbane (formali ed informali).

Per la classificazione dei differenti fattori di contaminazione sono stati utilizzati i seguenti criteri concettuali:

- Presenza di punti d'acqua che manifestano segni di intrusione marina (da analisi dei parametri chimici) - Valori di EC superiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – Localizzazione all'interno del deposito del Quaternario  
→ Prevalenza di fattori di contaminazione marina.
- Presenza di punti d'acqua che manifestano segni di intrusione marina (da analisi dei parametri chimici) - Valori di EC superiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – Localizzazione al confine tra il deposito del Quaternario ed il deposito del Neogene  
→ Prevalenza di fattori geologici di salinizzazione naturale (risalita di acque saline fossili attraverso il sistema di faglie).
- Presenza di punti d'acqua che non manifestano segni di intrusione marina (da analisi dei parametri chimici) - Valori di EC superiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – Aree urbane (pianificate e non pianificate), ed aree coltivate  
→ Prevalenza di fattori di contaminazione derivanti da attività domestiche ed agricole (reflui civili).
- Presenza di punti d'acqua che non manifestano segni di intrusione marina (da analisi dei parametri chimici) - Valori di EC superiori a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – Aree industriali e commerciali  
→ Prevalenza di fattori di contaminazione derivanti da attività industriale e commerciale.

| CRITERI<br>CONCETTUALI<br>FATTORI<br>DI<br>CONTAMINAZIONE                                        | Presenza di<br>punti d'acqua<br>con segni di<br>intrusione<br>marina | Valori di<br>EC<br>superiori a<br>2000<br>$\mu\text{S}/\text{cm}$ | Localizzazione<br>all'interno del<br>deposito del<br>Quaternario | Localizzazione al<br>confine tra il<br>deposito del<br>Quaternario ed il<br>deposito del<br>Neogene | Aree urbane<br>(pianificate e<br>non pianificate),<br>ed aree coltivate | Aree<br>industriali e<br>commerciali |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Prevalenza di fattori di<br>contaminazione marina                                                | SI                                                                   | SI                                                                | SI                                                               | NO                                                                                                  | SI/NO                                                                   | SI/NO                                |
| Prevalenza di fattori<br>geologici di salinizzazione<br>naturale                                 | SI                                                                   | SI                                                                | NO                                                               | SI                                                                                                  | SI/NO                                                                   | SI/NO                                |
| Prevalenza di fattori di<br>contaminazione derivanti<br>da attività domestiche ed<br>agricole    | NO                                                                   | SI                                                                | SI/NO                                                            | SI/NO                                                                                               | SI                                                                      | NO                                   |
| Prevalenza di fattori di<br>contaminazione derivanti<br>da attività industriale e<br>commerciale | NO                                                                   | SI                                                                | SI/NO                                                            | SI/NO                                                                                               | NO                                                                      | SI                                   |

Tabella 5.1 Criteri concettuali per la classificazione dei fattori di contaminazione prevalenti

Le mappe della sensibilità del sistema biofisico, per i 2 intervalli temporali considerati, sono mostrate nelle Figure 5.5 e 5.6.

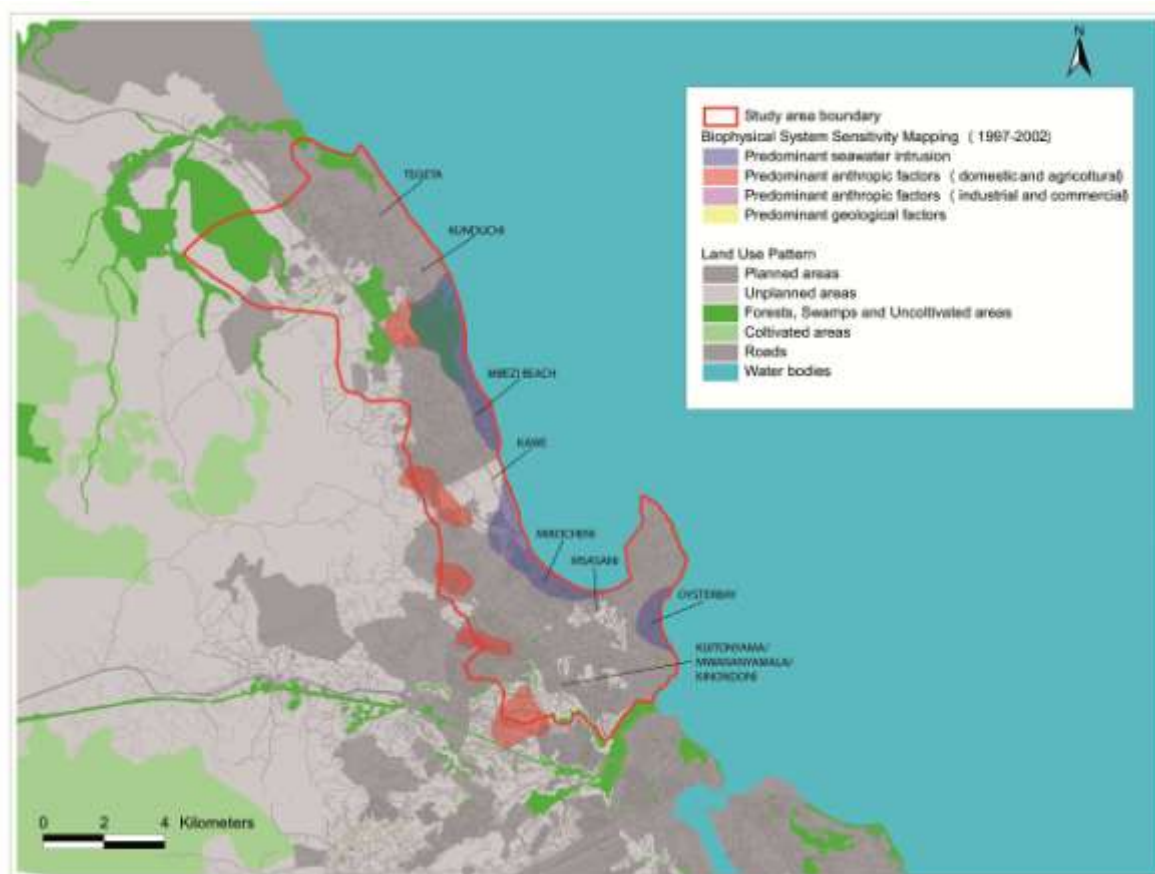


Figura 5.5 *Biophysical System Sensitivity Mapping*. Carta della sensibilità del sistema biofisico – 1997-2002

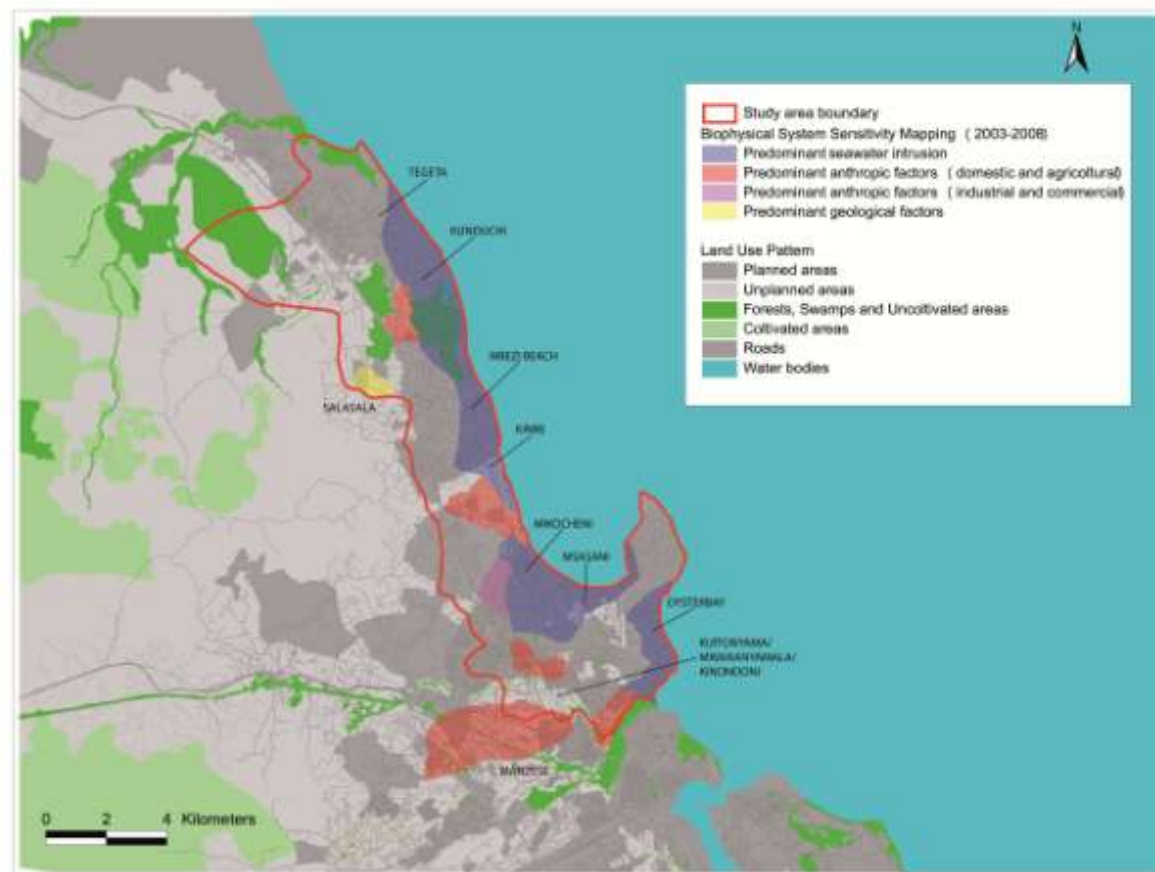


Figura 5.6 *Biophysical System Sensitivity Mapping*. Carta della sensibilità del sistema biofisico – 2003-2008

Dal confronto delle mappe della sensibilità del sistema biofisico relative ai 2 intervalli temporali considerati è possibile osservare che:

- Le zone con prevalenza di fattori di contaminazione marina si concentrano lungo la fascia costiera, e sono notevolmente aumentate nel tempo. Le zone dove questa tendenza è maggiormente accentuata corrispondono alle aree urbane di Kunduchi, Mbezi Beach, Kawe, Mikocheni, Msasani e Oysterbay.
- Le zone con prevalenza di fattori di contaminazione derivanti da attività domestiche ed agricole (agricoltura urbana) sono aumentate nel tempo, e si concentrano prevalentemente nelle aree urbane informali (ed in parte nelle aree pianificate), dove il sistema fognario è inesistente e prevale l'utilizzo di strutture sanitarie in situ (*pit-latrine*, e *septic tank*), i cui effluenti rappresentano una potenziale fonte di inquinamento per la falda acquifera.  
Le zone dove questa tendenza è accentuata corrispondono all'area urbana di Manzese (al di fuori dell'area di studio) e parte delle aree di Kunduchi, Kawe, Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni.
- Le zone con prevalenza di contaminazione derivanti da attività industriale e commerciale sono presenti solo nel secondo intervallo temporale e corrispondono a parte dell'area di Mikocheni, dove sono localizzate industrie alimentari e manifatturiere.
- Le zone con prevalenza di fattori geologici sono presenti solo nel secondo intervallo temporale e corrispondono a parte dell'area urbana di Kunduchi (Salasala), localizzata al margine tra i depositi del Quaternario ed i depositi del Neogene (possibile risalita di acque saline "fossili").

Nell'area di Tegeta non sono disponibili dati sufficienti, per cui non è stato possibile stabilire la presenza e l'eventuale evoluzione nel tempo del fenomeno di intrusione salina.

L'analisi dei parametri idrogeologici dell'acquifero ha mostrato come esso sia sensibile all'intrusione salina.

L'aumento di contaminazione marina negli ultimi anni sembra essere correlato con il sempre maggior sfruttamento dell'acqua sotterranea per l'approvvigionamento idrico (elevato tasso di aumento della popolazione), come testimoniato dall'abbassamento del livello piezometrico della falda acquifera. Naturalmente, per determinare in modo più preciso l'effettiva estensione della contaminazione marina sarebbero necessarie ulteriori e più approfondite indagini sulle caratteristiche fisiche e chimiche dell'acquifero.

Ad ogni modo, dall'interpretazione dei risultati ottenuti si evince che le zone maggiormente sensibili al fenomeno dell'intrusione salina corrispondono alle aree urbane di Oysterbay, Msasani, Mikocheni, Kawe, Mbezi Beach e Kunduchi.

### 5.1.2. Social System Sensitivity Mapping

Il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea definisce il livello di sfruttamento dell'acqua di falda da parte degli abitanti delle differenti aree urbane analizzate per le attività domestiche ed economiche e, di conseguenza, rappresenta il livello di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee.



L'analisi qualitativa delle caratteristiche degli insediamenti in studio, basata sulla valutazione di opportuni indicatori corrispondenti alle differenti classi considerate (criteri di valutazione della fonte di approvvigionamento idrico prevalente: caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate, caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti, caratteristiche funzionali delle attività insediate), ha permesso l'individuazione della tipologia prevalente di approvvigionamento idrico nelle diverse aree urbane analizzate, attraverso la quale è possibile definire il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea.

Per tradurre le informazioni fornite dagli indicatori in una forma più idonea alla generalizzazione e alla sintesi, si è proceduto associando ad ogni categoria di variazione propria degli indicatori un fattore scelto sulla base del maggiore o minore contributo che tale condizione fornisce all'indirizzarsi da parte delle comunità verso l'utilizzo dell'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento.

In particolare, i fattori associati considerati sono:

- 2 → elevato contributo verso l'utilizzo delle acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento
- 1 → medio contributo verso l'utilizzo delle acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento
- 0 → basso contributo verso l'utilizzo delle acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento

In Tabella 5.2 sono mostrati i fattori associati ad ogni categoria di variazione degli indicatori.

| INDICATORE                                                                            | CATEGORIE DI VARIAZIONE                       | FATTORE ASSOCIATO |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| <b>Classe 1 - Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate</b>         |                                               |                   |
| <b>1A. PRESENZA NELLE ABITAZIONI DI SERBATOI DI IMMAGAZZINAMENTO DELL'ACQUA</b>       | Poco diffusi                                  | 2                 |
|                                                                                       | Mediamente diffusi                            | 1                 |
|                                                                                       | Molto diffusi                                 | 0                 |
| <b>Classe 2 – Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti</b> |                                               |                   |
| <b>2A. MORFOLOGIA INSEDIATIVA</b>                                                     | Disposizione irregolare dell'edificato        | 2                 |
|                                                                                       | Disposizione mista dell'edificato             | 1                 |
|                                                                                       | Disposizione regolare dell'edificato          | 0                 |
| <b>Classe 3 – Caratteristiche funzionali delle attività insediate</b>                 |                                               |                   |
| <b>3A. TIPOLOGIA DI ATTIVITA' PRESENTI</b>                                            | Misto con forte presenza di attività agricole | 2                 |
|                                                                                       | Misto                                         | 1                 |
|                                                                                       | Prevalentemente Residenziale                  | 0                 |

Tabella 5.2 Fattori associati ad ogni categoria di variazione degli indicatori



La combinazione dei fattori corrispondenti alle categorie di variazione dei differenti indicatori permette di ottenere una singola misura scalare, che esprime il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea nei differenti insediamenti in studio (sensibilità sociale). A tal proposito, per ogni unità territoriale sono stati sommati i valori dei fattori associati relativi agli indicatori delle 3 classi considerate, senza assegnare pesi specifici ai singoli fattori (ugual contributo di ogni indicatore) (metodo di regressione multipla).

Il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea sarà espresso dalla seguente relazione:

$$GD_{acq.sott.,i} = (F_{1A,i})_{classe1} + (F_{2A,i})_{classe2} + (F_{3A,i})_{classe3}$$

dove:

- $GD_{acq.sott.,i}$  rappresenta il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea relativo all'insediamento  $i$ ;
- $(F_{1A,i})_{classe1}$  rappresenta il valore che il fattore relativo all'indicatore 1A della classe 1 (presenza nelle abitazioni di serbatoi di immagazzinamento dell'acqua) assume nell'insediamento  $i$ ;
- $(F_{2A,i})_{classe2}$  rappresenta il valore che il fattore relativo all'indicatore 2A della classe 2 (morfologia insediativa) assume nell'insediamento  $i$ ;
- $(F_{3A,i})_{classe3}$  rappresenta il valore che il fattore relativo all'indicatore 3A della classe 3 (tipologia di attività presenti) assume nell'insediamento  $i$ .

Sulla base delle possibili combinazioni dei fattori che si possono avere, i valori estremi sono rappresentati da:

- $GD_{acq.sott.,max} = 6$  , nel caso tutti i fattori associati assumano il valore massimo (=2)
- $GD_{acq.sott.,min} = 0$  , nel caso tutti i fattori associati assumano il valore minimo (=0).

La classificazione applicata per definire il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea è mostrata in Tabella 5.3.

| <b>GRADO DI DIPENDENZA DELLE COMUNITA' DALLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA</b> | <b>INTERVALLI DI VARIAZIONE DI <math>GD_{acq.sott}</math></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| BASSO                                                                       | $0 \leq GD_{acq.sott} < 2$                                    |
| MEDIO                                                                       | $2 \leq GD_{acq.sott} < 4$                                    |
| ALTO                                                                        | $4 \leq GD_{acq.sott} \leq 6$                                 |

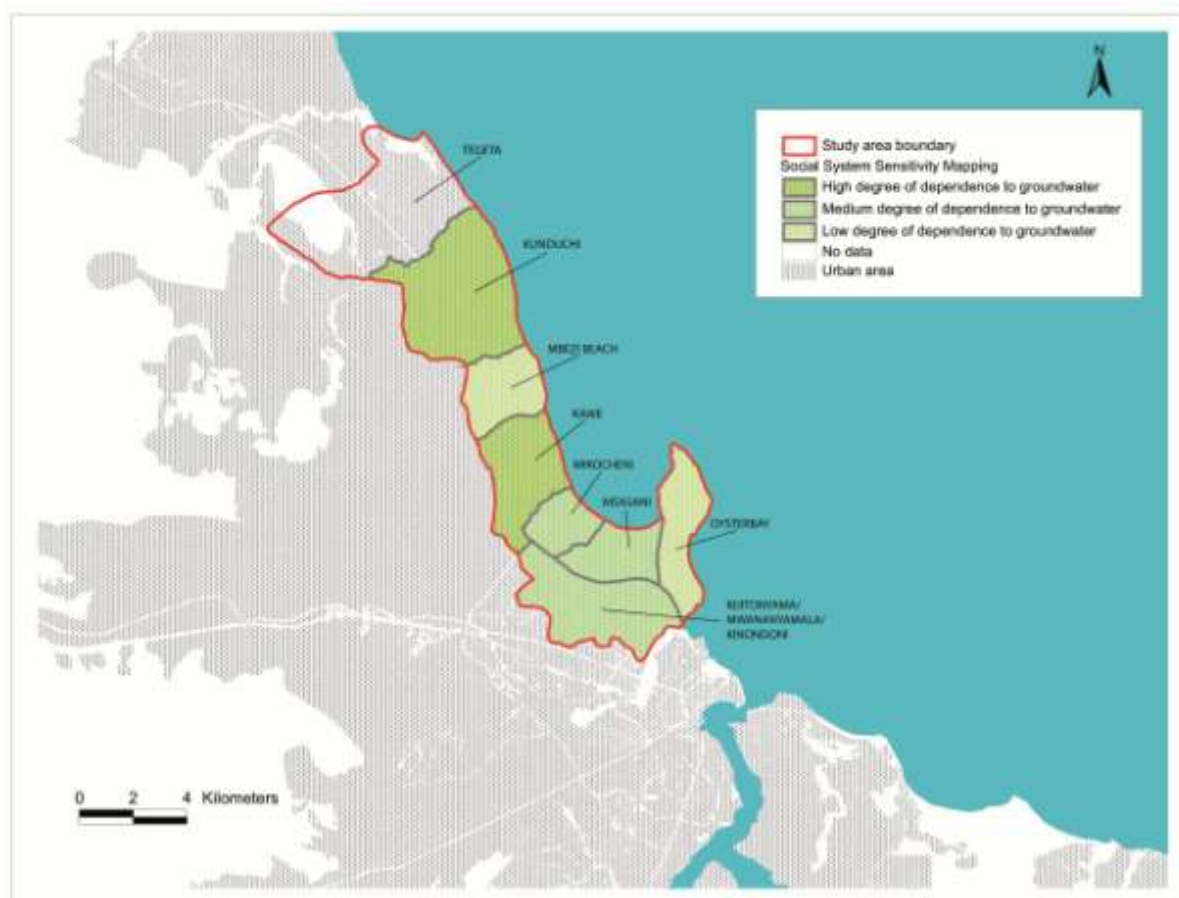
Tabella 5.3 Classificazione del grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea

Applicando tale metodologia qualitativa a ciascuna delle zone di interesse, si ottiene una classificazione degli insediamenti urbani rispetto al grado di dipendenza degli abitanti dalla risorsa idrica sotterranea.

| AREA URBANA                            | INDICATORI |    |    | GD <sub>acq.sott</sub> | GRADO DI DIPENDENZA DELLE<br>COMUNITA' DALLA RISORSA<br>IDRICA SOTTERRANEA |
|----------------------------------------|------------|----|----|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                        | 1A         | 2A | 3A |                        |                                                                            |
| Kunduchi                               | 1          | 1  | 2  | 4                      | ALTO - Alto livello di sensibilità sociale                                 |
| Mbezi Beach                            | 0          | 0  | 1  | 1                      | BASSO - Basso livello di sensibilità sociale                               |
| Kawe                                   | 1          | 1  | 2  | 4                      | ALTO - Alto livello di sensibilità sociale                                 |
| Mikocheni                              | 1          | 0  | 1  | 2                      | MEDIO - Medio livello di sensibilità sociale                               |
| Msasani                                | 1          | 1  | 0  | 2                      | MEDIO - Medio livello di sensibilità sociale                               |
| Oysterbay                              | 0          | 0  | 0  | 0                      | BASSO - Basso livello di sensibilità sociale                               |
| Kijitonyama/<br>Mwananyamala/Kinondoni | 2          | 1  | 0  | 3                      | MEDIO - Medio livello di sensibilità sociale                               |

Tabella 5.4 Classificazione degli insediamenti urbani rispetto al grado di dipendenza degli abitanti dalla risorsa idrica sotterranea

I risultati ottenuti hanno permesso la costruzione della mappa della sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee (Figura 5.7).

Figura 5.7 *Social System Sensitivity Mapping*. Carta della sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee

Dall'analisi dei risultati ottenuti è possibile osservare che:

- Le aree dove le comunità posseggono un alto grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea sono Kunduchi e Kawe.

Tali insediamenti sono caratterizzati dalla presenza di un tessuto urbano misto (presenza di aree pianificate ed informali), e da una qualità abitativa variabile in relazione alla capacità economica degli abitanti.

Il servizio idrico risulta scarso e prevalgono fonti di approvvigionamento alternative (acqua sotterranee, acque superficiali e pratiche di compravendita).

Ad ogni modo, l'elevata presenza di aree dedicate all'attività agricola (ed industriale nel caso di Kunduchi) sembra essere il fattore decisivo nel determinare un alto livello di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento della risorsa idrica sotterranea.

- Le aree dove le comunità posseggono un medio grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea sono Mikocheni, Msasani e Kijitonyama/Mwananyamala/Kinondoni.

Mikocheni è un insediamento pianificato caratterizzato da una buona qualità abitativa e da una sufficiente dotazione di servizi. In questo caso l'elevata presenza di aree dedicate all'attività industriale sembra essere il fattore decisivo nel determinare un medio livello di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento della risorsa idrica sotterranea.

Msasani e Kijitonyama/Mwananyamala/Kinondoni sono insediamenti caratterizzati da un tessuto urbano misto (presenza di aree pianificate con buona qualità abitativa, ed aree informali con scarsa qualità abitativa).

In questo caso la presenza di aree urbane informali scarsamente servite dal sistema idrico (soprattutto nelle aree di Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni), dove prevalgono fonti di approvvigionamento alternative (acque sotterranee, acque superficiali e pratiche di compravendita), unitamente al basso potere economico delle popolazioni insediate in tali aree, sembrano essere i fattori decisivi nel determinare un medio livello di sensibilità delle comunità rispetto al possibile deterioramento della risorsa idrica sotterranea.

- Le aree dove le comunità posseggono un basso grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea sono Mbezi Beach e Oysterbay.

Sono insediamenti pianificati caratterizzati da una bassa densità insediativa ed una buona qualità del tessuto urbano, destinati agli abitanti con un reddito medio-alto.

La qualità del servizio idrico è buona ad Oysterbay e scarsa a Mbezi Beach. Ma in questo caso la presenza o meno del sistema idrico non rappresenta un fattore determinante per definire il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea, in quanto gli abitanti di queste aree, avendo la possibilità economica di approvvigionarsi in modi differenti (ad esempio dalle autocisterne o dai venditori ambulanti), risultano meno sensibili rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee.

Ad ogni modo, dall'interpretazione dei risultati ottenuti, si evince come gli abitanti delle aree peri-urbane (Kunduchi e Kawe), dove il servizio idrico è scarso e l'attività agricola molto diffusa, siano maggiormente sensibili al possibile deterioramento della risorsa idrica sotterranea.

### 5.1.3. Vulnerability Mapping

Ai fini di un'analisi territoriale la valutazione del livello di vulnerabilità delle comunità rispetto ad una determinata perturbazione comporta il superamento di un approccio meramente descrittivo ed aiuta la conoscenza e la previsione degli effetti negativi o positivi che possono avvenire sul territorio per cause naturali ed antropiche.

Lo scopo principale di tale metodologia di valutazione è quello di definire le aree che presentano alti livelli di criticità, dove si dovrebbero focalizzare le possibili azioni di adattamento, sia di tipo tecnico che politico. Ed al tempo stesso costituisce un supporto informativo per indirizzare ed identificare le opzioni di intervento sulla base di diversi criteri di priorità ed in accordo con i fattori che rendono una comunità socialmente vulnerabile.

A livello teorico è stato mostrato come la vulnerabilità delle persone rispetto ad una determinata perturbazione ( $V_{c.p.}$ ) sia funzione sia del grado di esposizione ( $S_{s.b.}$ , sensibilità del sistema biofisico) che del livello di suscettibilità delle comunità esposte ( $S_{s.s.}$ , sensibilità del sistema sociale):

$$V_{c.p.} = f(S_{s.b.}, S_{s.s.})$$

La valutazione della sensibilità del sistema biofisico ha permesso l'individuazione delle zone, all'interno dell'area di studio, che manifestano segni di salinizzazione dell'acquifero costiero, mentre la valutazione della sensibilità del sistema sociale ha permesso l'individuazione del grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea, ossia del livello di sensibilità degli abitanti dei differenti insediamenti presenti all'interno dell'area di studio rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee.

Per la definizione della vulnerabilità presente delle comunità rispetto all'intrusione salina della falda acquifera, si è cercato di comprendere come la sensibilità del sistema sociale (grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea) interagisca con il grado di esposizione alla perturbazione (sensibilità del sistema biofisico: evoluzione nel tempo del fenomeno di salinizzazione dell'acquifero costiero) nei differenti insediamenti presenti all'interno dell'area di studio.

A tal proposito, si è cercato di fissare un metodo che permettesse di fornire una stima qualitativa della vulnerabilità presente delle comunità correlata al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero in base al grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea degli abitanti degli insediamenti analizzati.

Infatti, al fine di individuare le aree dove le comunità risultano maggiormente vulnerabili alla salinizzazione dell'acquifero costiero, sono state sovrapposte ed incrociate le due tipologie di informazioni relative alla sensibilità del sistema biofisico e del sistema sociale.

Ad ogni area in cui la valutazione della sensibilità del sistema biofisico aveva mostrato una predominanza di fattori di contaminazione marina della falda acquifera, è stato attribuito un valore di vulnerabilità in relazione al livello di sensibilità sociale delle comunità della medesima area.

La sovrapposizione delle aree dove vi è predominanza di fattori di contaminazione marina (della falda acquifera) con le aree dove gli abitanti mostrano una elevata dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea, individua le zone maggiormente critiche.

| <div> <div>SENSIBILITA' DEL SISTEMA SOCIALE</div> <div>SENSIBILITA' DEL SISTEMA BIOFISICO</div> </div> | Basso grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea | Medio grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea | Alto grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Aree con predominanza di fattori di contaminazione marina                                              | BASSO LIVELLO DI VULNERABILITA'                            | MEDIO LIVELLO DI VULNERABILITA'                            | ALTO LIVELLO DI VULNERABILITA'                            |

Tabella 5.5 Classificazione del livello di vulnerabilità delle comunità in funzione delle informazioni relative alla sensibilità del sistema biofisico ed alla sensibilità del sistema sociale

Applicando tale metodologia qualitativa a ciascuna delle zone di interesse, si ottiene una classificazione degli insediamenti urbani secondo il livello di vulnerabilità presente delle comunità rispetto alla salinizzazione dell'acquifero costiero.

Ciascuna delle combinazioni considerate individua livelli crescenti di vulnerabilità, sino ad identificare le aree maggiormente vulnerabili, dove il processo di salinizzazione dell'acquifero potrebbe determinare condizioni di grande criticità per le comunità insediate.

In Figura 5.8 viene mostrata la sovrapposizione tra la carta della sensibilità del sistema sociale e la carta della sensibilità del sistema biofisico, rispetto alla quale sono state considerate soltanto le aree che manifestavano una predominanza di fattori di contaminazione marina, relativamente al secondo intervallo temporale (2003-2008). Mentre in Figura 5.9 viene mostrata la carta della vulnerabilità delle comunità rispetto all'intrusione salina nella falda acquifera costiera.

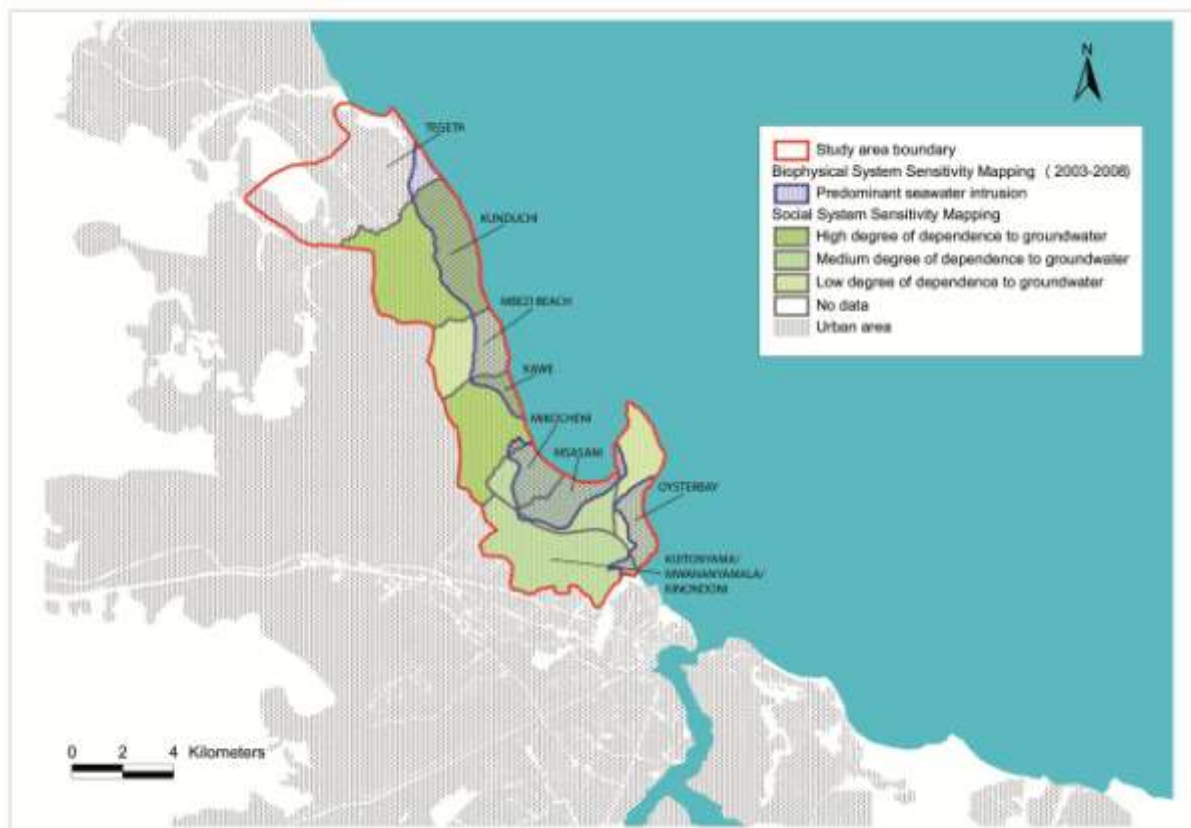


Figura 5.8 Sovrapposizione tra la carta della sensibilità del sistema sociale e la carta della sensibilità del sistema biofisico (considerando solo le aree con predominanza dei fattori di contaminazione marina)



Figura 5.9 *Vulnerability Mapping*. Carta della vulnerabilità delle comunità rispetto all'intrusione salina nella falda acquifera costiera

Dalla sovrapposizione delle carte della sensibilità del sistema biofisico e della sensibilità del sistema sociale sono state individuate 2 zone critiche, che presentano un alto livello di vulnerabilità delle comunità rispetto alla salinizzazione dell'acquifero, e che rappresentano le aree con maggiore priorità per l'implementazione di azioni di adattamento.

La prima coincide con l'intera area costiera di Kunduchi, mentre la seconda corrisponde ad un tratto del litorale dell'area di Kawe.

Come è stato mostrato nella fase di analisi della sensibilità del sistema sociale, Kunduchi e Kawe sono insediamenti peri-urbani caratterizzati da una media densità dell'edificato, dalla presenza di un tessuto urbano misto (presenza di aree pianificate ed informali), e da una qualità abitativa variabile in relazione alla capacità economica degli abitanti.

In tali aree il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea risulta molto alto, a causa della scarsa diffusione del sistema idrico e dell'elevata presenza di aree dedicate all'attività agricola ed al pascolo (ed all'attività mineraria nel caso di Kunduchi), per le quali le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque superficiali o sotterranee non protette.

Anche per gli usi domestici le principali tipologie di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque sotterranee (pozzi formali ed informali), dalle acque superficiali e dalle pratiche di compravendita.

L'analisi del sistema biofisico ha mostrato come, sia a Kunduchi che a Kawe, le aree sensibili a fattori di contaminazione marina risultino aumentate nel tempo, così come le aree sensibili a



fattori di contaminazione antropica, quali le acque di scarico delle strutture sanitarie in situ (serbatoi settici e “pit latrine”), i liquidi di scolo dalle discariche, gli scarichi industriali, nonché le pratiche agricole. In particolare, la falda acquifera superficiale (non confinata) risulta molto compromessa, a causa della diretta esposizione agli agenti inquinanti.

L’aumento di salinità dell’acqua sotterranea è confermato dalla maggior parte dei proprietari di pozzi intervistati nelle aree di Kunduchi e Kawe durante la campagna di misurazioni sul campo. Difatti alcuni di loro ammettono di non poter più utilizzare l’acqua né per usi domestici, né per l’irrigazione, proprio per non compromettere il raccolto.

In generale, nelle aree peri-urbane, dove l’agricoltura urbana è molto diffusa e rappresenta l’attività principale della popolazione, l’ingressione di acqua salata nella falda acquifera è uno dei problemi maggiori, perché oltre a limitare sempre più la disponibilità di acqua dolce per le attività domestiche, può portare ad un lento ma irreversibile stato di salinizzazione del suolo, inducendo ad una diminuzione della produttività dei terreni coltivati e causando problemi alla vegetazione ed a tutti gli habitat interessati (ecosistemi fluviali e deltizi di transizione), nonché alla biodiversità ed al paesaggio.

Come testimoniato dall’abbassamento del livello piezometrico della falda acquifera (vedi Par. 4.1.4.), l’incremento delle zone sensibili alla contaminazione marina nelle aree di Kunduchi e Kawe sembra essere correlato con il sempre maggior sfruttamento dell’acqua sotterranea per l’approvvigionamento idrico, unitamente all’aumento delle aree costruite (aumento dell’impermeabilizzazione del suolo e diminuzione della ricarica dell’acquifero).

Infatti, il crescente processo di urbanizzazione in atto a Dar es Salaam, concentrato soprattutto nelle aree peri-urbane, sta determinando una pressione sempre maggiore sull’acquifero costiero.

Considerando il fatto che la domanda idrica potrebbe crescere notevolmente nei prossimi anni, a causa del costante aumento di popolazione, ed assumendo che la capacità del sistema idrico difficilmente verrà ampliata, le acque sotterranee rappresenteranno l’unica fonte in grado di coprire il deficit di fornitura idrica.

In una situazione così complessa, in cui l’acquifero costiero di Dar es Salaam risulta già ampiamente compromesso, il fenomeno dell’intrusione salina nella falda acquifera potrebbe anche essere amplificato, nel medio e lungo periodo, dalle potenziali conseguenze attese del cambiamento climatico, come l’innalzamento del livello dell’oceano e la modifica del clima locale (cambiamento nei regimi pluviometrici ed innalzamento della temperatura media), che, in generale, possono rappresentare fattori estremamente critici per tutti gli ambienti litoranei.

Di conseguenza, la vulnerabilità delle comunità rispetto alla salinizzazione della falda acquifera sotterranea, potrebbe aumentare notevolmente, sia in termini di incremento della contaminazione marina nell’acquifero che di aumento del grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea degli abitanti.

Tali fattori potrebbero determinare condizioni di ulteriore criticità soprattutto per le aree, come Kawe e Kunduchi, che già attualmente presentano in alcune zone un alto livello di vulnerabilità delle comunità, ma anche per le aree, come Msasani, Mikocheni, Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni, che allo stato attuale presentano in alcune zone un medio livello di vulnerabilità.

Di conseguenza, il rafforzamento delle capacità di adattamento, attraverso la pianificazione di precise strategie di intervento, diventa un’azione necessaria per diminuire la vulnerabilità dei gruppi sociali maggiormente sensibili.

Il processo di valutazione della vulnerabilità, dunque, fornisce la base conoscitiva utile per implementare strategie di adattamento, che dovrebbero essere coerenti ed integrate con le politiche ed i piani di sviluppo del territorio (ad esempio relativi alla gestione della risorsa idrica, o alla difesa dell'ambiente costiero), nonché mirare ad uno sviluppo sostenibile, ed a una riduzione dello stress climatico.

Difatti tra le strategie di adattamento ed i programmi di sviluppo locale vi potrebbero essere sostanziali sinergie negli obiettivi, come la riduzione dei livelli di povertà ed il miglioramento della qualità abitativa, dei servizi e delle infrastrutture.

I presupposti necessari ad una corretta formulazione degli strumenti di pianificazione dovranno essere direttamente riferibili al livello e alla qualità delle informazioni acquisite rispetto al territorio sul quale si intende intervenire. Quanto più approfondito è il livello di conoscenza tanto più alta è la possibilità di prevedere evoluzioni future.

Per comprendere quale sia la causa principale che rende un'area maggiormente vulnerabile è necessario scendere al livello dei singoli fattori di sensibilità sociale e biofisica.

Ad esempio intervenire sui fattori che inducono ad un aumento della contaminazione marina dell'acquifero costiero, attraverso azioni sul sistema fisico, significa ridurre il grado di esposizione alla perturbazione delle persone. Mentre intervenire sui fattori che determinano un elevato grado di dipendenza dalla risorsa idrica, attraverso azioni sul sistema sociale, significa ridurre il grado di suscettibilità ed aumentare le capacità di resistenza, resilienza ed adattamento delle comunità alla perturbazione.

Ciò significa che una valutazione di vulnerabilità deve essere considerata una attività importante sia per la gestione delle situazioni di emergenza, che per la pianificazione degli obiettivi e delle priorità future, anche in relazione ai possibili effetti del cambiamento climatico, in quanto permette di creare scenari possibili, attuali e a medio-lungo termine, che possono costituire una importante chiave per definire o revisionare le politiche di piano e le scelte conseguenti da operare sul territorio.

Focalizzando l'attenzione e gli obiettivi sulla diminuzione del livello di vulnerabilità attuale delle comunità nei confronti di una perturbazione a scala locale, le azioni di adattamento conseguenti potrebbero essere benefiche sia al tempo presente, che al tempo futuro, ossia nel caso che le perturbazioni venissero incrementate ed aggravate dai possibili effetti del cambiamento climatico, nonostante le condizioni di estrema incertezza relative alla variabilità climatica locale.

## 6. CONCLUSIONI

### 6.1. Sintesi dei risultati ottenuti per il caso di studio

L'obiettivo generale del presente studio-pilota è stato quello di proporre e testare, in un contesto urbano di un paese del sud del mondo (Dar es Salaam, Tanzania), una metodologia di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto ad una possibile perturbazione del sistema fisico, identificata con il fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero, che potrebbe essere amplificata ed incrementata in futuro dai possibili effetti del cambiamento climatico.

Lo scopo principale di una valutazione di vulnerabilità è quello di definire le aree che presentano alti livelli di criticità, dove si dovrebbero focalizzare le possibili azioni di adattamento, sia di tipo tecnico che politico, da integrare all'interno di piani di sviluppo del territorio. Al tempo stesso costituisce un supporto informativo per indirizzare ed identificare le opzioni di intervento sulla base di diversi criteri di priorità ed in accordo con i fattori che rendono una comunità socialmente vulnerabile.

Seguendo il modello concettuale di riferimento internazionale per la valutazione degli effetti del cambiamento climatico e delle possibili tipologie di risposte (UNFCCC, IPCC), la struttura della ricerca è stata articolata in 3 fasi:

- Analisi della sensibilità del sistema biofisico: studio del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero all'interno dell'area di studio.
- Analisi della sensibilità del sistema sociale: definizione del grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea delle comunità insediate.
- Valutazione del livello di vulnerabilità presente delle comunità insediate rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera: sovrapposizione dei risultati ottenuti dalle precedenti 2 fasi.

Se da un lato il risultato finale del processo di valutazione è rappresentato dalla definizione del livello di vulnerabilità presente delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera, ovvero dall'individuazione delle aree dove la salinizzazione dell'acquifero potrebbe determinare condizioni di grande criticità per le comunità insediate, durante lo sviluppo della differenti fasi intermedie che compongono il metodo di studio proposto sono stati ottenuti risultati specifici, sulla base dei quali è possibile fare delle considerazioni di carattere generale.

Nella fase di analisi della sensibilità del sistema biofisico è stata proposta una metodologia di studio, compatibile con la tipologia, la quantità e la qualità dei dati disponibili, basata sullo sviluppo di differenti attività, quali:

- Determinazione dell'evoluzione nel tempo del livello piezometrico della falda acquifera.
- Definizione dell'andamento delle curve di isoconducibilità e dell'evoluzione dei valori puntuali di conducibilità elettrica dell'acqua nel tempo.
- Analisi delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee.
- Ricostruzione ed evoluzione nel tempo della superficie di interfaccia acqua dolce/acqua salata.
- Stima delle possibili fonti di inquinamento in funzione delle caratteristiche di uso del suolo.

L'obiettivo specifico di questa fase del processo di valutazione è stato quello di determinare le aree maggiormente sensibili al fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera, e la loro possibile evoluzione nel tempo, attraverso l'individuazione dei fattori prevalenti di contaminazione dell'acquifero (fattori di contaminazione marina, fattori geologici di salinizzazione naturale, fattori di contaminazione derivanti da attività domestiche ed agricole, e fattori di contaminazione derivanti da attività industriali e commerciali) all'interno delle porzioni di territorio in studio.

Dall'interpretazione dei risultati ottenuti è possibile osservare che le zone con prevalenza di fattori di contaminazione marina dell'acquifero si concentrano lungo la fascia costiera e sono notevolmente aumentate nel tempo.

Le zone dove questa tendenza è maggiormente accentuata corrispondono alle aree urbane di Kunduchi, Mbezi Beach, Kawe, Mikocheni, Msasani e Oysterbay.

Tale tipologia di contaminazione sembra essere correlata con il sempre maggior sfruttamento dell'acqua sotterranea per l'approvvigionamento idrico della popolazione, come testimoniato dall'abbassamento del livello piezometrico della falda acquifera (ad esempio nelle aree di Kawe e Msasani), che rappresenta un fattore che può indurre alla risalita dell'interfaccia acqua dolce/salata.

Difatti, da 20 anni a questa parte il rapido processo di urbanizzazione di Dar es Salaam ha determinato una notevole crescita della domanda di risorsa idrica. L'acqua sotterranea, in particolare, è diventata sempre più importante per sostenere le differenti attività umane, soprattutto nelle aree urbane non servite dalla rete idrica (aree non pianificate, principalmente nella zona peri-urbana della città).

Allo stesso modo è possibile osservare un incremento delle zone con prevalenza di fattori di contaminazione derivanti da attività domestiche ed agricole, che si concentrano prevalentemente nelle aree informali (ma in parte anche nelle aree pianificate), dove il sistema fognario è inesistente e prevale l'utilizzo di strutture sanitarie in situ (*pit-latrine*, e *septic tank*), i cui effluenti rappresentano una potenziale fonte di inquinamento per la falda acquifera.

Le zone dove questa tendenza è accentuata corrispondono all'area urbana di Manzese (al di fuori dell'area di studio) e parte delle aree di Kunduchi, Kawe, Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni.

Data la limitatezza in letteratura di studi dedicati al fenomeno della salinizzazione dell'acquifero costiero nella città di Dar es Salaam, i risultati ottenuti, con tutti i limiti del caso (scarsa disponibilità di dati, semplificazioni nella caratterizzazione del sistema idrogeologico) e relativi solo ad una porzione dell'area urbana, possono essere considerati come un primo passo verso una migliore comprensione delle cause e delle possibili conseguenze che il fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera costiera potrebbe determinare in un contesto urbano così complesso, nel quale l'agricoltura rappresenta comunque la principale attività economica della popolazione.

Difatti l'aumento dell'intrusione salina non incide solamente sulla disponibilità di acqua potabile per usi domestici, ma anche sullo stato di salinizzazione del suolo, sia direttamente a causa della risalita del cuneo salino, che indirettamente attraverso l'utilizzo di acque eccessivamente salate per l'irrigazione. In generale l'aumento del livello salino negli strati superficiali del terreno può colpire negativamente la crescita e la produttività di una coltura.

Tali considerazioni sono state confermate dalle interviste effettuate sul campo ai proprietari dei pozzi analizzati nell'area di studio, dalle quali si evince che la salinità dell'acqua risulta essere in aumento negli ultimi anni ed, in generale, è considerata una grande preoccupazione per quelle comunità che dipendono esclusivamente dall'acqua sotterranea come fonte primaria di approvvigionamento. In particolare, alcuni intervistati ammettono di non poter più utilizzare l'acqua emunta dai pozzi né per usi domestici, né per l'irrigazione, proprio per non compromettere il raccolto.

Nella fase di analisi della sensibilità del sistema sociale è stata proposta, compatibilmente con i dati disponibili, una metodologia di studio basata sull'individuazione di un indice che rappresenti il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea, attraverso la definizione della tipologia di approvvigionamento idrico prevalente nei diversi stanziamenti urbani presenti nell'area di studio.

Per l'individuazione di tale parametro sono stati utilizzati 3 criteri di valutazione, corrispondenti ai principali fattori che determinano l'indirizzarsi delle persone verso una tipologia di fonte piuttosto che un'altra (nello specifico verso le acque sotterranee). Tali criteri, stimati attraverso la costruzione di opportuni indicatori, corrispondono a:

- Caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni insediate: capacità economica dei gruppi sociali (indicatore: presenza nelle abitazioni di serbatoi di immagazzinamento dell'acqua).
- Caratteristiche morfologiche ed infrastrutturali degli insediamenti: livello di connessione strutturale al sistema idrico cittadino (indicatore: morfologia insediativa).
- Caratteristiche funzionali delle attività insediate: fabbisogno idrico (indicatore: tipologia di attività presenti).

L'obiettivo specifico di questa fase del processo di valutazione è stato quello di definire il livello di sensibilità delle comunità insediate nei differenti stanziamenti presenti all'interno dell'area di studio rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee, attraverso l'individuazione del grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea.

Dall'interpretazione dei risultati ottenuti è possibile osservare che le aree dove le comunità posseggono un alto grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea corrispondono principalmente agli stanziamenti caratterizzati da un tessuto urbano misto (presenza di aree pianificate ed informali) localizzati nella fascia peri-urbana della città (interazione urbano-rurale), dove si concentrano spesso fasce più povere di popolazione, il sistema idrico è praticamente assente e l'attività agricola risulta molto diffusa. Difatti per l'agricoltura urbana ed il pascolo, le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate proprio dalle acque superficiali o sotterranee non protette.

Viceversa nelle aree più vicine al centro città (carattere tipicamente urbano), essendo l'attività agricola meno diffusa, il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea è sicuramente inferiore. In questo caso il livello di connessione al sistema idrico e la capacità economica degli abitanti sono i fattori più rilevanti nel determinare un medio o un basso livello di sensibilità delle comunità insediate. In particolare nelle aree all'interno delle quali vi è presenza di zone informali, che generalmente ospitano abitanti con un reddito medio-basso, e dove, essendo scarsamente servite dal sistema idrico, prevalgono fonti alternative di approvvigionamento (acque sotterranee, acque superficiali e pratiche di compravendita), la dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea risulta superiore rispetto alle aree pianificate (o non pianificate), nelle quali si

concentrano fasce più ricche di popolazione. In questo caso la presenza o meno del sistema idrico non rappresenta un fattore determinante per definire il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea, in quanto gli abitanti di queste aree, avendo la possibilità economica di approvvigionarsi in modi differenti (ad esempio dalle autocisterne o dai venditori ambulanti), risultano meno sensibili rispetto al possibile deterioramento delle acque sotterranee.

Con riferimento all'area di studio, le aree in cui il grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea è risultato alto sono Kunduchi e Kawe, medio Mikocheni, Msasani e Kijitonyama/Mwananyamala/Kinondoni, e basso Mbezi Beach e Oysterbay.

Nell'ambito di questa fase del processo di valutazione è stata dunque proposta una metodologia di analisi testata sui dati ad oggi disponibili e destinata ad orientare una futura e più approfondita valutazione della sensibilità del sistema sociale.

In assenza di dati relativi all'effettivo livello di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea (volume annuale di acqua emunta), tale metodologia di studio ha permesso di stimare il grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea attraverso l'analisi delle caratteristiche strutturali, insediative e funzionali degli stanziamenti presenti all'interno dell'area di studio. Per tale attività sono stati utilizzati 3 indicatori (uno per ogni criterio di valutazione) di facile interpretazione e semplice misurabilità, attraverso immagini aeree o satellitari e rilevamenti spaziali.

Tale attributo è piuttosto importante, specialmente in un contesto in rapida evoluzione come Dar es Salaam, dove i dati istituzionali relativi alle caratteristiche socioeconomiche della popolazione ed alla qualità del tessuto urbano risultano carenti e spesso troppo onerosi da ricavare.

A conclusione di ogni fase di analisi sono state prodotte delle carte tematiche di sintesi che facilitano la visualizzazione delle criticità del territorio in studio sulla base della sua sensibilità fisica e sociale: una relativa alle condizioni di contaminazione dell'acquifero costiero, rispetto alla quale ci si è focalizzati sulle aree con predominanza di fattori di contaminazione marina, e l'altra relativa al grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea delle comunità insediate nelle differenti aree analizzate. La sovrapposizione tra le due ha portato a definire lo stato di vulnerabilità delle comunità rispetto alla salinizzazione dell'acquifero.

In riferimento all'area selezionata l'applicazione del metodo di studio proposto ha permesso l'individuazione di 2 zone critiche, che presentano un alto livello di vulnerabilità delle comunità rispetto alla salinizzazione dell'acquifero, e che rappresentano le aree con maggiore priorità per l'implementazione di azioni di adattamento.

La prima coincide con l'intera zona costiera dell'area di Kunduchi, mentre la seconda corrisponde ad un tratto del litorale dell'area di Kawe.

Kawe è un insediamento che si sviluppa nella zona centrale dell'area di studio, mentre Kunduchi nella zona nord dell'area di studio, nella fascia peri-urbana della città.

All'interno di tali aree l'analisi della sensibilità del sistema biofisico ha mostrato una prevalenza di fattori di contaminazione marina dell'acquifero costiero, unitamente all'aumento nel tempo delle zone soggette a tale tipo di contaminazione.

Sono entrambi insediamenti con un tessuto urbano misto, essendo formato da aree, sia pianificate che informali, caratterizzate da una disposizione regolare ed una bassa densità dell'edificato, dove si concentrano perlopiù abitanti con un reddito medio-alto, ed aree informali caratterizzate da una disposizione irregolare ed una media densità dell'edificato, che ospitano fasce più povere di popolazione. La qualità abitativa è variabile in relazione alla capacità economica degli abitanti



ed i servizi primari e le infrastrutture sono generalmente scadenti: manca completamente il sistema fognario ed il sistema idrico serve solo una piccola parte di popolazione.

In tali aree l'analisi della sensibilità del sistema sociale ha mostrato un alto grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea, a causa della scarsa diffusione del sistema idrico e dell'elevata presenza di aree dedicate all'attività agricola ed al pascolo (ed all'attività mineraria nel caso di Kunduchi), per le quali le principali fonti di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque superficiali o sotterranee non protette. Ed anche per gli usi domestici le principali tipologie di approvvigionamento idrico sono rappresentate dalle acque sotterranee (pozzi formali ed informali), dalle acque superficiali e dalle pratiche di compravendita.

In generale, dato il crescente processo di urbanizzazione in atto a Dar es Salaam, concentrato soprattutto nelle aree peri-urbane, la domanda di risorsa idrica potrebbe crescere notevolmente nei prossimi anni, ed assumendo che la capacità del sistema idrico difficilmente verrà ampliata, le acque sotterranee rappresenteranno l'unica fonte in grado di coprire il deficit di fornitura idrica.

In una situazione così complessa, in cui l'acquifero costiero risulta già ampiamente compromesso, il fenomeno dell'intrusione salina nella falda acquifera potrebbe anche essere amplificato, nel medio e lungo periodo, dalle potenziali conseguenze attese del cambiamento climatico, come l'innalzamento del livello dell'oceano e la modifica del clima locale (cambiamento nei regimi pluviometrici ed innalzamento della temperatura media), che, in generale, possono rappresentare fattori estremamente critici per tutti gli ambienti litoranei.

Di conseguenza, la vulnerabilità delle comunità rispetto alla salinizzazione della falda acquifera sotterranea, potrebbe aumentare notevolmente, sia in termini di incremento della contaminazione marina nell'acquifero che di aumento del grado di dipendenza dalla risorsa idrica sotterranea degli abitanti.

Tali fattori potrebbero determinare condizioni di ulteriore criticità soprattutto per le aree, come Kawe e Kunduchi, che già attualmente presentano in alcune zone un alto livello di vulnerabilità delle comunità, ma anche per le aree, come Msasani, Mikocheni, Kijitonyama, Mwananyamala e Kinondoni, che allo stato attuale presentano in alcune zone un medio livello di vulnerabilità.

Di conseguenza, il rafforzamento delle capacità di adattamento, attraverso pianificazione di precise strategie di intervento, diventa un'azione necessaria per diminuire la vulnerabilità dei gruppi sociali maggiormente sensibili.

Coerentemente con l'obiettivo generale di questo lavoro di tesi (testare una metodologia di valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero in un contesto urbano di un paese del sud del mondo), il metodo di studio proposto si è concluso proprio con la definizione della vulnerabilità presente delle comunità, ossia con l'individuazione delle aree che posseggono priorità per le azioni di adattamento.

## **6.2. La validità del metodo di analisi: vantaggi, limiti e prospettive future**

L'applicazione del metodo di studio proposto ha portato, come output primario del processo di interrelazione tra sistemi, all'individuazione delle aree maggiormente vulnerabili, dove la

salinizzazione dell'acquifero potrebbe determinare condizioni di grande criticità per le comunità insediate.

Compatibilmente con il processo di valutazione sviluppato, che si basa sull'analisi dei processi fisici e dei fattori sociali che concorrono a determinare le condizioni di vulnerabilità delle persone, l'area in studio è stata caratterizzata attraverso la definizione di indici di sensibilità fisica e sociale (fattori di contaminazione prevalente dell'acquifero e grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea) e vulnerabilità, che aiutano la conoscenza del territorio, in quanto rappresentano un più diretto sistema di comunicazione della diffusione, delle cause e delle possibili conseguenze del fenomeno dell'intrusione salina.

Il processo di valutazione della vulnerabilità, dunque, fornisce la base conoscitiva utile per implementare strategie di adattamento, che dovrebbero essere coerenti ed integrate con le politiche ed i piani di sviluppo del territorio (ad esempio relativi alla gestione della risorsa idrica, o alla difesa dell'ambiente costiero), nonché mirare ad uno sviluppo sostenibile, ed a una riduzione dello stress climatico.

Difatti tra le strategie di adattamento ed i programmi di sviluppo locale vi potrebbero essere sostanziali sinergie negli obiettivi, come la riduzione dei livelli di povertà ed il miglioramento della qualità abitativa, dei servizi e delle infrastrutture.

Per comprendere quale sia la causa principale che rende un'area maggiormente vulnerabile è necessario scendere al livello dei singoli fattori di sensibilità sociale e biofisica. A tal proposito la scelta di fornire 3 carte, che visualizzano i fattori di sensibilità fisica e sociale ed il grado di vulnerabilità, permette di avere immediatamente il quadro della situazione e di considerare ed agire su l'una o l'altra condizione in base alle esigenze e le priorità del decisore.

Ad esempio intervenire sui fattori che inducono ad un aumento delle contaminazione marina dell'acquifero costiero, attraverso azioni sul sistema fisico, significa ridurre il grado di esposizione alla perturbazione delle persone.

Mentre intervenire sui fattori che determinano un elevato grado di dipendenza dalla risorsa idrica, attraverso azioni sul sistema sociale, significa ridurre il grado di suscettibilità ed aumentare le capacità di resistenza, resilienza ed adattamento delle comunità alla perturbazione.

Ciò significa che una valutazione di vulnerabilità deve essere considerata una attività valida sia per la gestione delle situazioni di emergenza, che per la pianificazione degli obiettivi e delle priorità future, anche in relazione ai possibili effetti del cambiamento climatico, in quanto fornisce le basi per individuare scenari possibili, attuali e a medio-lungo termine, che possono costituire una importante chiave per definire o revisionare le politiche di piano e le scelte conseguenti da operare sul territorio.

I presupposti necessari ad una corretta formulazione degli strumenti di pianificazione dovranno essere direttamente riferibili al livello e alla qualità delle informazioni acquisite rispetto al territorio sul quale si intende intervenire. Quanto più approfondito è il livello di conoscenza tanto più alta è la possibilità di prevedere evoluzioni future.

In generale, il metodo di studio proposto è da considerarsi perlopiù arbitrario, ma proprio per questo motivo risulta flessibile ed adattabile ai diversi oggetti di studio o alle diverse esigenze di analisi.

L'arbitrarietà sta non tanto nella scelta di un dato piuttosto che un altro, quanto nella logica di costruzione del modello stesso: l'output fornito sarà valido, in termini di informazioni e di ordini

di grandezza, nel contesto in cui è stato costruito. Un modello di questo tipo infatti non propone una conoscenza indiscriminata del territorio, ma è impostato per fornire una conoscenza finalizzata alla valutazione della vulnerabilità delle comunità rispetto al fenomeno in studio.

Un altro importante vantaggio del lavoro svolto esula dal processo di valutazione, ma va comunque citato, e riguarda le metodologie di rappresentazione e consultazione dei dati, cioè il sistema informativo.

Il modello è stato costruito sulla base di semplici elementi, rappresentati da una serie di strati informativi riguardo le caratteristiche idrogeologiche (profili geologici, parametri fisico-chimici delle acque sotterranee), infrastrutturali, socio-economiche e di uso del suolo del territorio, nonché da immagini satellitari ad alta risoluzione (Quickbird).

L'insieme delle informazioni raccolte ed organizzate, rispetto alle quali sono state ottenute le valutazioni di sintesi, hanno permesso la creazione di un database in formato digitale (in ambiente GIS), che, essendo facilmente ampliabile (anche con informazioni di diversa natura), potrebbe rappresentare un valido supporto informativo per future analisi riguardanti il territorio costiero dell'area nord di Dar es Salaam.

Difatti lo schema funzionale di un GIS costituisce contemporaneamente una disciplina, un metodo e uno strumento; prima di tutto perché l'input del sistema presuppone che i dati immessi vengano resi omogenei e sovrapponibili, e poi perché l'infrastruttura concettuale del GIS permette la disponibilità di dati ed attributi relativi allo stesso ambito spaziale. Questo garantisce sia una facilità nella gestione delle informazioni, che una immediata divulgazione dello stato di fatto e delle eventuali problematiche.

Di contro, l'analisi effettuata possiede per sua natura dei limiti in quanto riduzione di un fenomeno reale: proprio in virtù delle semplificazioni e astrazioni applicate, il modello permette di rilevare i processi chiave per poter prevedere il comportamento dei sistemi fisico e sociale in relazione al processo in studio, ma in questo modo trascura variabili che possono essere significative, o anche solo complementari, per l'interpretazione delle dinamiche e dei sinergismi dei sistemi.

I limiti del lavoro possono essere ricondotti a 2 principali questioni:

- L'aleatorietà dell'oggetto di studio.
- La disponibilità e l'accuratezza del dato.

La scelta delle metodologie di analisi da utilizzare per la determinazione della sensibilità del sistema biofisico e del sistema sociale è stata condizionata proprio dalla disponibilità e dall'accuratezza dei dati, che spesso nei paesi del sud del mondo possono essere molto limitate.

Il reperimento di dati e studi esistenti riguardo le caratteristiche idrogeologiche, socio-economiche, infrastrutturali e di uso del suolo del territorio si è rivelata un'attività estremamente difficoltosa, proprio perché la documentazione attualmente disponibile risulta scarsa, frammentaria, non organica, difficilmente accessibile o troppo onerosa da ricavare. Allo stesso modo le attività effettuate sul campo (raccolta dati bibliografici, monitoraggio idrogeologico e campagna di rilievi ed interviste) hanno incontrato ostacoli talvolta insormontabili, legati alla difficoltà di operare in un contesto così complesso come Dar es Salaam, dove la dispersione dei pochi dati disponibili, l'assenza di attività di monitoraggio della quantità e qualità della risorsa idrica (a causa della scarsa disponibilità economica degli enti preposti), nonché l'estrema

difficoltà nel localizzare i pozzi esistenti, rendono lo studio e la gestione della risorsa idrica sotterranea estremamente difficoltosi.

A tal proposito, a causa della scarsità, frammentarietà, e disomogeneità spaziale e temporale dei dati idrogeologici disponibili, unitamente alle condizioni di lavoro incontrate durante l'attività di monitoraggio sul campo, all'interno dello studio del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero è stato necessario apportare alcune semplificazioni di rilievo. Difatti la caratterizzazione dell'evoluzione nel tempo e dell'estensione (in profondità) della contaminazione marina, generalmente studiata attraverso indagini termo-conduttimetriche (profili di conducibilità elettrica e temperatura) e geoelettriche, è stata effettuata perlopiù sulla base di misure puntuali dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee divisi per intervalli temporali che comprendevano più anni; oltre al fatto che non è stato possibile eseguire valutazioni relative ad alcuni processi, quali le variazioni naturali nella ricarica dell'acquifero (bilancio idrogeologico), l'erosione costiera e le fluttuazioni periodiche del livello del mare, che sono ritenuti fattori attivi nel movimento della zona di transizione tra acqua dolce ed acqua salata. Di conseguenza non è stato possibile definire in modo quantitativo e rigoroso l'evoluzione nel tempo del fenomeno dell'intrusione salina nell'acquifero costiero, ma soltanto di dedurre a livello qualitativo il possibile andamento (ossia le aree dove è effettivamente riscontrabile un aumento nel tempo). Ad ogni modo dalle interviste effettuate durante la campagna di misurazione sul campo, è possibile individuare una corrispondenza tra i risultati ottenuti ed il trend di evoluzione del fenomeno negli ultimi anni.

Allo stesso modo nella definizione del grado di dipendenza delle comunità dalla risorsa idrica sotterranea, la mancanza di informazioni relative al reale sfruttamento della falda acquifera (volume annuo di acqua emunta), unitamente alla scarsità di dati riguardo alle caratteristiche socio-economiche (reddito medio) e strutturali (estensione del servizio idrico) degli insediamenti, non hanno permesso una definizione diretta del parametro. A tal proposito l'analisi si è basata sulla costruzione di opportuni indicatori indiretti qualitativi, ricavati a seguito di ipotesi arbitrarie relative alle dinamiche di approvvigionamento idrico prevalente, la cui efficacia e flessibilità sono state convalidate dal confronto con studi precedenti effettuati sull'argomento.

Come evidenziato precedentemente, a conclusione del presente lavoro di tesi non verranno proposte possibili strategie di adattamento rispetto al fenomeno dell'intrusione salina, specifiche per il territorio in studio, ma verranno indicate le attività necessarie per il completamento e l'aggiornamento dello studio territoriale effettuato, che rappresentano eventuali lavori da sviluppare in futuro.

Alla luce dei limiti evidenziati riguardo alla disponibilità ed all'accuratezza dei dati, per una migliore caratterizzazione dell'estensione della contaminazione marina all'interno dell'acquifero costiero, nonché per una definizione precisa dell'effettivo livello di sfruttamento dell'acqua sotterranea da parte della popolazione di Dar es Salaam sarebbero necessarie (anche se di non facile attuazione) le seguenti azioni specifiche:

- Raccolta più approfondita ed organizzazione in formato digitale dei dati idrogeologici ad oggi disponibili, provenienti da fonti diversificate (enti pubblici, agenzie di cooperazione internazionale, università).

- Quantificazione e georeferenziazione di tutti i pozzi esistenti (regolari ed informali).
- Sviluppo di una attività continua di monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee con l'utilizzo di tecniche operative più idonee allo studio del fenomeno dell'intrusione salina (indagini termo-conduttimetriche e geofisiche). La localizzazione dei pozzi di monitoraggio dovrebbe essere il più lontano possibile dalle fonti puntuali di inquinamento antropico (scarichi civili ed industriali).
- Individuazione ed identificazione più approfondita delle possibili fonti di inquinamento dell'acquifero derivanti da attività antropiche.
- Studio dei processi costieri, quali le variazioni naturali nella ricarica dell'acquifero (bilancio idrogeologico), l'erosione costiera e le fluttuazioni periodiche del livello del mare, che sono ritenuti fattori attivi nel movimento della zona di transizione tra acqua dolce ed acqua salata.
- Sviluppo di una attività di monitoraggio a larga scala con periodicità annuale, basata sull'utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione, degli indicatori individuati per stimare la tipologia prevalente di approvvigionamento idrico negli insediamenti.
- Maggiori verifiche locali sulle tipologie prevalenti di approvvigionamento idrico, attraverso l'utilizzo di metodologie di rilievo più sensibili (questionario, intervista aperta). Tale tipologia di dato è utile per collaudare le informazioni ottenute dal monitoraggio a larga scala.
- Estensione dell'analisi nelle zone costiere a nord e a sud dell'area di studio selezionata.

Sebbene il metodo di studio utilizzato si sia sviluppato secondo una semplificazione delle realtà, debba essere calibrato in base alla tipologia di aree da esaminare, e affinato nelle singole parti che lo compongono, questo lavoro ha comunque proposto un approccio qualitativo alla valutazione della vulnerabilità delle comunità costiere rispetto ad un fenomeno quale l'intrusione salina nella falda acquifera, che può essere considerato come uno dei processi maggiormente responsabili del peggioramento della qualità delle acque sotterranee nelle zone costiere, specialmente nei contesti urbani del sud del mondo.

In riferimento al caso di Dar es Salaam, dove le acque sotterranee sono diventate sempre più importanti per soddisfare le attività socio-economiche di una popolazione in continua crescita, e di conseguenza sono sempre più minacciate dall'eccessivo sfruttamento, dall'inquinamento determinato dalle attività antropiche e, appunto, dall'aumento del fenomeno dell'intrusione marina, la tutela della qualità e della quantità della risorsa idrica sotterranea diventa un'attività di fondamentale importanza.

A tal proposito un siffatto approccio alla valutazione della vulnerabilità basato sull'integrazione dei fattori fisici e sociali che entrano in gioco nel processo, potrebbe essere di una certa utilità sia sul piano gestionale che pianificatorio.

Focalizzando l'attenzione e gli obiettivi sulla diminuzione del livello di vulnerabilità attuale delle comunità nei confronti dell'intrusione salina, le possibili strategie di adattamento conseguenti, integrate con piani di sviluppo del territorio che mirino ad una gestione sostenibile della risorsa idrica ed alla difesa dell'ambiente costiero, potrebbero essere benefiche sia al tempo presente, che al tempo futuro, ossia nel caso che la perturbazione venisse incrementata ed aggravata dai possibili effetti del cambiamento climatico, nonostante le condizioni di estrema incertezza relative alla variabilità climatica locale.

## BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 1992. *Dar es Salaam Environmental Profile*, City Director, Dar es Salaam City Council, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

AA.VV., 2003. *Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*, Vice President's Office, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

AA.VV., 2004. *Dar es Salaam City Profile*, Dar es Salaam City Council with Cities and Health Programme and WHO Centre for Development, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

AA.VV., 2007. *National Adaptation Programme of Action (NAPA)*, Division of Environment, Vice President's Office with UNEP (United Nations Environment Programme), Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

AA.VV., 2009. *Water Sector Report 2009*, Ministry of Water and Irrigation, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

ActionAid, 2004. *Turning Off the Taps. Donor Conditionality and Water Privatization in Dar es Salaam*, ActionAid International, Johannesburg, South Africa.

Al-Jeined, S., Bahnassy, M., Nasr, S., El Raey, M., 2008. *Vulnerability assessment and adaptation to the impacts of sea level rise on the Kingdom of Bahrain*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 13, pg. 87-104.

Allen, A., Davila, J.D., Hofmann, P., 2006. *Governance of Water and Sanitation Services for the Peri-urban Poor: A Framework for Understanding and Action in Metropolitan Regions*, The Development Planning Unit, University College London, London, UK.

Apolkarpi, P.J., 2007. *Hydrogeological investigation of deep coastal aquifers, Tanzania*, Master Thesis, Department of Geosciences, University of Oslo, Oslo, Norway.

Ashton, A.D., Donnelly, J.P., 2008. *A discussion of the potential impacts of climate change on the shorelines of the Northeastern USA*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 13, pg. 719-743.

Attorre, F., Bruno, F., Danovano, R., Ferrari, I., Gatto, M., Navarra, A., Valentini, R., 2009. *Cambiamenti climatici e biodiversità. Studio della mitigazione e proposte per l'adattamento. Verso la strategia nazionale per la biodiversità. Esiti del tavolo tecnico*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, DPN (Direzione per la Protezione della Natura), Roma, Italia.



Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P., 2008. *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

Bakari, S.S., Aagaard, P., Vogt, R.D., 2010. *Characteristics of hydrochemical and isotopic composition of groundwater in the coastal aquifer, Tanzania*, 29<sup>th</sup> Nordic Geological Winter Meeting, Oslo, Norway, 11-13/01/2010.

Berlin Digital Environmental Atlas, 2008. *Area Types. A description of the structural and land-use categories maintained by the Urban and Environmental Information System (ISU) of the Berlin Senate Administration for Urban Development*, Senate Department for Urban Development, Berlin, Germany.

Blinker, L., Manongi, F., Senkondo, E., Mato, R., 2006. *Tanzania Country Environmental Study. Country Environmental Profile (CEP)*, Final Report, European Commission, The United Republic of Tanzania, AFC Agrifor Consult, Les Isnes, Belgium.

Boyd, G., 2001. *An overview of private sector participation in Dar es Salaam Water and Sewerage Authority (DAWASA)*, Report for WaterAid-Tanzania, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Bohle, H., Downing, T.E., Watts, M., 1994. *Climate change and social vulnerability: the sociology and geography of food insecurity*. *Global Environmental Change*, 4(1), pg. 37-48.

Breil, M., Catenacci, M., Travisi, C., 2007. *Impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere: quantificazione economica di impatti e di misure di adattamento – sintesi di risultati e indicazioni per la ricerca futura*, APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici), CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici).

Bunango, N., 2005. *Management of coastal resources for enhancing coastal community livelihood. A case of fishing in Kunduchi Beach, Dar es Salaam*, Master Thesis, Department of Environmental Science and Management, Ardhi University, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Cai, F., Su, X., Liu, J., Li, B., Lei, G., 2009. *Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention*, *Progress in Natural Science* 19, pg. 415-426.

Camillus, J. S., 1994. *Urban Agriculture and the Sustainable Dar-es-Salaam Project*, CFP Report 10 - University of Dar es Salaam, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Casmiri, D., 2008. *Vulnerability of Dar es Salaam city to impacts of climate change*, EPMS (Environmental Protection and Management Services), University of Dar es Salaam, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

CBA Engineering Ltd, 1979. *Coast/Dar es Salaam Regions Water Master Plan*, Volume A: Water Resources, CIDA (Canadian International Development Agency), Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Celico, P., 1986. *Prospezioni idrogeologiche*, Vol.1 e Vol.2, Liguori Editore, Napoli, Italia.

CESPI (Centro Studi di Politica Internazionale), 2010. *Cambiamenti climatici e governance della sicurezza: la rilevanza politica della nuova agenda internazionale*, Osservatorio di Politica Internazionale, Servizio Affari Internazionali, Senato della Repubblica, Roma, Italia.

Chaggu, E., Mashauri, D., Van Buuren, J., Sanders, W., Lettinga G., 2002. *Excreta Disposal in Dar es Salaam*, Journal of Environmental Management, vol. 30, pp.609-620.

Clark, G.E., Moser, S.C., Ratick, S.J., Dow, K., Meyer, W.B., Emani, S., Jin, W., Kaspersen, J.X., Kaspersen, R., Schwarz, H., 1998. *Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, Ma., USA*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 3, pg. 59-82.

Cooper, H.H., Kohout, F.A., Henry, H.R., Glover, R.E., 1964. *Sea water in coastal aquifer*, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1613-C, pg. 84.

Cotecchia, V., Lattanzio, M., Polemio, M., 1993. *Metodologie di studio e difesa dall'inquinamento salino degli acquiferi*, VI Workshop Progetto Strategico Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno, Taormina, Italia 13-15/12/1993.

Cross, P., Morel, A., 2004. *Pro-poor strategies for urban water supply and sanitation delivery in Africa*, Water Science & Technology 51(8), pg. 51-57.

DAWASA (Dar es Salaam Water and Sewerage Authority), 2000. *Management Report (technical report covering the period October – December 1999)*, Internal Management Report, DAWASA, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Diaz Olvera, L., Plat, D., Pochet, P., 2003. *Transportation conditions and access to services in a context of urban sprawl and deregulation. The case of Dar es Salaam*, Transport Policy 10, pg. 287-298.

Downing, T.E., Ringius, L., Hulme, M., Waughray, D., 1997. *Adapting to climate change in Africa*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 2, pg. 19-44.

Downing, T.E., Ziervogel, G., Patwardhan, A., 2003. *Linking Global and Local Scenarios under Climate Change*, SEI (Stockholm Environment Institute), Oxford Office, UK.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), 2006. *Salinizzazione delle acque: impatti e ipotesi di mitigazione*, ENEA Unità Comunicazione, Roma, Italia.

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), 2007. *Dossier Enea per lo studio dei cambiamenti climatici e dei loro effetti*, Workshop Enea per lo studio dei cambiamenti climatici e dei loro effetti, Roma, Italia, 20/03/2007.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2010. *Climate change implication for food security and natural resources management in Africa*, Twenty-Sixth Regional Conference for Africa, Luanda, Angola, 03-07/5/2010.

Frihy, O.E., 2003. *The Nile Delta-Alexandria coast: vulnerability to sea level rise, consequences and adaptation*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 8, pg. 115-138.

Grimaldi, P., 2001. *Sistema di Gestione Ambientale del Parco Nazionale del Circeo. Monitoraggio dei processi di salinizzazione dell'acquifero costiero*, Tesi di Laurea di 2° livello in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, DAU (Dipartimento di Architettura ed Urbanistica), Sapienza - Università di Roma, Roma, Italia.

Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, 2006. *Cambiamenti climatici e rischio costiero. Le variazioni del livello del mare connesse ai cambiamenti climatici ed il rischio per le aree costiere*, Studi costieri 10, pg. 101-106.

Hay, J.E., Mimura, N., 2005. *Sea level rise: implication for water resources management*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 10, pg. 717-737.

Holam, I.P., 2006. *Climate change impacts on groundwater recharge-uncertainty, shortcomings, and the way forward?*, Hydrogeology Journal 14, pg. 637-647.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

ISMEA (Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare), IAMB (Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari), 2009. *Cambiamenti climatici e risorse idriche nella regione*

*mediterranea*, Osservatorio permanente sul sistema agroalimentare dei Paesi del Mediterraneo, Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Imago Media, Roma, Italia.

JICA (Japan International Cooperation Agency), 1991. *The study on rehabilitation of Dar es Salaam water supply in the United Republic of Tanzania*, Final Report, JICA, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

JICA (Japan International Cooperation Agency), 2005. *The study on water supply improvement in Coast Region and Dar es Salaam peri-urban in the United Republic of Tanzania*, Final Report, JICA, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

JICA (Japan International Cooperation Agency), 2008. *The study on the groundwater resources development and management in the internal drainage basin in the United Republic of Tanzania*, Final Report, JICA, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Kalugendo, P.P., 2008. *Impact of climate variability on groundwater in Dar es Salaam, Tanzania*, Wami Ruvu Water Office, Ministry of Water and Irrigation, United Republic of Tanzania.

Kasperson, J.X., Kasperson, R.E., Turner, B.L., Hsieh, W., Schiller, A., 2002. *Vulnerability to global environmental change*, The Human Dimension of Global Environmental Change, MIT Press, Cambridge, USA.

Kent, P.E., Hunt, J.A., Johnstone, M.A., 1971. *The geology and geophysics of coastal Tanzania*, Geophysical paper 6, Natural Environmental Research Council, Institute of Geological Sciences, H.M.S.O.

Kironde, J.M., 1994. *The Evolution of Land Use Structure of Dar es Salaam 1890-1990. A Study in the Effects of Land Policy*, Ph.D. Thesis, University of Nairobi, Nairobi, Kenya.

Kirshen, P., Watson, C., Douglas, E., Gontz, A., Lee, J., Tian, Y., 2008. *Coastal flooding in the Northeastern United States due to climate change*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 13, pg. 437-451.

Kjellen, M., 2006. *From Public Pipes to Private Hands. Water access and Distribution in Dar es Salaam, Tanzania*, Ph.D. Thesis, Department of Human Geography, Stockholm University, Intellecta DocuSys AB, Solna, Sweden.

Kyessi, A.G., 2002. *Community Participation in Urban Infrastructure Provision. Servicing Informal Settlements in Dar es Salaam, Tanzania*, Ph.D. Thesis, University of Dortmund, Dortmund, Germany.

Kombe, W. J., 2005. *Land use dynamics in peri-urban areas and their implication on urban growth and form: the case of Dar es Salaam, Tanzania*, Habitat International 29(1), pg. 113-135.

Lerise, F., Lupala, J. M., Meshack, M., Kiunsi, R., 2006. *Community initiatives in managing urbanization and risk accumulation processes: Lessons from Dar es Salaam*, Urban and Regional Planning Department, Disaster Management Center & Environmental Engineering Department, Ardhi University, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Lozzi, S., 2005. *Applicazione di un metodo di interpretazione di immagini satellitari ad alta risoluzione finalizzata allo studio dei fenomeni di erosione costiera e all'elaborazione di mappe di rischio costiero alla scala regionale*, Tesi di Laurea di 2° livello in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, DAU (Dipartimento di Architettura ed Urbanistica), Sapienza - Università di Roma, Roma, Italia.

Lupala, J.M., 2002. *Urban Types in Rapidly Urbanizing Cities: A Typological Approach in the Analysis of Urban Types in Dar es Salaam*, Ph.D. Thesis, Department of Infrastructure, Division of Urban Studies, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Lupala, A., 2002. *Peri-urban land management for rapid urbanization. The case of Dar es Salaam*, SPRING Research Series 32, Dortmund, Germany.

Mahongo, S., 2006. *Impacts of sea level change*, ODINAFRICA (The Ocean Data and Information Network for Africa) / GLOSS (Global Sea Level Observing System) Training Workshop on Sea Level Measurement and Interpretation, Oostende, Belgium, 13-24/11/2006.

Manase, G., 2009. *Research on climate change and water resources in southern Africa*, CSIR (Council for Scientific and Industrial Research), DWF (Danish Water Forum).

Mato, R.R.A.M., 2002. *Groundwater pollution in urban Dar es Salaam, Tanzania: assessing vulnerability and protection priorities*, Ph.D. Thesis, Eindhoven University of Technology, University Press, Eindhoven, Netherlands.

Mbonile, M.J., Kivelia, J., 2008. *Population, environment and development in Kinondoni Districts, Dar es Salaam*, Geographical Journal, Vol. 174, No. 2, pg. 149-175.

Mjemah, I.C., 2007. *Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigation of a Coastal Aquifer in Dar es Salaam, Tanzania*, Ph.D. Thesis, Ghent University, Ghent, Belgium.

Mjemah, I.C., Van Camp, M., Walraevens, K., 2009. *Groundwater exploitation and hydraulic parameter estimation for a Quaternary aquifer in Dar es Salaam, Tanzania*, Journal of African Earth Sciences 55, pg. 134-146.

Molua, E.L., 2009. *Accommodation of climate change in coastal areas of Cameroon: selection of household-level protection options*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, DOI 10.1007/s11027-009-9194-5.

Moser, C., Satterthwaite, D., 2008. *Pro-poor Climate Change Adaptation in the Urban Centres of Low-and Middle-Income Countries*, World Bank, Workshop on Social Dimensions of Climate Change, Washington DC, USA, 5-6/03/2008.

Mosi, J.B.R., 1996. *Urban Population Growth and Accessibility to Domestic water Supply in Tanzania. A case Study of Dar es Salaam City*, Master Thesis, University of Dar es Salaam, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Msindai, K., 1988. *Engineering geological aspects of soil and rocks in the Dar-es-Salaam region, Tanzania*, Ph.D. Thesis, Institute of Quaternary Geology, University of Turku, Turku, Finland.

Mtoni, Y., Mjemah, I.C., Msindai, K., Van Camp, M., Walraevens, K., 2010. *Saltwater intrusion threat in the Quaternary Aquifers of Dar es Salaam Region, Tanzania*, Paper in preparation, unpublished.

Mujwahuzi, M.R., 1993. *Willingness to pay for water and sanitation in Dar es Salaam*, Research Report 83, University of Dar es Salaam, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

NBS (National Bureau of Statistics), 2002. *Population and Housing Census*, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

Pranzini, E., 2004. *La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa del litorale*, Zanichelli, Bologna, Italia.

Ranjan, S.P., Kazama, S., Sawamoto, M., 2006. *Effects of climate and land changes on groundwater resources in coastal aquifers*, Journal of Environmental Management 80, pg. 25-35.

Ricci, L., 2010. *Assessing the local adaptive capacity to climate change: a pilot study to understand the autonomous environmental management in Dar es Salaam*, 20th Conference INURA (International Network for Urban Research and Action), "The New Metropolitan Mainstream", Zürich, Switzerland, June 27-July 3, 2010.

Sappa, G., Tulipano, L., 2000. *Dispense del corso di Idrogeologia Applicata*, inedito, Sapienza – Università di Roma, Roma, Italia.

Satterthwaite, D., 2008. *Climate change and urbanization: effects and implication for urban governance*, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat, United Nations Expert Group Meeting on Population Distribution, Urbanization, Internal Migration and Development, New York, USA, 21-23/01/2008.

Sawio, C.J., 2008. *Perception and conceptualization of urban environmental change: Dar es Salaam City*, Geographical Journal, Vol. 174, No. 2, pg. 149-175.



Sudgen, S., 2007. *Excreta management in unplanned areas*, London School of Hygiene and Tropical Medicine, London, UK.

TAWASANET (Tanzania Water and Sanitation Network), WaterAid, Daraja, Shahidi wa Maji, 2009. *Water and Sanitation equity report, 2009*, TAWASANET, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

TCMP (Tanzania Coastal Management Partnership), 2000. *The present of knowledge of marine science in Tanzania: synthesis report*, Tanzania Coastal Management Partnership and the Science and Technical Working Group, National Environmental Management Council, Dar es Salaam, United republic of Tanzania.

Temple, P., 1970. *Aspects of the Geomorphology of the Dar es Salaam Area*, Dar es Salaam City, Port and Region, Tanzania Notes and Records 71, pg. 21-54.

Tompkins, E.L., Few, R., Brown, K., 2008. *Scenario-based stakeholder engagement: Incorporating stakeholders preferences into coastal planning for climate change*, Journal of Environmental Management, pg. 1580-1592.

Tulipano, L., Fidelibus, M. D., 1999. *Evaluation of over-exploitation effects for the Salento coastal karstic aquifer through the interpretation of thermo-conductivity logs in observation wells*, 2nd Symp. On "Protection of groundwater from pollution and seawater intrusion", Istituto Italo-Russo di Formazione e Ricerche Ecologiche, Bari, Italia.

UNDP (United Nations Development Programme), 2007. *Lo sviluppo umano, rapporto 2007/2008. Resistere al cambiamento climatico* (titolo originale: *Human Development Report 2007/2008. Fighting climate change: human solidarity in a divided world*), Rosenberg & Sellier, Torino, Italia.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) Commissione Italiana, 2007. *Sviluppo sostenibile e cambiamenti climatici*, Tipolitografia Trullo, Roma, Italia.

UN-HABITAT (The United Nations Human Settlements Programme), UNEP (United Nations Environment Programme), 2004. *The sustainable Dar es Salaam Project 1992-2003. From urban environment priority to up-scaling strategies city-wide*, UNION, Publishing Services Section, Nairobi, Kenya.

UN-HABITAT (The United Nations Human Settlements Programme) (1), 2009. *Tanzania: Dar es Salaam City Profile*, UNION, Publishing Services Section, Nairobi, Kenya.

UN-HABITAT (The United Nations Human Settlements Programme) (2), 2009. *Cities and Climate Change Initiative*, Launch and Conference Report, Oslo, Norway, 17/03/2009, UNION, Publishing Services Section, Nairobi, Kenya.

UN-HABITAT (The United Nations Human Settlements Programme), 2010. *Citywide Action Plan for Upgrading Unplanned and Unserved Settlements in Dar es Salaam*, UNION, Publishing Services Section, Nairobi, Kenya.

WaterAid, 2001. *WaterAid Tanzania*. WaterAid Overseas Committee Paper 00/13, London, UK.

WaterAid, 2003. *Water Reforms and PSP in Dar es Salaam. New Rules: Does PSP Benefit the Poor?*, WaterAid – Tanzania, WaterAid and Tearfund, Dar es Salaam, United Republic of Tanzania.

WaterAid, 2005. *Water and Sanitation in Tanzania: An Update Based on the 2002 Population and Housing Census*, WaterAid, London, UK

Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., 1998. *The regional impacts of climate change. An assessment of vulnerability*, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), WMO (World Meteorological Organization), UNEP (United Nations Environment Programme), Cambridge University Press, Cambridge, UK.

WHO (World Health Organization), 1984. *Guidelines for drinking water quality. Vol. 1 Recommendations*, WHO, Geneva, Switzerland.

WHO (World Health Organization), 2003. *The Right to Water*, WHO, Geneva, Switzerland.

World Bank, 1999. *Tanzania-Dar es Salaam Water Supply and Sanitation Project*, World Bank, Washington DC, USA.

## SITOGRAFIA

ActionAid Tanzania: <http://www.actionaid.org/tanzania/> (ultimo accesso: 21/12/2010).

Ardhi University: <http://www.aru.ac.tz/> (ultimo accesso: 15/12/2010).

Berlin's official site, Berlin Digital Environmental Atlas:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/edua\\_index.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/edua_index.shtml) (ultimo accesso: 12/12/2010).

CESPI (Centro Studi di Politica Internazionale): <http://www.cespi.it/home.html> ultimo accesso: 05/11/2010).

CIDA (Canadian International Development Agency), Tanzania: <http://www.acdi-cida.gc.ca/acdi-cida/ACDI-CIDA.nsf/Eng/JUD-21712472-NUX> (ultimo accesso: 15/12/2010).

CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici): <http://www.cmcc.it/> ultimo accesso: 24/10/2010).

DAWASCO (Dar es Salaam Water and Sewerage Corporation): <http://www.dawasco.com/> (ultimo accesso: 16/10/2010).

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile): <http://www.enea.it/index.html> (ultimo accesso: 21/11/2010).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): <http://www.fao.org/> (ultimo accesso: 16/11/2010).

Google maps Italia: <http://maps.google.it/> (ultimo accesso: 07/12/2010).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): <http://www.ipcc.ch/> (ultimo accesso: 23/12/2010).

JICA (Japan International Cooperation Agency), Tanzania:  
<http://www.jica.go.jp/tanzania/english/index.html> (ultimo accesso: 17/12/2010).

NBS (National Bureau of Statistics) Tanzania: <http://www.nbs.go.tz/> (ultimo accesso: 17/12/2010).

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development): [www.oecd.org/](http://www.oecd.org/) (ultimo accesso: 26/11/2010).

SEI (Stockholm Environment Institute): <http://sei-international.org/> (ultimo accesso: 08/12/2010).

The United Republic of Tanzania Ministry of Water and Irrigation: <http://www.maji.go.tz/> (ultimo accesso: 08/11/2010).

University of Dar es Salaam: <http://www.udsm.ac.tz/> (ultimo accesso: 14/11/2010).

UNDP (United Nations Development Programme): <http://www.undp.org/> (ultimo accesso: 14/12/2010).

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change): <http://unfccc.int/2860.php> (ultimo accesso: 21/10/2010).

UN-HABITAT (The United Nations Human Settlements Programme): <http://www.unhabitat.org/> (ultimo accesso: 24/12/2010).

UNEP (United Nations Environment Programme): <http://www.unep.org/> (ultimo accesso: 24/11/2010).

United Republic of Tanzania, national website: <http://www.tanzania.go.tz/> (ultimo accesso: 10/09/2010).

WaterAid Tanzania: <http://tanzania.wateraid.org/> (ultimo accesso: 16/12/2010).

WHO (World Health Organization), Tanzania: <http://www.who.int/countries/tza/en/> (ultimo accesso: 18/11/2010).

World Bank, Tanzania: <http://web.worldbank.org/> (ultimo accesso: 15/12/2010).

## ALLEGATO 1 - Analisi della sensibilità del sistema biofisico

Database (pozzi disponibili): localizzazione; anno di costruzione; caratteristiche costruttive; parametri fisici delle acque

| No | BH/No    | Area/Village         | Owner                    | YC   | Depth (mbgl) | Dia (inch ) | Year of construction |            | 2005 JICA Survey |            | Current Survey |            |
|----|----------|----------------------|--------------------------|------|--------------|-------------|----------------------|------------|------------------|------------|----------------|------------|
|    |          |                      |                          |      |              |             | SWL (mbgl)           | EC (uS/cm) | SWL (mbgl)       | EC (uS/cm) | SWL (mbgl)     | EC (uS/cm) |
| 1  | 65/97    | Kibuku               | Dar Brew1                | 1997 | 66.00        | 6"          | 9.78                 |            | 9.78             | 2030       |                |            |
| 2  | 68/97    | K.ndoni Ally Maua    | CIP                      | 1997 | 50.00        | 6"          | 8.25                 | 4500       | 19.41            | 2190       |                |            |
| 3  | 51/97    | Kibuku               | Dar Brew                 | 1997 | 63.00        | 6"          | 9.62                 | 1420       | 9.62             | 2350       |                |            |
| 4  | 39/97    | Kigogo               | NR                       | 1997 | 34.00        | 6"          | 7.10                 | 1210       | 7.10             | 1278       |                |            |
| 5  | 94/97    | Kijito Pr. School    | DAWASA1                  | 1997 | 42.00        | 6"          | 11.80                | 8500       |                  |            |                |            |
| 6  | 40/97    | Kijitonyama          | DAWASA2                  | 1997 | 50.00        | 6"          | 8.77                 | 1800       | 12.78            | 5010       |                |            |
| 7  | 37/97    | Kinondoni Pr. School | DAWASA3                  | 1997 | 30.00        | 6"          | 5.68                 | 1690       | 6.55             | 696        |                |            |
| 8  | 14/97    | Lugalo Barracks      | DAWASA4                  | 1997 | 40.00        | 6"          | 21.00                | 2200       | 21.00            | 4520       |                |            |
| 9  | 67/97    | M. Nyamala Pr.       | DAWASA5                  | 1997 | 45.00        | 6"          | 9.05                 | 1670       | 9.05             | 1221       |                |            |
| 10 | 29/97    | Magomeni Garden      | DAWASA6                  | 1997 | 43.00        | 6'          | 1.94                 |            | 1.94             | 753        |                |            |
| 11 | 32/97    | Mwananyamala Hosp.   | DAWASA7                  | 1997 | 42.00        | 6"          | 8.57                 | 1100       |                  |            |                | 424        |
| 12 | 52/97    | Mwenge Pr. School    | DAWASA8                  | 1997 | 40.00        | 6"          | 9.39                 |            | 9.39             | 2258       |                |            |
| 13 | 106/97   | Mzimuni Pr. School   | DAWASA9                  | 1997 | 46.00        | 6"          | 9.70                 |            | 9.70             | 1853       |                |            |
| 14 | 41/97    | Osterbay Police      | NR                       | 1997 | 26.00        | 6"          | 8.40                 | 6100       |                  |            |                |            |
| 15 | 125/97   | St. Peters           | DAWASA10                 | 1997 | 30.00        | 6"          | 9.86                 |            | 9.30             | 3390       |                |            |
| 16 | 21/97    | Ubungo Maji          | DAWASA11                 | 1997 | 70.00        | 6"          | 30.27                |            | 30.27            | 8220       |                |            |
| 17 | 12/98 B  | External             | Mrs. Kiwayo              | 1998 | 42.00        | 5"          | 9.62                 | 1500       | 9.52             | 2460       |                |            |
| 18 | 288/98   | Gobba                | TATEDO                   | 1998 | 80.00        | 6"          | 16.80                | 4000       | 16.80            | 778        |                |            |
| 19 | 138/98   | Kimara               | Mr. Lumbanga             | 1998 | 51.00        | 5"          | 8.42                 |            | 9.20             | 9150       |                |            |
| 20 | 24/98    | Magomeni             | Mr. Mbaruku              | 1998 | 33.00        | 5"          | 7.80                 | 3000       | dry              | dry        |                |            |
| 21 | 47/98    | Makongo Juu          | UCLAS                    | 1998 | 30.00        | 5"          | NR                   |            |                  |            |                |            |
| 22 | 125/98   | Masjid Ladwa         | The african relief comm. | 1998 | 30.00        | 5"          | 5.76                 |            | 5.76             | 3290       |                |            |
| 23 | 97/98    | Mbezi Beach          | M/s G.Nsanya             | 1998 | 39.00        | 5"          | 15.30                | 8000       | 15.30            | 9500       |                |            |
| 24 | 159/98   | Mbezi Msakuzi        | L.D Lyana                | 1998 | 30.00        | 5"          | 11.42                |            | dry              | dry        |                |            |
| 25 | 258/98   | Mburahati            | Mr. Mashoto              | 1998 | 40.00        | 5"          | 12.56                | 4500       |                  |            |                |            |
| 26 | 357/98   | Mburahati            | Mr. Gasper               | 1998 | 21.00        | 4"          | 7.77                 | 2000       |                  |            |                |            |
| 27 | 282/98   | Oysterbay            | Denmark Embassy          | 1998 | 14.00        | 6"          | 8.97                 | 11500      |                  |            |                |            |
| 28 | 363/98   | Ubungo Kibangu       | UIHS                     | 1998 | 42.00        | 5"          | 11.40                |            | dry              | dry        |                |            |
| 29 | 287/98   | Upanga               | Posta House              | 1998 | 12.00        | 6"          | 2.61                 | 1100       |                  |            |                |            |
| 30 | 103/98   | Tandale              | Bakwata                  | 1998 | 40.00        | 5"          | 6.60                 | 1480       | 6.60             | 2210       |                |            |
| 31 | 554/99   | Bunju - Kinondo      | M/s P.M.O                | 1999 | 100.00       | 6"          | 42.94                | 1391       | dry              | dry        |                |            |
| 32 | 181/99   | Kagera maluwi        | M/sNdugumbi              | 1999 | 59.00        | 6"          | 10.86                | 2500       | 10.86            | 2020       |                |            |
| 33 | 16/99    | Kinduchi Mtongani    | M/s Machuve              | 1999 | 33.00        | 6"          | 20.70                | 16800      | 20.70            | 14030      |                |            |
| 34 | 75/99    | Kinondoni            | M/s Gugu                 | 1999 | 30.00        | 5"          | 9.41                 |            | 9.41             | 1692       |                |            |
| 35 | 25/99    | Mabibo Makubuli      | M/s Mhamilawa            | 1999 | 36.00        | 5"          | 8.98                 |            | 8.98             | 5120       |                |            |
| 36 | 579/99   | Mabwepande           | M/s Jairo                | 1999 | 48.00        | 5"          | 36.95                |            | 36.00            | 5680       |                |            |
| 37 | 334/99   | Magomeni             | M/s Lion                 | 1999 | 38.00        |             |                      | 1350       |                  |            |                |            |
| 38 | 110/99   | Magomeni             | M/s Ndugumbi Mosque      | 1999 | 37.00        | 5"          | 11.20                | 1800       | 11.20            | 2790       |                |            |
| 39 | 466/99   | Makongo Sec          | M/s JWTZ                 | 1999 | 26.00        | 5"          | 12.80                | 6700       |                  |            |                |            |
| 40 | 161/99   | Msasani Hospital     | M/s UNICEF               | 1999 | 12.00        | 5"          | 2.30                 | 600        | 2.30             | 1100       | 3.0            | 2800       |
| 41 | 111/99   | M.nyamala            | M/s UNDP                 | 1999 | 40.00        | 8"          | 7.12                 | 860        |                  |            |                |            |
| 42 | 459/99   | Tabata Kisiwani      | M/s Temu                 | 1999 | 38.00        | 5"          | 10.92                |            | 18.43            | 2460       |                |            |
| 43 | 379/99   | Tandale              | M/s Mbegu                | 1999 | 41.00        | 5"          | 4.72                 | 1660       |                  |            |                |            |
| 44 | 570/99   | Ubongo Kisiwani      | M/s Ipembe               | 1999 | 40.00        | 5"          | 8.61                 |            | 8.61             | 3540       |                |            |
| 45 | 197/2000 | Bunju                | M/s Mhe. Sumaye          | 2000 | 119.00       | 5"          | 32.02                | 2090       |                  | 1234       |                |            |
| 46 | 162/2000 | Kinondoni            | M/s Msikiniti            | 2000 | 35.00        | 5"          | 5.85                 | 1304       | 5.85             | 4890       |                |            |
| 47 | 431/2000 | Sinza                | M/s Mbaga1               | 2000 | 33.00        | 5"          | 0.75                 |            | 1.00             | 1300       |                |            |
| 48 | 459/2000 | Sinza                | M/s Mbaga2               | 2000 | 12.00        | 5"          | 4.73                 | 10240      |                  |            |                |            |
| 49 | 350/2000 | Tegeta Kilimahewa    | M/s Ngamilo              | 2000 | 60.00        | 5"          | 16.50                |            | 16.42            | 2156       |                |            |
| 50 | 258/2000 | Mburahati            | M/s Municipal            | 2000 | 41.00        | 6"          | 10.72                | 3280       | 10.72            | 3990       |                |            |
| 51 | 259/2000 | Mburahati            | M/s Maria Alex           | 2000 | 27.00        | 5"          | 12.20                | 3670       |                  |            |                |            |
| 52 | 159/2000 | Msasani              | M/s Iran Embassy         | 2000 | 17.00        | 4"          | 12.57                | 10040      |                  |            |                |            |
| 53 | 141/2000 | Mwananyamala         | M/s Msikitini            | 2000 | 40.00        | 5"          | 7.45                 | 1125       | 7.45             | 481        |                |            |
| 54 | 17/2000  | Riverside            | M/s Amon Enter           | 2000 | 40.50        | 5"          | 6.61                 |            | 6.61             | 3180       |                |            |
| 55 | 192/2000 | Sinza                | M/s Bishubo              | 2000 | 20.00        | 5"          | 9.14                 | 1475       | 9.14             | 1787       |                |            |
| 56 | 349/2000 | Kawe                 | M/s Nsekela              | 2000 | 18.00        | 5"          | 8.26                 | 5180       | 8.26             | 1121       |                |            |
| 57 | 2/2000   | Teta - Mpigi         | M/s Muwandu              | 2000 | 21.00        | 5"          | 12.58                |            | 12.58            | 4350       |                |            |
| 58 | 382/2000 | Teta- Mpigi          | M/s Katakweba            | 2000 | 69.00        | 5"          | 26.32                |            | 26.32            | 7620       |                |            |
| 59 | 319/2000 | Ubondo Bus stand     | M/s Mbawala              | 2000 | 60.00        | 5"          | 6.01                 | 610        | 13.50            | 940        |                |            |
| 60 | 391/2000 | Ubungo Bus stand     | M/s Mahatene             | 2000 | 62.00        | 5"          | 10.52                | 702        | 9.11             | 1077       |                |            |
| 61 | 8/2000   | Ubungo marian&Faith  | M/s Marian & Faith H.C   | 2000 | 40.05        | 5"          | 11.79                | 2070       | 11.79            | 2015       |                |            |
| 62 | 193/2000 | Ubungo Mwisho        | M/s TANESCO              | 2000 | 35.00        | 6"          | 13.04                |            | 13.05            | 3360       |                |            |
| 63 | 380/2000 | Wazo Hill            | M/s Chimbyangu           | 2000 | 60.00        | 5"          | 30.25                |            | 32.00            | 1719       |                |            |
| 64 | 1/2001   | Boko                 | M/s Roze Ruta            | 2001 | 48.00        | 6"          | 38.18                | 4450       | 38.18            | 3900       |                |            |
| 65 | 174/2001 | Bunju 'A'            | M/s Municipal            | 2001 | 63.00        | 6"          | 43.46                | 3100       | 43.46            | 1256       |                |            |
| 66 | 27/2001  | Bunju B              | M/s Mtenga               | 2001 | 38.00        | 6"          | 29.66                | 3510       | 29.66            | 4120       |                |            |

|     |          |                     |                          |      |       |    |        |       |       |       |       |
|-----|----------|---------------------|--------------------------|------|-------|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 67  | 382/2001 | Kawe                | M/s J.A.C.               | 2001 | 50.00 | 5" | 14.95  | 1119  | 14.95 | 8610  |       |
| 68  | 48/2001  | M/ Nyamala Kisiwani | M/s Msikitini            | 2001 | 38.00 | 6" | 9.20   |       | 11.05 | 1220  |       |
| 69  | 78/2001  | Mburahati           | M/s KKKT1                | 2001 | 40.00 | 5" | 11.41  | 812   | 11.41 | 4270  |       |
| 70  | 319/2001 | Mburahati           | M/s Mathew               | 2001 | 38.00 | 5" | 13.27  | 1420  | 13.27 | 3050  |       |
| 71  | 376/2001 | Mikocheni B         | M/s Knight Frank         | 2001 | 14.00 |    | 0.76   | 3920  |       |       |       |
| 72  | 5/2001   | Osterbay            | M/s American Emby1       | 2001 | 15.00 | 4" | 7.77   | 2230  |       |       |       |
| 73  | 6/2001   | Osterbay            | M/s American Emby2       | 2001 | 16.00 | 6" | 7.50   | 1130  |       |       |       |
| 74  | 7/2001   | Osterbay            | M/s American Emby3       | 2001 | 16.00 | 4" | 6.45   | 949   |       |       |       |
| 75  | 281/2001 | Tandale             | M/s Chocks               | 2001 | 67.00 | 5" | 15.12  | 2170  | 15.12 | 2590  |       |
| 76  | 328/2001 | Tandale             | M/s Mchacho              | 2001 | 50.00 |    |        | 1653  |       |       |       |
| 77  | 326/2001 | Tandale             | M/s DAWASA12             | 2001 | 40.00 | 6" | 9.83   | 6450  | 9.83  | 1480  |       |
| 78  | 328/2001 | Tandale Police Post | M/s DAWASA13             | 2001 | 50.00 | 6" | 5.37   |       | 11.10 | 2360  |       |
| 79  | 255/2001 | Ubungu External     | M/s Mussa                | 2001 | 40.00 | 5" | 20.03  | 4380  | 25.03 | 6530  |       |
| 80  | 63/2001  | Ubungu Maji Coast   | M/s DDCA                 | 2001 | 43.00 | 4" | 34.05` | 1160  |       |       | 4587  |
| 81  | 325/2002 | Boko                | M/s Uronu                | 2002 | 60.00 | 5" | 17.30  | 2980  | 17.30 | 4530  |       |
| 82  | 121/2002 | Kijitonyama         | M/s C. Mkonyi            | 2002 | 60.00 | 5" | 6.10   | 1805  | 6.1   | 4654  |       |
| 83  | 347/2002 | Kijitonyama         | M/s Vumilia Ely          | 2002 | 56.00 | 5" | 10.62  |       | 10.62 | 1692  |       |
| 84  | 102/2002 | Masaki              | M/s USAID4               | 2002 | 14.00 | 5" | 8.25   | 47100 |       |       |       |
| 85  | 125/2002 | Masaki              | M/s Kabisa               | 2002 | 15.00 | 5" | 3.41   |       | 3.41  | 23300 |       |
| 86  | 34/2002  | Masaki              | M/s Posta                | 2002 | 15.00 | 5" | 7.02   | 3260  | 7.02  | 4280  |       |
| 87  | 368/2002 | Ubungu              | M/s Bargat               | 2002 | 20.00 | 5" | 12.30  |       | 12.30 | 13480 |       |
| 88  | 82/2002  | Mbezi Beach         | M/s A. Msale             | 2002 | 6.00  | 5" | 1.15   | 4110  | dry   | dry   |       |
| 89  | 345/2002 | Mwananyamala        | M/s Masjid Kidile        | 2002 | 40.00 | 5" | 5.97   |       | 5.97  | 2050  |       |
| 90  | 362/2002 | Sinza               | M/s Epimark S. Makoi     | 2002 | 26.00 | 5" | 8.70   | 1642  | 9.50  | 1778  |       |
| 91  | 344/2003 | Boko                | M/s Mheto                | 2003 | 50.00 | 5" | 11.18  | 14788 | 11.18 | 1842  |       |
| 92  | 100/2003 | Boko                | M/s D. Nchome            | 2003 | 28.00 | 5" |        |       |       |       |       |
| 93  | 2/2003   | Bunju               | M/s Lugemalila           | 2003 | 60.00 | 5" | 47.60  | 3420  | 47.60 | 3860  |       |
| 94  | 134/2003 | Goba                | M/s Shaib Robert         | 2003 | 30.00 |    | dry    |       |       |       |       |
| 95  | 378/2003 | Kawe Garden         | M/s Municipal            | 2003 | 22.00 | 6" | 10.96  | 1676  | 10.96 | 1622  |       |
| 96  | 207/2003 | Kijitonyama         | N.s.J. Mdoe              | 2003 | 40.00 | 5" | 11.60  | 2000  | 11.60 | 4680  |       |
| 97  | 439/2003 | Kunduchi            | M/s Ngombale             | 2003 | 45.00 | 5" | 8.47   | 940   | 11.10 | 836   | 990   |
| 98  | 108/2003 | Manzese             | M/s R. C Mission         | 2003 | 50.00 | 5" | 11.95  |       | 13.32 | 4050  |       |
| 99  | 48/2003  | Mbezi               | M/s D. Magwiza           | 2003 | 60.00 |    |        |       |       |       |       |
| 100 | 663/2003 | Mbezi Beach II      | M/s Belinda Resort       | 2003 | 16.00 | 5" | 4.67   | 8800  |       |       | 10600 |
| 101 | 616/2003 | Mbezi Temboni       | M/s Make Interprises     | 2003 | 60.00 | 5" | 11.34  | 216   | 11.34 | 571   |       |
| 102 | 615/2003 | Mikocheni           | M/s T VT                 | 2003 | 46.00 | 5" | 13.30  | 1410  | 13.30 | 1365  | 2254  |
| 103 | 58/2003  | Mikocheni           | M/s O. Kituli1           | 2003 | 10.50 | 5" | 1.04   |       |       |       |       |
| 104 | 305/2003 | Mikocheni B         | M/s O. Kituli2           | 2003 | 20.00 | 5" | 1.53   | 3000  |       |       |       |
| 105 | 392/2003 | Mikocheni           | Alpher Dry Cleaner       | 2003 | 32.00 | 5" | 10.04  | 1180  | 10.04 | 3410  | 2768  |
| 106 | 34/2003  | Mwenge              | M/s Bamaga Shell Station | 2003 | 50.00 | 5" | 9.20   | 2010  | 12.50 | 1822  | 1340  |
| 107 | 637/2003 | Mwenge              | M/s Bahari Food          | 2003 | 50.00 | 5" | 9.19   | 3580  |       |       | 2441  |
| 108 | 312/2003 | Ocean Road          | M/s Gvt Chemist          | 2003 | 11.00 | 5" | 7.46   |       | 5.77  | 336   |       |
| 109 | 610/2003 | Sinza               | M/s Chisanga             | 2003 | 46.00 | 5" | 5.78   | 1100  | 5.78  | 1635  |       |
| 110 | 612/2003 | Tandale             | M/s Saleh H. Sagala      | 2003 | 40.00 | 5" | 13.82  | 1860  | 13.93 | 1121  |       |
| 111 | 315/2003 | Tandale kwa Tumbo   | M/s Municipal            | 2003 | 60.00 | 5" | 8.18   |       | 8.18  | 2230  |       |
| 112 | 204/2003 | Town Centre         | M/s Mipango              | 2003 | 15.00 | 5" | 8.50   | 902   | 8.50  | 1065  |       |
| 113 | 433/2003 | Upanga Ocean Road   | M/s Mkemia Mkuu          | 2003 | 14.00 |    |        | 1040  |       |       |       |
| 114 | 357/2003 | Upanga              | M/s Ministry of Health   | 2003 | 23.00 | 5" | 5.75   |       |       |       |       |
| 115 | 39/2003  | Wazo Hill           | M/s Hon. Makamba         | 2003 | 54.00 | 5" | 18.20  | 808   | 18.20 | 1654  |       |
| 116 | 54/2004  | Kawe                | M/s N.A. Wolf            | 2004 | 16.00 | 5" | 2.22   | 1650  | 1.63  | 2140  | 2773  |
| 117 | 542/2004 | Kawe                | M/s JWTZ                 | 2004 | 20.00 | 5" | 13.02  | 7580  |       |       |       |
| 118 | 582/2004 | Kunduchi            | M/s TAFIRI1              | 2004 | 13.00 | 5" | 3.05   | 25700 |       | 4.25  | 16720 |
| 119 | 31/2004  | Makuburi            | M/s Hassan Abdl          | 2004 | 50.00 | 5" | 14.54  |       | 14.54 | 1227  |       |
| 120 | 57/2004  | Manzese             | M/s Y. Danda             | 2004 | 50.00 | 5" | 9.40   |       | 6.15  | 2800  |       |
| 121 | 15/2004  | Mbezi Beach         | M/s Dr. Eng.Mohamed1     | 2004 | 40.00 | 5" | 11.60  | 1067  | 11.20 | 1166  | 1944  |
| 122 | 100/2004 | Mikocheni B         | M/s John Cabral          | 2004 |       |    | 5.72   | 3290  |       |       |       |
| 123 | 47/2004  | Mbezi Suka          | M/s P. Ngoma             | 2004 | 39.00 | 4" | 18.40  |       | 18.40 | 845   |       |
| 124 | 17/2004  | Msasani B. Club     | M/s JWTZ                 | 2004 | 11.00 | 5" | 2.25   | 3500  |       | 3340  | 5220  |
| 125 | 74/2004  | Upanga              | M/s M. Defence           | 2004 | 32.00 | 6" | 6.63   |       | 6.63  | 746   |       |
| 126 | 519/2005 | Kunduchi            | M/s Ge. Gimangi1         | 2005 | 16.00 | 5" | 2.46   | 886   |       |       |       |
| 127 | 41/2005  | Kunduchi            | M/s K. Akaro             | 2005 | 10.00 | 5" | 8.33   | 7090  |       | 7.72  | 6538  |
| 128 | 900/2005 | Mbezi Beach         | M/s Machuve              | 2005 | 50.00 | 5" | 6.67   | 4220  |       |       |       |
| 129 | 630/2005 | Mbezi Beach         | M/s Prof. Hayum          | 2005 | 12.40 | 5" | 6.28   | 4760  |       | 4.63  | 1090  |



| a1  |          |                   |                               |      |       |    |       |       |       |       |
|-----|----------|-------------------|-------------------------------|------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
| 130 | 777/2005 | Mwananyamala      | M/s DAWASA14                  | 2005 | 40.00 | 6" | 9.35  | 1180  |       | 3336  |
| 131 | 800/2005 | Mikocheni         | M/s A. Hassan                 | 2005 | 18.00 | 5" | 3.35  | 1219  |       | 445   |
| 132 | 788/2005 | Mikocheni         | M/s ITV Media                 | 2005 | 30.00 | 5" | 10.05 | 3510  |       |       |
| 133 | 147/2006 | Mbezi Beach       | M/s Prof. Hayum a2            | 2006 | 15.00 | 5" | 7.23  | 13550 |       |       |
| 134 | 732/2006 | Msasani           | M/s Municipal Kinondoni       | 2006 | 24.00 | 5" | 6.39  | 1456  |       |       |
| 135 | 224/2006 | Mikocheni         | M/s F. Nguma                  | 2006 | 17.10 | 5" | 5.10  | 7620  | 5.30  | 10090 |
| 136 | 220/2006 | Mikocheni         | M/s Mission Sisters           | 2006 | 10.00 | 5" | 0.60  | 6296  |       | 5413  |
| 137 | 558/2007 | Kunduchi          | M/s Ge. Gimange2              | 2007 | 36.00 | 5" | 3.60  | 2950  |       | 2782  |
| 138 | 584/2007 | Oysterbay         | M/s Vice President's Office   | 2007 | 20.00 | 5" | 7.10  | 7490  |       | 7890  |
| 139 | 317/2007 | Mbezi Beach       | M/s Dr. Eng. Mohamed2         | 2007 | 44.00 | 5" | 12.33 | 7320  |       |       |
| 140 | 446/2008 | Kunduchi Mtongani | DAWASA15                      | 2008 | 19.00 | 5" | 14.77 | 3230  | 13.80 | 3315  |
| 141 | 757/2008 | Mikocheni         | M/s Kays Hygiene Products LTD | 2008 | 30.00 | 5" | 4.30  | 6590  |       | 10740 |
| 142 | 01/2009  | Sala Sala         | M/s Mwasonya                  | 2009 | 80.00 | 5" | 32.16 | 3490  |       | 3246  |
| 143 |          | Kunduchi          | M/s TAFIRI2                   | 2010 | 20.00 | 5" |       |       | 4.60  | 12530 |
| 144 |          | Kawe              | M/s Municipal                 |      |       |    |       |       |       | 179   |
| 145 |          | Makumbusho        | M/s Kijiji cha                |      | 50.00 |    |       |       |       | 1050  |
| 146 |          | Oysterbay         | M/s DAP MoW                   |      |       |    |       |       |       | 2810  |
| 147 | 284/2008 | Oysterbay         | M/s Mkuuwa Majeshi            | 2008 | 15.00 |    | 10.55 | 1002  |       | 1640  |
| 148 | 394/2007 | Oysterbay         | M/s R. Morell                 | 2007 | 15.00 |    | 8.30  | 3790  |       | 3820  |
| 149 |          | Mikocheni         | M/s WWF                       |      |       |    |       |       |       | 1880  |
| 150 | 68/2006  | Msasani           | M/s Dr. Kabisa                | 2006 | 28.00 |    | 8.95  | 3940  |       | 4350  |
| 151 |          | Msasani           | M/s A. Abdalah                |      |       |    |       |       |       | 2030  |
| 152 |          | Msasani           | M/s Maqbul Mosque             |      |       |    |       |       |       | 2030  |
| 153 |          | Msasani           | M/s Slipway                   |      |       |    |       |       |       | 51000 |
| 154 |          | Msasani           | M/s Makangira Water Kiosk     |      |       |    |       |       |       | 1270  |
| 155 |          | Msasani           | M/s A. Anuwal                 |      |       |    |       |       | 2.5   | 1390  |
| 156 |          | Msasani           | M/s Msikini                   |      |       |    |       |       |       | 50000 |
| 157 |          | Mikocheni         | M/s Father House              |      |       |    |       |       |       | 3750  |
| 158 | 687/2006 | Oysterbay         | M/s Mchomvu                   | 2006 | 18.00 |    | 8.95  | 3480  |       |       |
| 159 | 548/2005 | Oysterbay         | M/s G. Ally                   | 2005 | 15.00 |    |       |       | 6.60  | 3520  |
| 160 | 799/2008 | Oysterbay         | M/s Samson Fimbo              | 2008 | 15.00 |    | 5.30  | 2580  |       |       |
| 161 |          | Oysterbay         | M/s TPDF                      |      | 40.00 |    |       |       |       |       |
| 162 |          | Kijitonyama       | M/s KKKKT2                    |      | 25.00 |    |       |       |       |       |
| 163 | 82/2007  | Kijitonyama       | M/s M. Mkonyi                 | 2007 | 60.00 |    |       |       | 11.23 | 2450  |
| 164 |          | Masaki            | M/s Hon. J. Mungai            |      | 20.00 |    |       |       |       |       |
| 165 | 353/2001 | Mbezi Beach       | M/s Msale                     | 2001 | 30.00 | 5" | 1.57  | 14120 |       |       |

Database (pozzi disponibili): distanza dalla linea di costa; parametri chimici delle acque

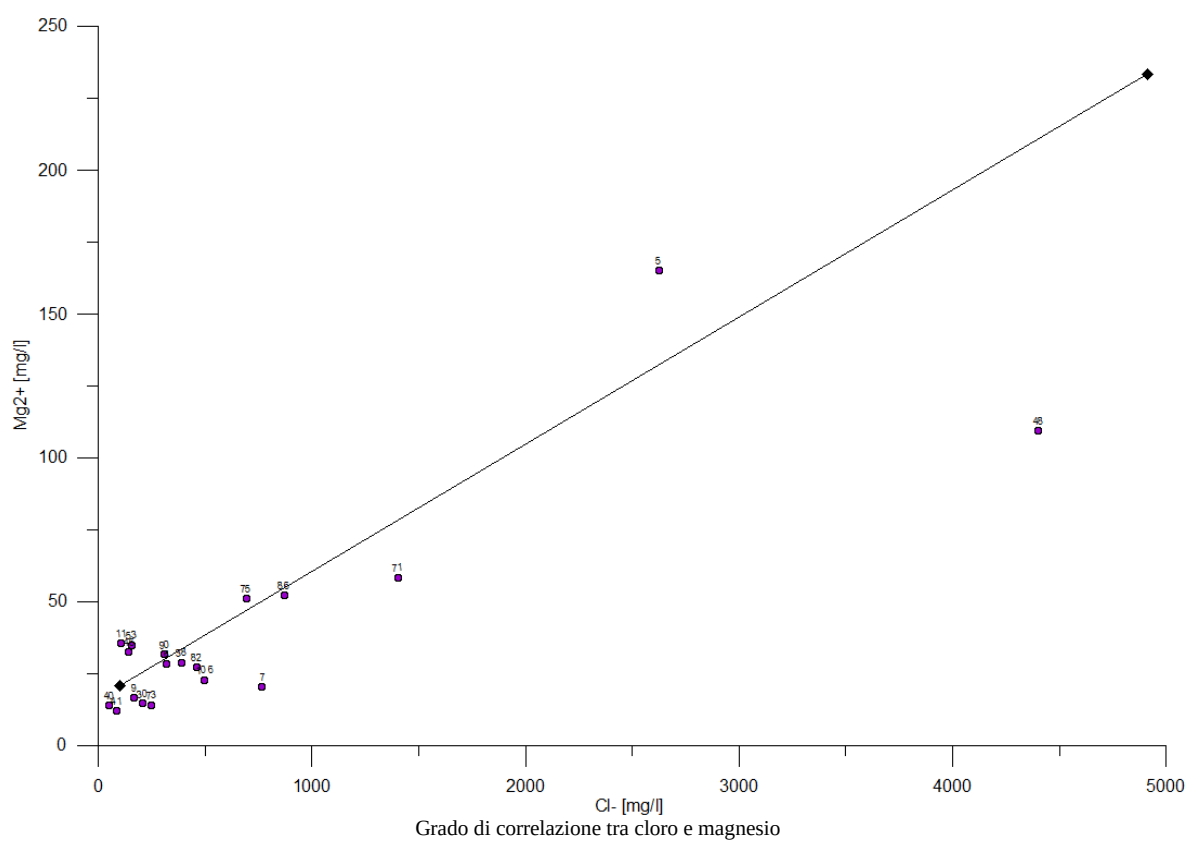
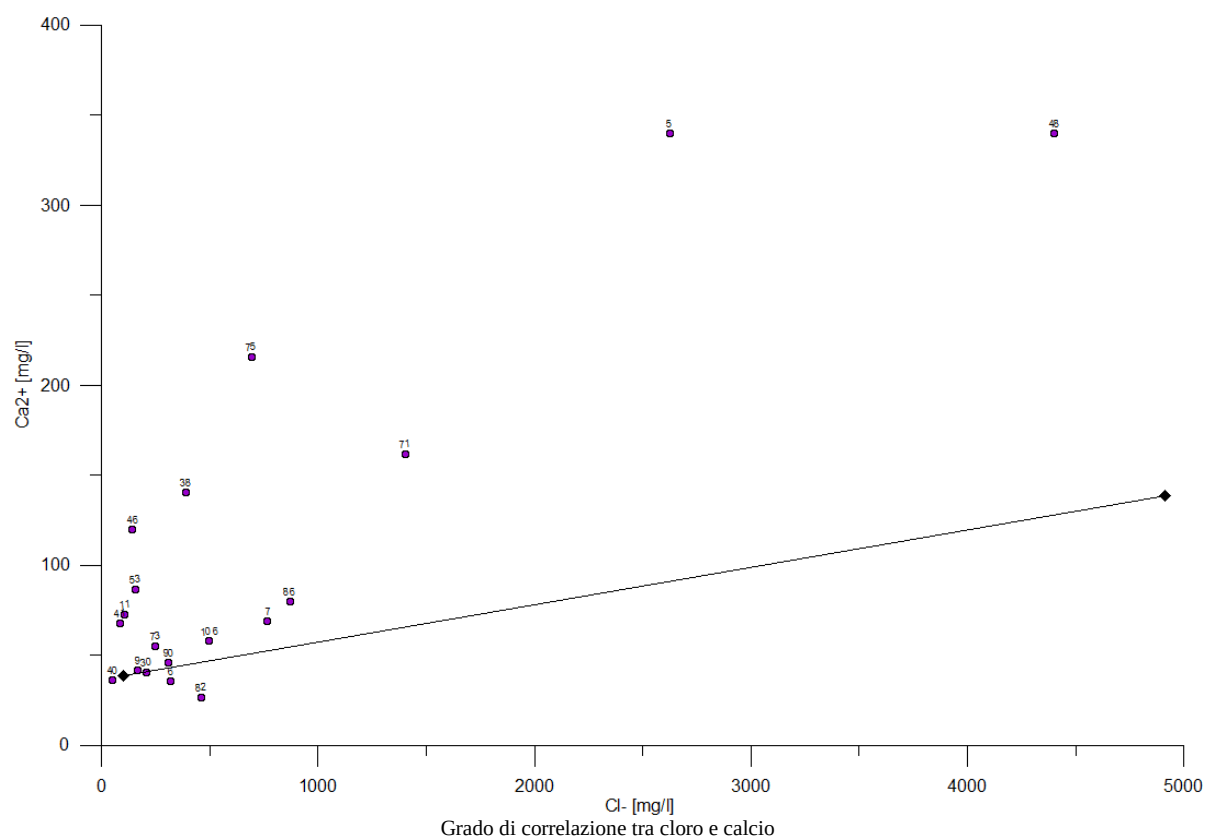
| No | BH/No    | YC   | Depth<br>(mbgl) | Sea<br>dist.<br>[m] | Chemical Parameters - Year of construction (before 2003) |               |                |                |               |           | Chemical Parameters - Year of construction and JICA analysis (after 2003) |               |                |                |               |              |
|----|----------|------|-----------------|---------------------|----------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
|    |          |      |                 |                     | Cl-<br>[mg/l]                                            | TDS<br>[mg/l] | Ca2+<br>[mg/l] | Mg2+<br>[mg/l] | Na+<br>[mg/l] | K+ [mg/l] | Cl-<br>[mg/l]                                                             | TDS<br>[mg/l] | Ca2+<br>[mg/l] | Mg2+<br>[mg/l] | Na+<br>[mg/l] | K+<br>[mg/l] |
| 1  | 65/97    | 1997 | 66.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 2  | 68/97    | 1997 | 50.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 3  | 51/97    | 1997 | 63.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 4  | 39/97    | 1997 | 34.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 5  | 94/97    | 1997 | 42.00           | 3087,2              | 2627,00                                                  |               | 340,00         | 165,00         |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 6  | 40/97    | 1997 | 50.00           | 2312,9              | 319,00                                                   |               | 35,60          | 28,40          |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 7  | 37/97    | 1997 | 30.00           | 2883,2              | 767,00                                                   |               | 69,20          | 20,40          |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 8  | 14/97    | 1997 | 40.00           | 2138,9              | 398,00                                                   |               | 80,00          | 89,90          |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 9  | 67/97    | 1997 | 45.00           | 3219,1              | 167,00                                                   |               | 41,60          | 16,80          |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 10 | 29/97    | 1997 | 43.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 11 | 32/97    | 1997 | 42.00           | 3186,5              | 106,00                                                   |               | 73,00          | 35,60          |               |           | 52,00                                                                     |               | 25,03          | 16,89          | 20,87         | 5,74         |
| 12 | 52/97    | 1997 | 40.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 13 | 106/97   | 1997 | 46.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 14 | 41/97    | 1997 | 26.00           |                     | nd                                                       |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 15 | 125/97   | 1997 | 30.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 16 | 21/97    | 1997 | 70.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 17 | 12/98    | 1998 | 42.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 18 | 288/98   | 1998 | 80.00           |                     | 1668,50                                                  |               | 260,00         | 178,80         |               | 6,60      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 19 | 138/98   | 1998 | 51.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 20 | 24/98    | 1998 | 33.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 21 | 47/98    | 1998 | 30.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 22 | 125/98   | 1998 | 30.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 23 | 97/98    | 1998 | 39.00           | 2613,1              | 3199,00                                                  |               | 316,00         | 318,00         |               | 6,20      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 24 | 159/98   | 1998 | 30.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 25 | 258/98   | 1998 | 40.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 26 | 357/98   | 1998 | 21.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 27 | 282/98   | 1998 | 14.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 28 | 363/98   | 1998 | 42.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 29 | 287/98   | 1998 | 12.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 30 | 103/98   | 1998 | 40.00           | 3559,3              | 209,80                                                   |               | 40,80          | 14,60          |               | 12,00     |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 31 | 554/99   | 1999 | 100.00          |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 32 | 181/99   | 1999 | 59.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 33 | 16/99    | 1999 | 33.00           | 2224,6              | 5360,00                                                  |               | 576,00         | 130,10         |               | 1,50      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 34 | 75/99    | 1999 | 30.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 35 | 25/99    | 1999 | 36.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 36 | 579/99   | 1999 | 48.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 37 | 334/99   | 1999 | 38.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 38 | 110/99   | 1999 | 37.00           | 3130,0              | 390,50                                                   |               | 140,40         | 28,90          |               | 6,40      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 39 | 466/99   | 1999 | 26.00           | 2514,4              | 2946,50                                                  |               | 242,00         | 224,90         |               | 4,80      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 40 | 161/99   | 1999 | 12.00           | 782,4               | 52,00                                                    |               | 36,40          | 13,90          |               | 9,60      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 41 | 111/99   | 1999 | 40.00           | 2872,9              | 84,00                                                    |               | 68,00          | 12,00          |               | 3,60      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 42 | 459/99   | 1999 | 38.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 43 | 379/99   | 1999 | 41.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 44 | 570/99   | 1999 | 40.00           | 7223,6              |                                                          |               |                |                |               |           | 959,00                                                                    | 1920,0        |                | 82,70          | 450,00        | 5,00         |
| 45 | 197/2000 | 2000 | 119.00          |                     | 731,30                                                   |               | 9,60           | 7,30           |               | 6,80      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 46 | 162/2000 | 2000 | 35.00           | 1370,6              | 142,00                                                   |               | 120,00         | 32,60          |               | 12,00     |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 47 | 431/2000 | 2000 | 33.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 48 | 459/2000 | 2000 | 12.00           | 3682,7              | 4402,00                                                  |               | 340,00         | 109,40         |               | 5,90      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 49 | 350/2000 | 2000 | 60.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 50 | 258/2000 | 2000 | 41.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 51 | 259/2000 | 2000 | 27.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 52 | 159/2000 | 2000 | 17.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 53 | 141/2000 | 2000 | 40.00           | 3286,6              | 159,70                                                   |               | 86,80          | 35,00          |               | 8,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 54 | 17/2000  | 2000 | 40.50           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 55 | 192/2000 | 2000 | 20.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 56 | 349/2000 | 2000 | 18.00           | 1015,0              | 2006,00                                                  |               | 230,00         | 99,70          |               | 8,30      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 57 | 2/2000   | 2000 | 21.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 58 | 382/2000 | 2000 | 69.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 59 | 319/2000 | 2000 | 60.00           | 5900,7              |                                                          | 600,00        |                |                | 106,00        | 8,50      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 60 | 391/2000 | 2000 | 62.00           | 6005,7              | 120,70                                                   |               | 20,40          | 4,80           |               | 2,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 61 | 8/2000   | 2000 | 40.05           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 62 | 193/2000 | 2000 | 35.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 63 | 380/2000 | 2000 | 60.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 64 | 1/2001   | 2001 | 48.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 65 | 174/2001 | 2001 | 63.00           | 6163,9              | 915,90                                                   |               | 240,00         | 119,20         | 375,00        | 5,50      | 750,00                                                                    | 1460,0        |                | 32,00          | 250,00        | 5,00         |
| 66 | 27/2001  | 2001 | 38.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 67 | 382/2001 | 2001 | 50.00           | 1360,3              | 315,50                                                   |               | 73,60          | 48,60          | 60,00         | 2,50      | 3340,00                                                                   | 5990,0        |                | 153,00         | 1200,00       | 10,00        |
| 68 | 48/2001  | 2001 | 38.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 69 | 78/2001  | 2001 | 40.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 70 | 319/2001 | 2001 | 38.00           | 5268,2              | 177,50                                                   |               | 106,00         | 27,20          | 90,00         | 12,50     |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 71 | 376/2001 | 2001 | 14.00           | 550,8               | 1402,30                                                  |               | 162,00         | 58,40          | 300,00        | 5,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 72 | 5/2001   | 2001 | 15.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 73 | 6/2001   | 2001 | 16.00           | 1340,9              | 248,50                                                   |               | 55,20          | 14,20          |               | 7,10      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 74 | 7/2001   | 2001 | 16.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 75 | 281/2001 | 2001 | 67.00           | 4585,3              | 692,30                                                   |               | 216,00         | 51,10          | 225,00        | 6,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 76 | 328/2001 | 2001 | 50.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 77 | 326/2001 | 2001 | 40.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 78 | 328/2001 | 2001 | 50.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 79 | 255/2001 | 2001 | 40.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 80 | 63/2001  | 2001 | 43.00           | 5921,7              | 433,10                                                   | 301,00        | 160,00         | 20,70          | 50,00         | 3,60      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 81 | 325/2002 | 2002 | 60.00           | 4744,9              | 994,00                                                   |               | 330,00         | 28,00          | 400,00        | 5,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 82 | 121/2002 | 2002 | 60.00           | 2252,7              | 462,00                                                   |               | 26,80          | 27,20          | 200,00        | 4,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 83 | 347/2002 | 2002 | 56.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 84 | 102/2002 | 2002 | 14.00           | 1340,9              | 17821,00                                                 |               | 580,00         | 1337,6         | 9000,0        | 500,00    |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 85 | 125/2002 | 2002 | 15.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 86 | 34/2002  | 2002 | 15.00           | 555,2               | 869,80                                                   |               | 80,00          | 52,30          | 40,00         | 2,00      |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 87 | 368/2002 | 2002 | 20.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 88 | 82/2002  | 2002 | 6.00            | 387,3               | 1349,00                                                  |               | 72,00          | 59,60          | 200,00        | 22,50     |                                                                           |               |                |                |               |              |
| 89 | 345/2002 | 2002 | 40.00           |                     |                                                          |               |                |                |               |           |                                                                           |               |                |                |               |              |

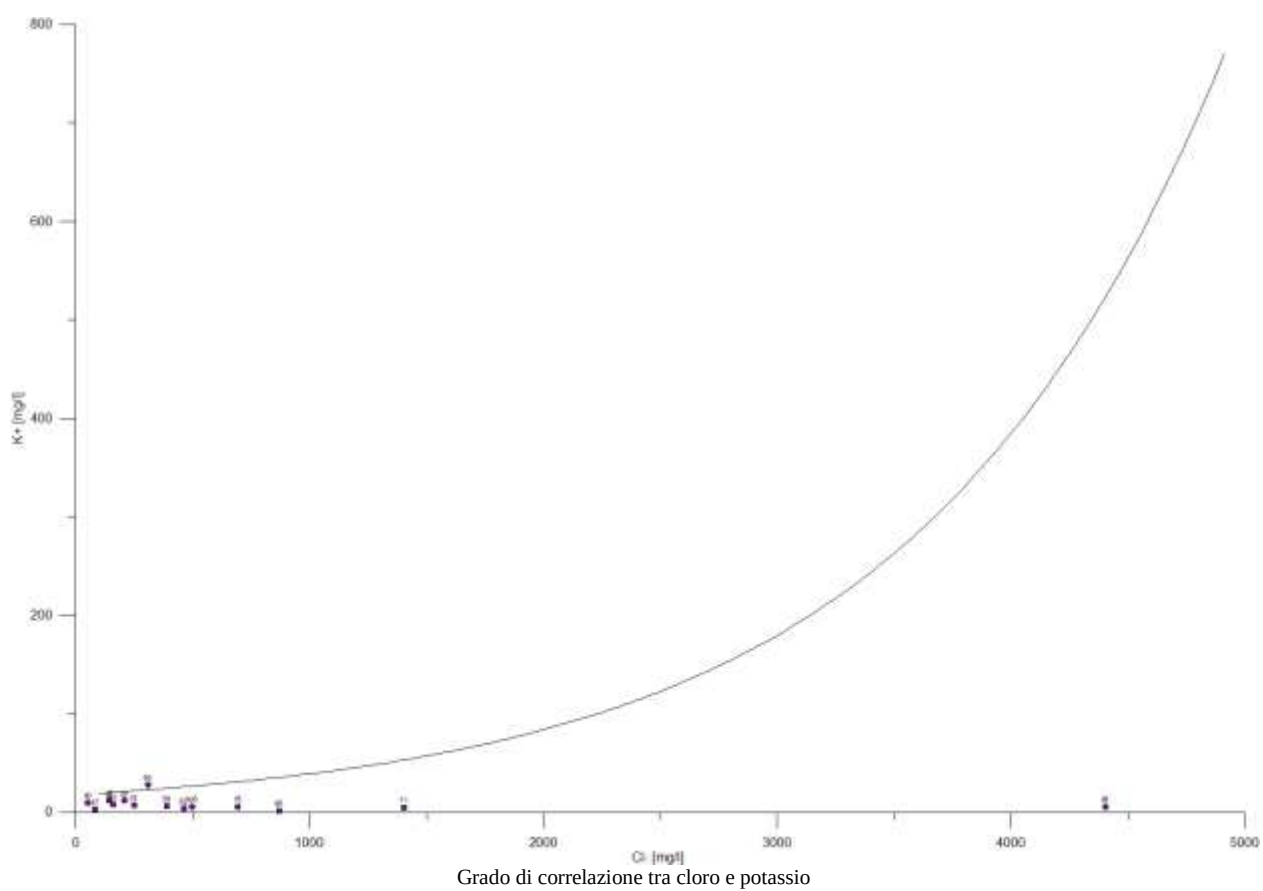
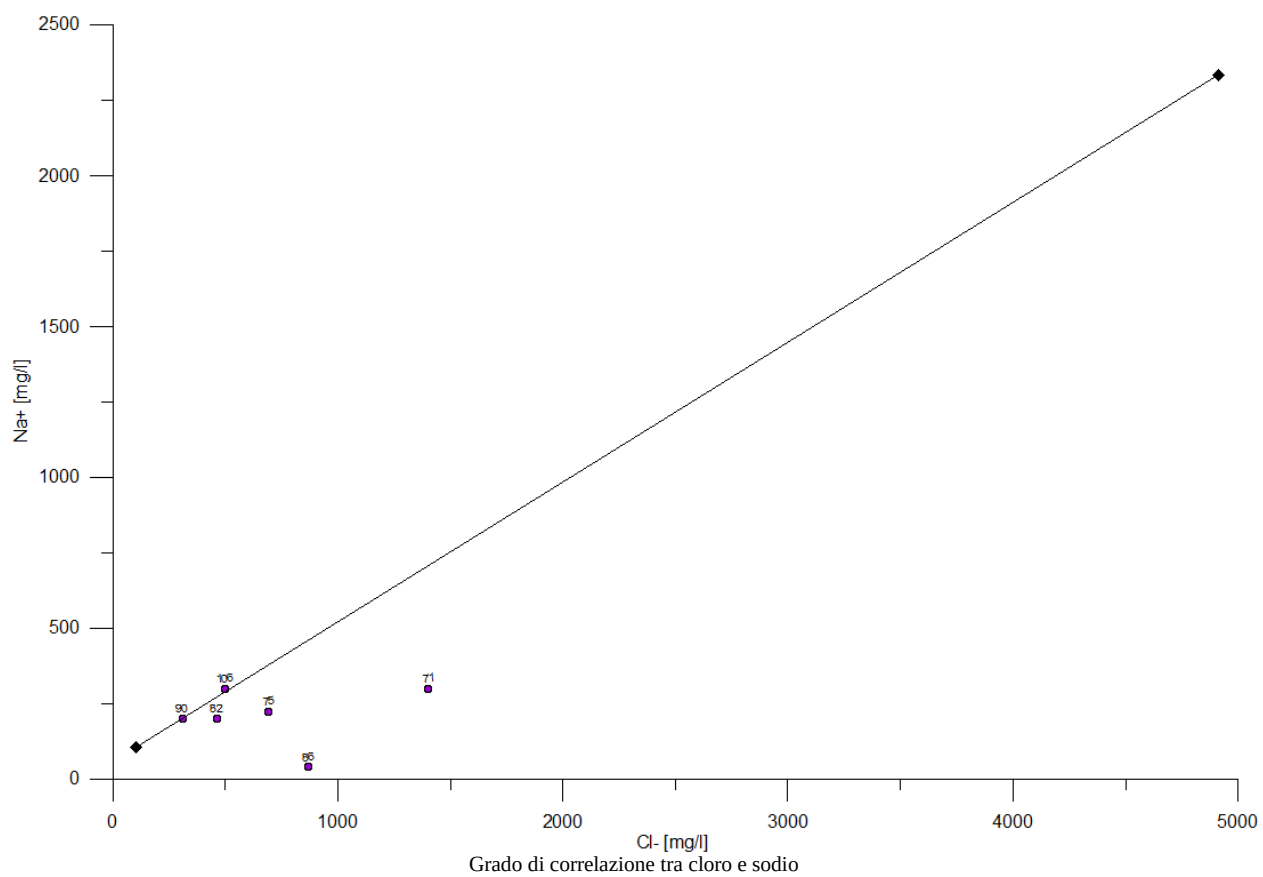
# Allegato 1

|     |          |      |       |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        |         |
|-----|----------|------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|--------|--------|---------|
| 90  | 362/2002 | 2002 | 26,00 | 4397,6 | 308,90  |         | 46,00  | 31,60  | 200,00 | 28,00 |         |         |        |        |         |
| 91  | 344/2003 | 2003 | 50,00 | 2695,5 |         |         |        |        |        |       | 5065,00 | 8946,0  | 896,00 | 296,70 | 1800,00 |
| 92  | 100/2003 | 2003 | 28,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 20,00   |
| 93  | 2/2003   | 2003 | 60,00 | 4945,2 |         |         |        |        |        |       | 2325,30 | 1941,0  | 326,00 | 74,20  | 600,00  |
| 94  | 134/2003 | 2003 | 30,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 8,30    |
| 95  | 378/2003 | 2003 | 22,00 | 1637,4 |         |         |        |        |        |       | 250,00  | 917,00  | 44,00  | 32,80  | 200,00  |
| 96  | 207/2003 | 2003 | 40,00 | 3507,3 |         |         |        |        |        |       | 320,00  | 1120,0  | 64,80  | 37,90  | 200,00  |
| 97  | 439/2003 | 2003 | 45,00 | 1440,5 | 66,70   |         | 27,60  | 10,00  | 175,00 | 25,00 | 101,00  |         | 38,70  | 20,73  | 106,81  |
| 98  | 108/2003 | 2003 | 50,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 19,84   |
| 99  | 48/2003  | 2003 | 60,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        |         |
| 100 | 663/2003 | 2003 | 16,00 | 381,9  |         |         |        |        |        |       | 2964,30 | 5720,0  | 106,00 | 211,60 | 1500,00 |
| 101 | 616/2003 | 2003 | 60,00 |        |         |         |        |        |        |       | 85,30   | 118,80  | 23,00  | 12,52  | 45,00   |
| 102 | 615/2003 | 2003 | 46,00 | 2243,3 |         |         |        |        |        |       | 284,00  | 916,50  | 74,00  | 35,30  | 170,00  |
| 103 | 58/2003  | 2003 | 10,50 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 5,00    |
| 104 | 305/2003 | 2003 | 20,00 | 648,8  |         |         |        |        |        |       | 788,00  | 1702,0  | 224,00 | 52,30  | 495,00  |
| 105 | 392/2003 | 2003 | 32,00 | 2051,2 |         |         |        |        |        |       | 310,00  | 760,00  | 39,00  | 19,00  | 20,00   |
| 106 | 34/2003  | 2003 | 50,00 | 2326,2 | 497,00  | 1107,00 | 58,00  | 22,90  | 300,00 | 6,00  | 195,00  | 1030,0  | 31,41  | 20,35  | 204,53  |
| 107 | 637/2003 | 2003 | 50,00 | 1558,2 |         |         |        |        |        |       | 834,30  | 2327,0  | 68,00  | 59,60  | 600,00  |
| 108 | 312/2003 | 2003 | 11,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 50,00   |
| 109 | 610/2003 | 2003 | 46,00 | 3865,8 |         |         |        |        |        |       | 250,00  | 587,00  | 32,00  | 37,20  | 100,00  |
| 110 | 612/2003 | 2003 | 40,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 16,00   |
| 111 | 315/2003 | 2003 | 60,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        |         |
| 112 | 204/2003 | 2003 | 15,00 | 438,9  |         |         |        |        |        |       | 84,50   | 487,00  | 52,00  | 25,30  | 75,00   |
| 113 | 433/2003 | 2003 | 14,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 20,00   |
| 114 | 357/2003 | 2003 | 23,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        |         |
| 115 | 39/2003  | 2003 | 54,00 | 4712,9 | 173,20  | 1107,00 | 58,00  | 22,90  | 300,00 | 6,00  | 270,00  | 565,00  |        | 25,30  | 150,00  |
| 116 | 54/2004  | 2004 | 16,00 | 349,8  |         |         |        |        |        |       | 315,50  | 1072,0  | 60,00  | 73,00  | 18,00   |
| 117 | 542/2004 | 2004 | 20,00 | 2138,9 |         |         |        |        |        |       | 2059,00 | 4350,0  | 190,00 | 103,40 | 1200,00 |
| 118 | 582/2004 | 2004 | 13,00 | 581,4  |         |         |        |        |        |       | 7810,0  | 16705   | 240,00 | 498,60 | 2,90    |
| 119 | 31/2004  | 2004 | 50,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 4200,00 |
| 120 | 57/2004  | 2004 | 50,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 95,00   |
| 121 | 15/2004  | 2004 | 40,00 | 1133,2 |         |         |        |        |        |       | 220,00  | 574,00  | 17,60  | 12,20  | 200,00  |
| 122 | 100/2004 | 2004 |       | 319,9  |         |         |        |        |        |       | 855,00  | 1862,00 | 130,00 | 80,00  | 10,00   |
| 123 | 47/2004  | 2004 | 39,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 4,00    |
| 124 | 17/2004  | 2004 | 11,00 | 233,2  | 923,00  | 2275,00 | 88,00  | 40,10  | 600,00 | 44,00 | 1465,79 | 3797,14 | 54,05  | 63,80  | 450,00  |
| 125 | 74/2004  | 2004 | 32,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 4,00    |
| 126 | 519/2005 | 2005 | 16,00 | 1686,9 |         |         |        |        |        |       | 51,80   | 443,00  | 42,40  | 18,50  | 120,00  |
| 127 | 41/2005  | 2005 | 10,00 | 918,1  |         |         |        |        |        |       | 2147,8  | 4608,00 | 280,00 | 94,90  | 0,50    |
| 128 | 900/2005 | 2005 | 50,00 | 2281,3 |         |         |        |        |        |       | 1039,0  | 2320,00 | 62,00  | 54,70  | 1000,00 |
| 129 | 630/2005 | 2005 | 12,40 | 685,9  |         |         |        |        |        |       | 1370,3  | 3094,00 | 220,00 | 115,50 | 800,00  |
| 130 | 777/2005 | 2005 | 40,00 | 2975,1 |         |         |        |        |        |       | 237,50  | 767,00  | 66,00  | 29,20  | 25,00   |
| 131 | 800/2005 | 2005 | 18,00 | 916,5  |         |         |        |        |        |       | 160,00  | 609,00  | 10,00  | 14,50  | 140,00  |
| 132 | 788/2005 | 2005 | 30,00 | 1943,8 |         |         |        |        |        |       | 603,50  | 1760,00 | 72,00  | 43,70  | 8,00    |
| 133 | 147/2006 | 2006 | 15,00 | 685,9  |         |         |        |        |        |       | 4616,0  | 7180,00 | 440,00 | 377,00 | 435,00  |
| 134 | 732/2006 | 2006 | 24,00 | 2827,5 |         |         |        |        |        |       | 72,00   | 721,00  | 120,00 | 73,00  | 7,00    |
| 135 | 224/2006 | 2006 | 17,10 | 326,0  |         |         |        |        |        |       | 2084,0  | 4191,00 | 368,00 | 231,00 | 12,00   |
| 136 | 220/2006 | 2006 | 10,00 | 1679,1 |         |         |        |        |        |       | 1797,0  | 2780,00 | 360,00 | 121,60 | 900,00  |
| 137 | 558/2007 | 2007 | 36,00 | 1686,9 |         |         |        |        |        |       | 750,00  | 1600,00 | 42,00  | 17,00  | 7,50    |
| 138 | 584/2007 | 2007 | 20,00 | 1750,1 |         |         |        |        |        |       | 2549,0  | 4380,00 | 220,00 | 121,60 | 500,00  |
| 139 | 317/2007 | 2007 | 44,00 | 1196,0 |         |         |        |        |        |       | 1400,0  | 3666,00 | 268,00 | 196,90 | 10,00   |
| 140 | 446/2008 | 2008 | 19,00 | 2130,1 |         |         |        |        |        |       | 549,00  | 1829,00 | 76,80  | 35,99  | 350,00  |
| 141 | 757/2008 | 2008 | 30,00 | 1202,5 |         |         |        |        |        |       | 1400,3  | 3624,50 | 170,00 | 79,00  | 30,00   |
| 142 | 01/2009  | 2009 | 80,00 | 3449,4 |         |         |        |        |        |       | 940,30  | 1981,00 | 246,00 | 41,30  | 6,00    |
| 143 |          | 2010 | 20,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 439,00  |
| 144 |          |      |       |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 3,75    |
| 145 |          |      | 50,00 | 2167,1 |         |         |        |        |        |       | 78,00   |         | 37,04  | 18,87  |         |
| 146 |          |      |       | 708,4  |         |         |        |        |        |       | 532,00  |         | 46,69  | 67,25  | 135,46  |
| 147 | 284/2008 | 2008 | 15,00 | 822,0  | 118,80  |         | 114,00 | 21,20  | 50,00  | 5,00  | 291,00  |         | 51,97  | 51,14  | 24,52   |
| 148 | 394/2007 | 2007 | 15,00 | 438,3  | 1431,00 |         | 112,00 | 70,50  | 800,00 | 25,00 | 992,00  |         | 54,61  | 74,13  | 395,96  |
| 149 |          |      |       | 1140,6 |         |         |        |        |        |       | 254,00  |         | 18,09  | 14,98  | 59,13   |
| 150 | 68/2006  | 2006 | 28,00 | 914,4  | 788,00  |         | 54,00  | 45,00  | 750,00 | 7,50  | 1045,0  |         | 71,70  | 71,41  | 288,11  |
| 151 |          |      |       | 1081,0 |         |         |        |        |        |       | 181,00  |         | 88,65  | 58,12  | 13,60   |
| 152 |          |      |       | 716,9  |         |         |        |        |        |       | 232,00  |         | 89,71  | 45,79  | 60,15   |
| 153 |          |      |       | 38,2   |         |         |        |        |        |       | 4911,0  |         | 138,64 | 233,45 | 69,04   |
| 154 |          |      |       | 1598,8 |         |         |        |        |        |       | 82,00   |         | 71,95  | 41,14  | 155,01  |
| 155 |          |      |       | 30,7   |         |         |        |        |        |       | 105,00  |         | 70,75  | 21,30  | 49,28   |
| 156 |          |      |       | 20,5   |         |         |        |        |        |       | 4876,0  |         | 133,83 | 222,89 | 770,30  |
| 157 |          |      |       | 997,2  |         |         |        |        |        |       | 1188,0  |         | 115,93 | 93,08  | 233,31  |
| 158 | 687/2006 | 2006 | 18,00 | 1042,3 |         |         |        |        |        |       | 790,00  |         | 80,00  | 80,00  | 770,30  |
| 159 | 548/2005 | 2005 | 15,00 | 556,9  |         |         |        |        |        |       | 674,50  |         | 100,00 | 46,20  | 9,66    |
| 160 | 799/2008 | 2008 | 15,00 | 913,3  |         |         |        |        |        |       | 482,10  | 1419,00 | 97,60  | 63,20  | 450,00  |
| 161 |          |      | 40,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 30,00   |
| 162 |          |      | 25,00 | 2561,4 |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        | 8,00    |
| 163 | 82/2007  | 2007 | 60,00 | 2587,9 |         |         |        |        |        |       | 464,90  |         | 112,00 | 28,00  | 20,00   |
| 164 |          |      | 20,00 |        |         |         |        |        |        |       |         |         |        |        |         |
| 165 | 353/2001 | 2001 | 30,00 | 387,3  | 1826,00 |         | 200,00 | 398,80 | 2400,0 | 40,00 |         |         |        |        |         |

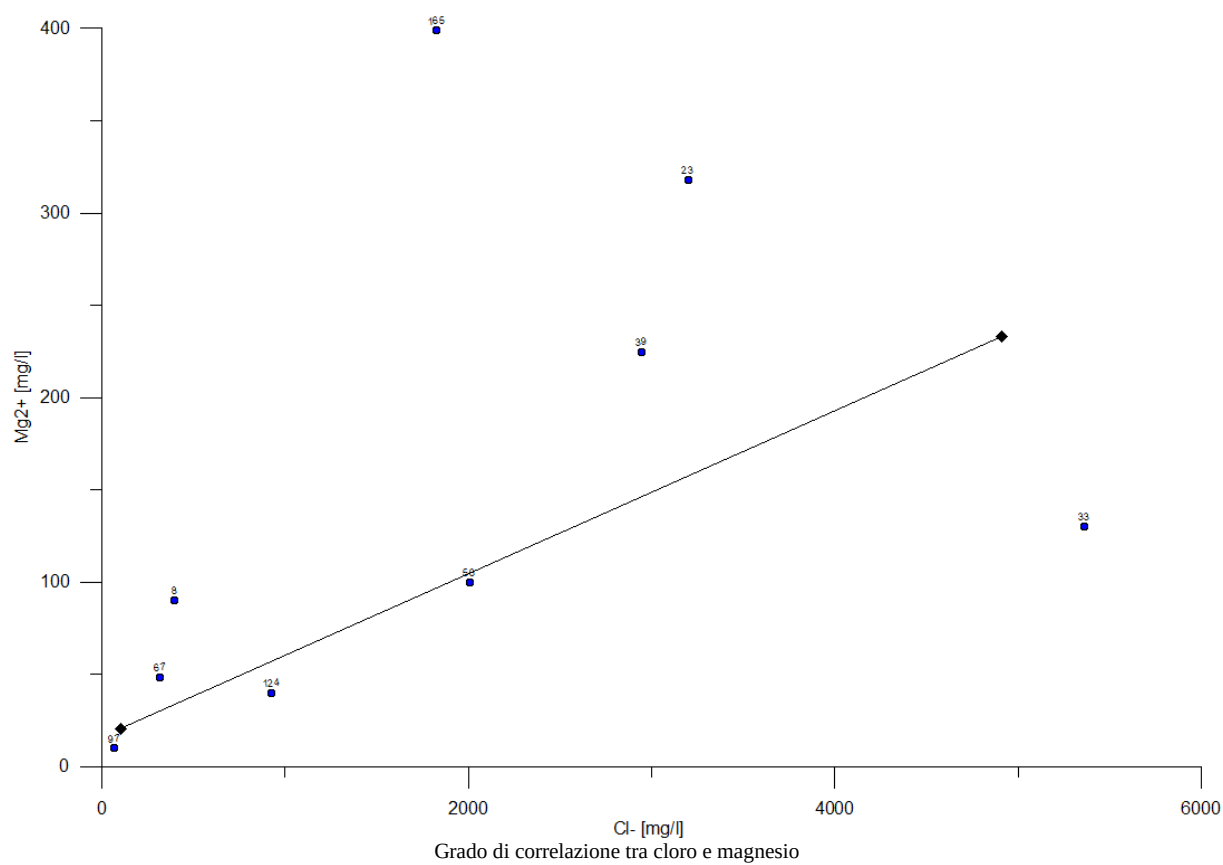
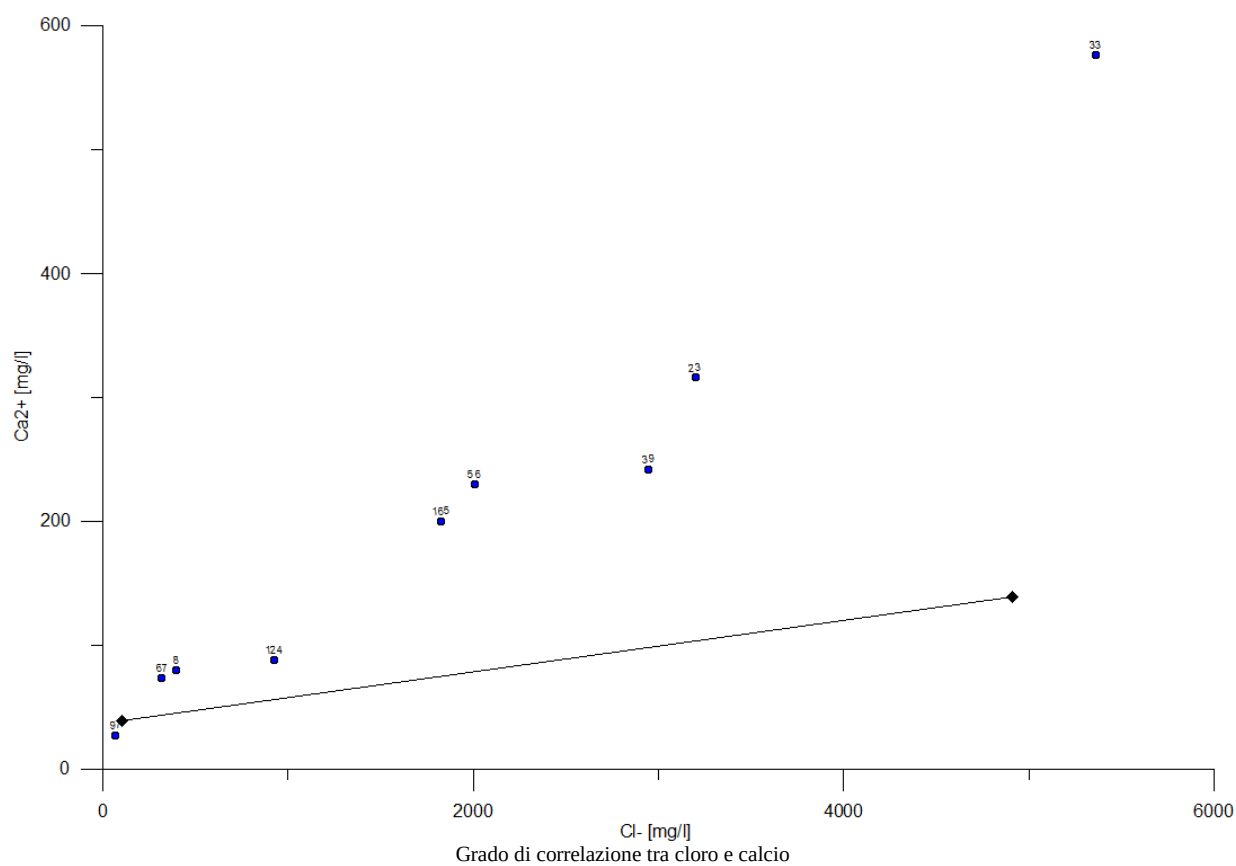
Analisi delle caratteristiche chimiche delle acque

1997-2002 Gruppo Viola (area sud)

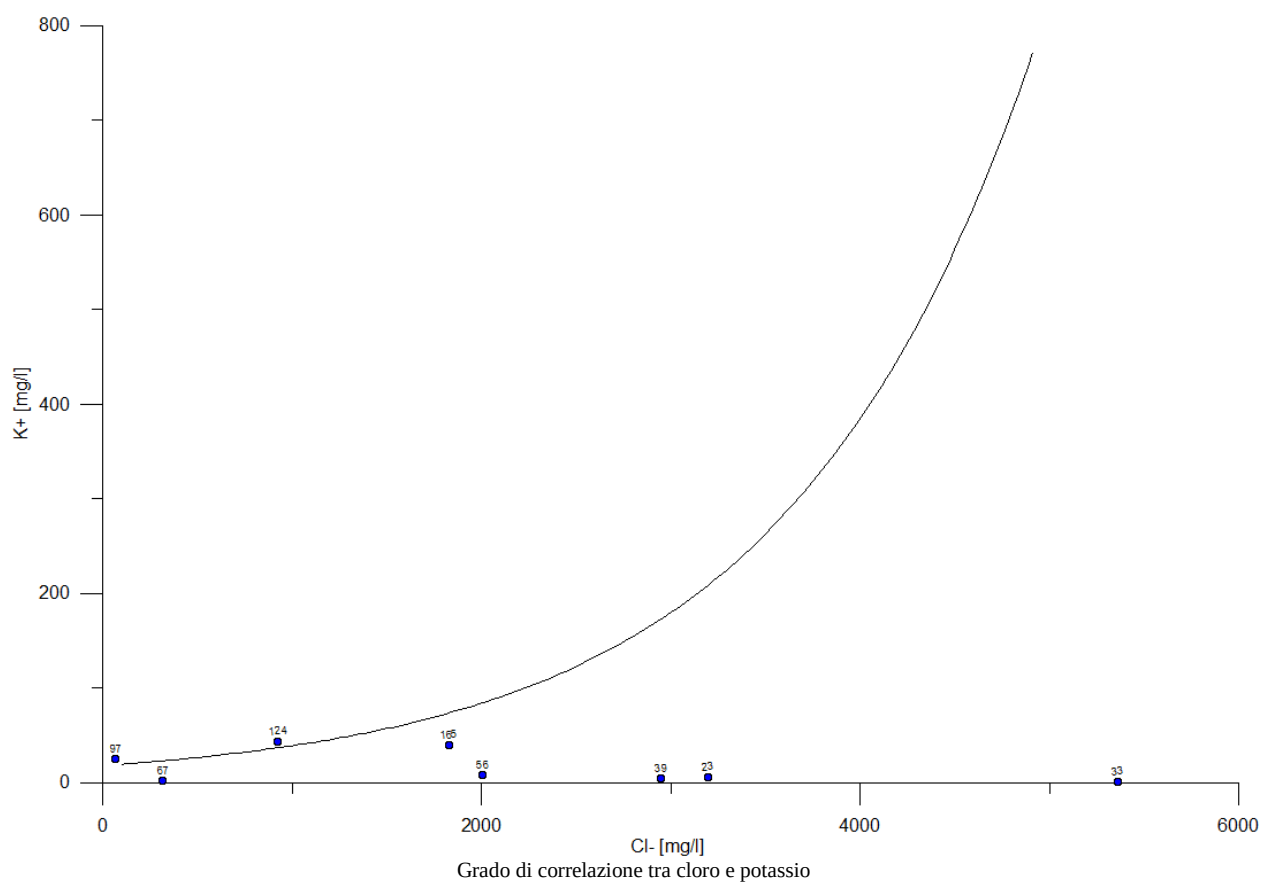
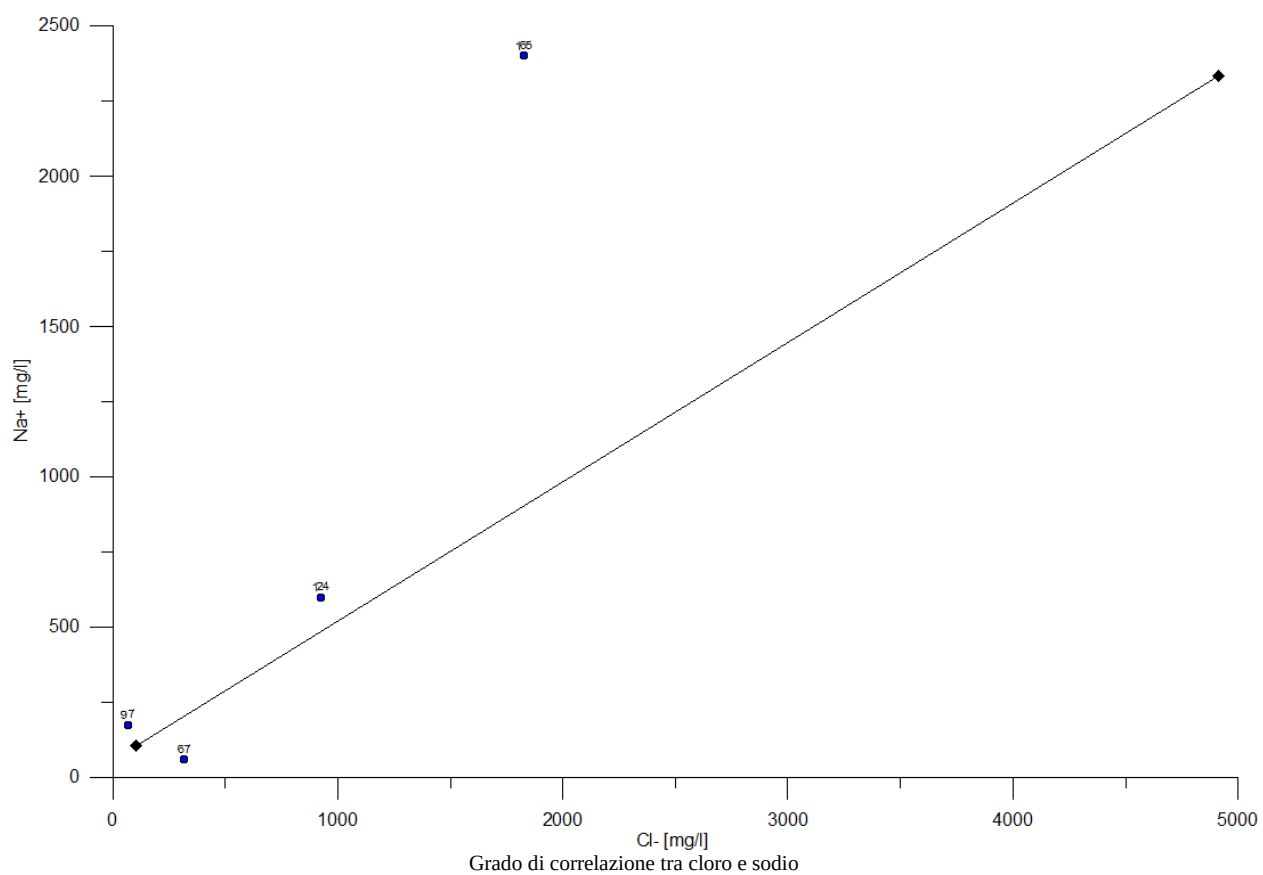




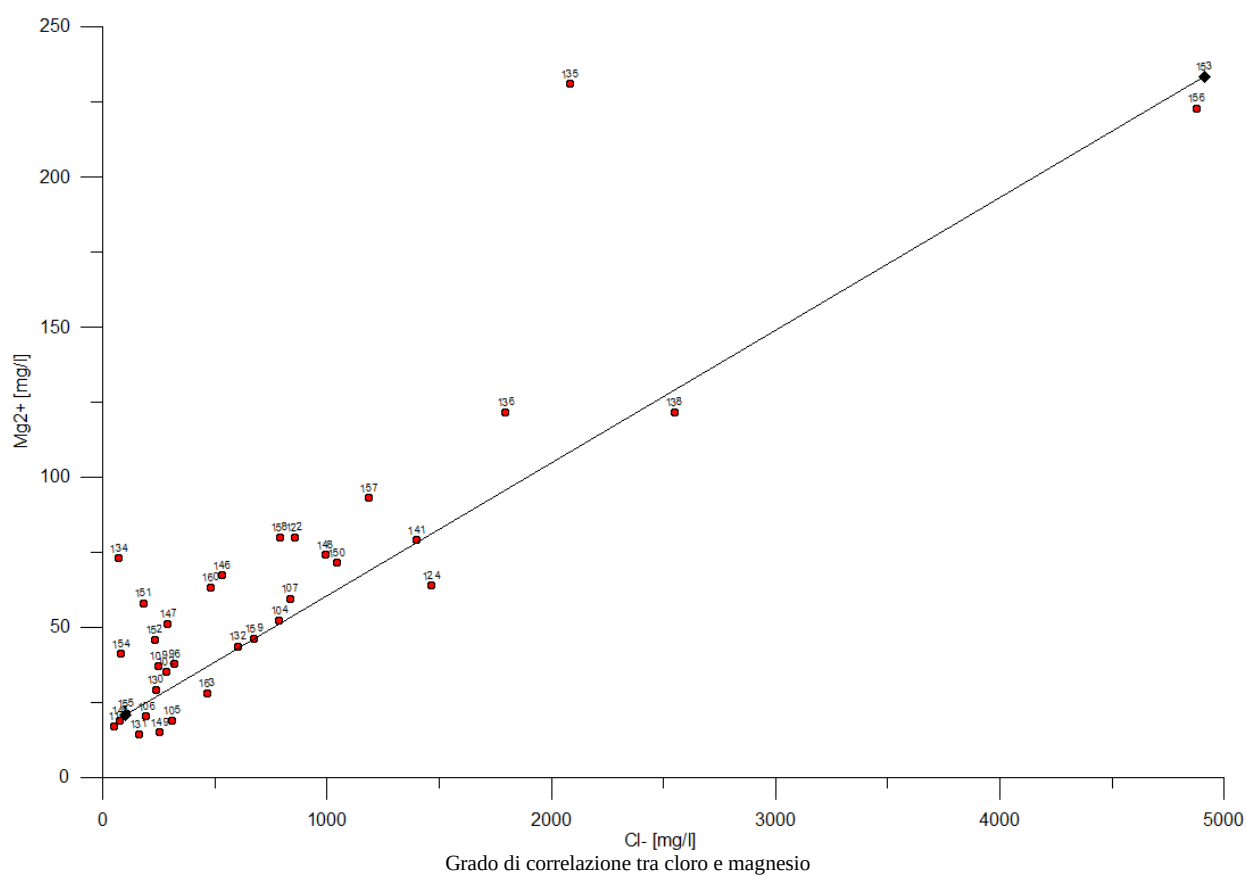
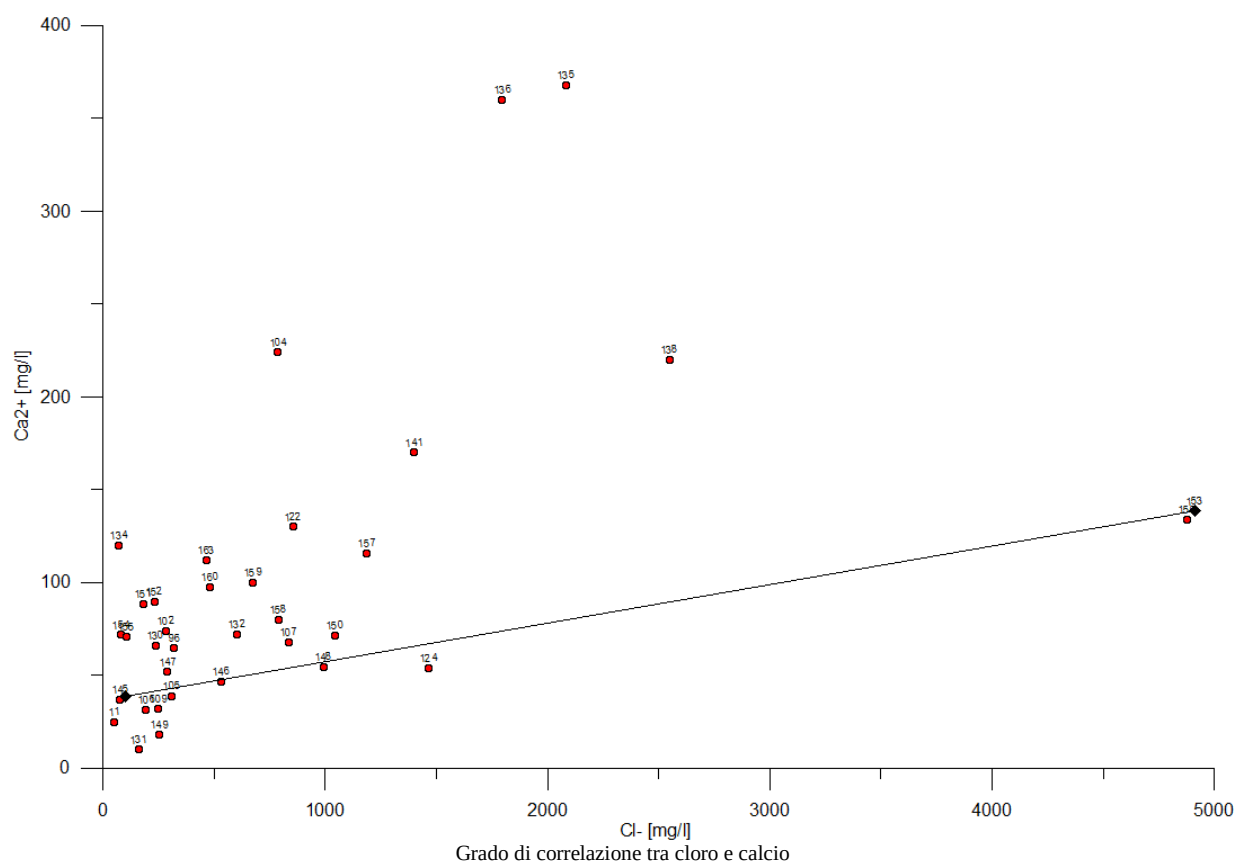
1997-2002 Gruppo Blu (area nord)

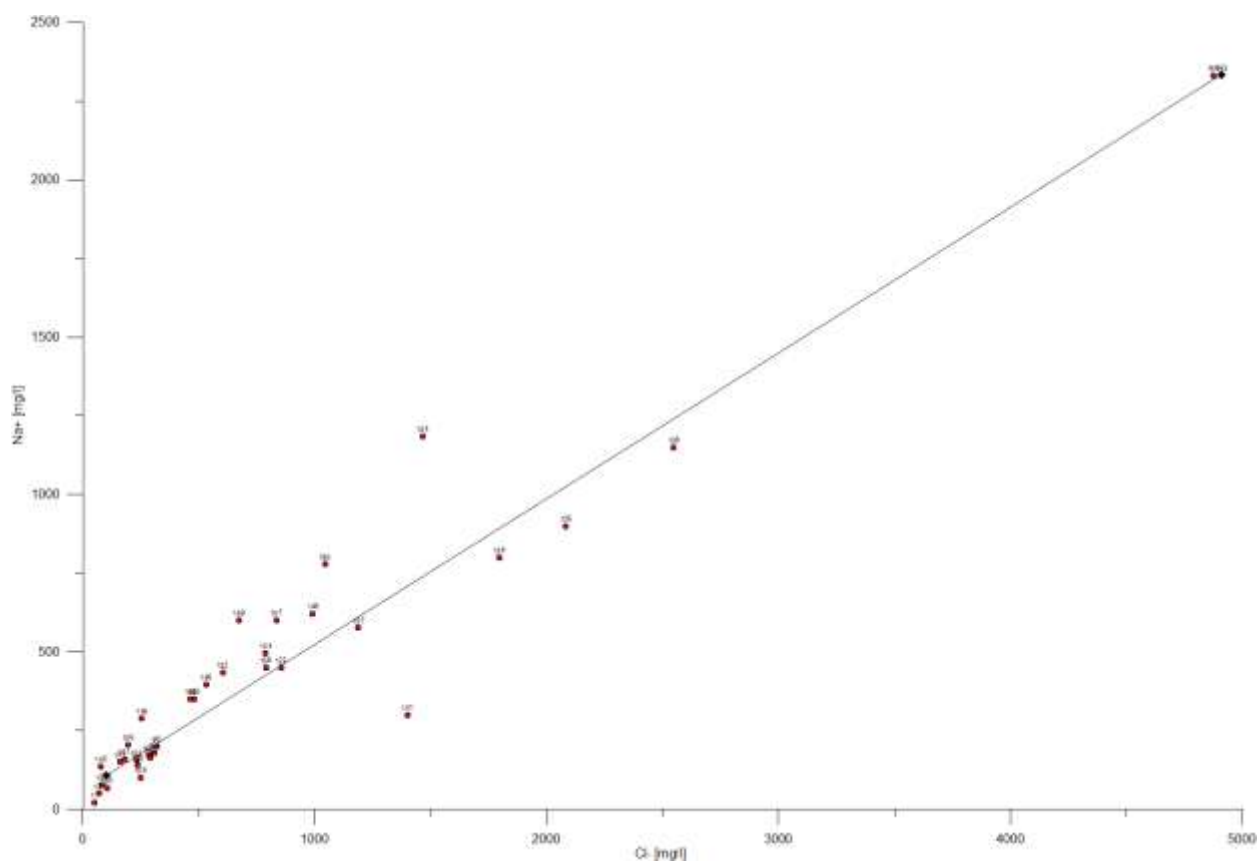




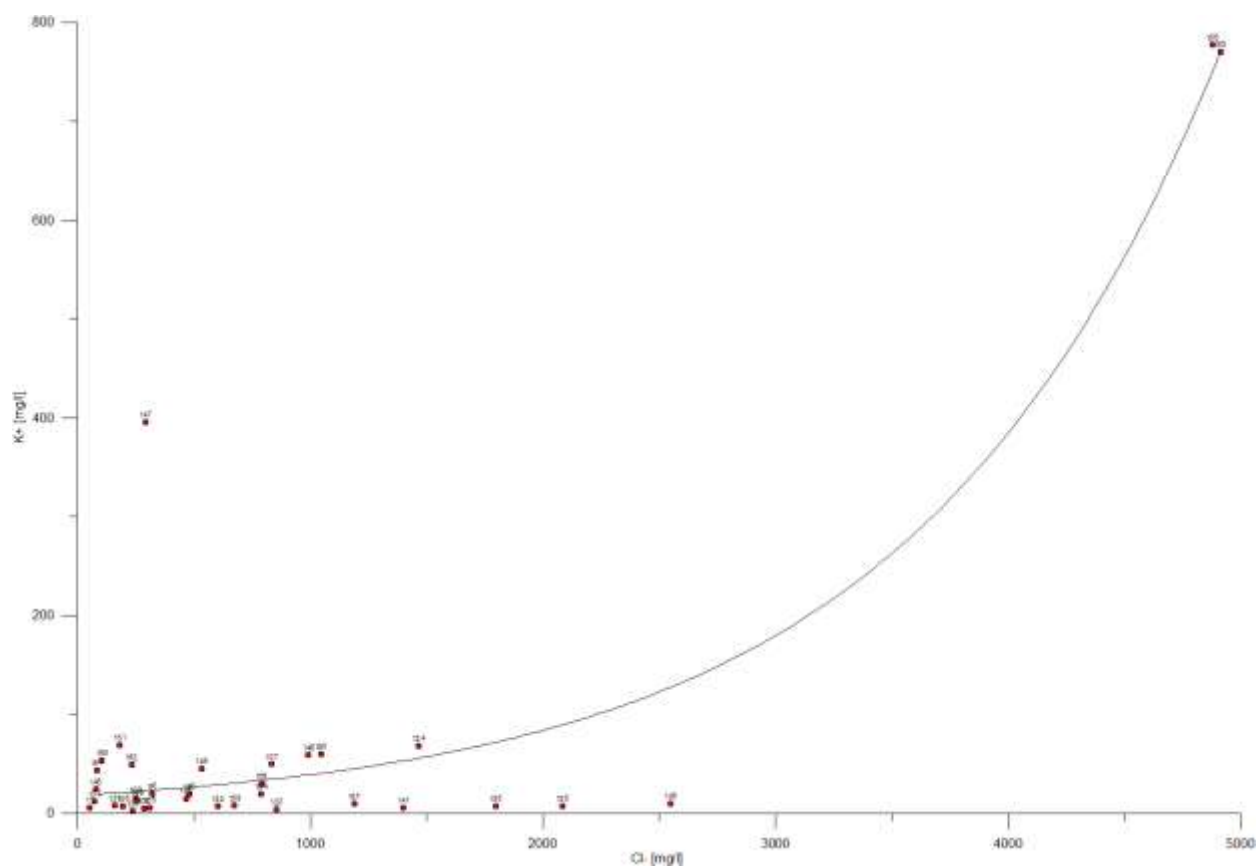


2003-2008 Gruppo Rosso (area sud)



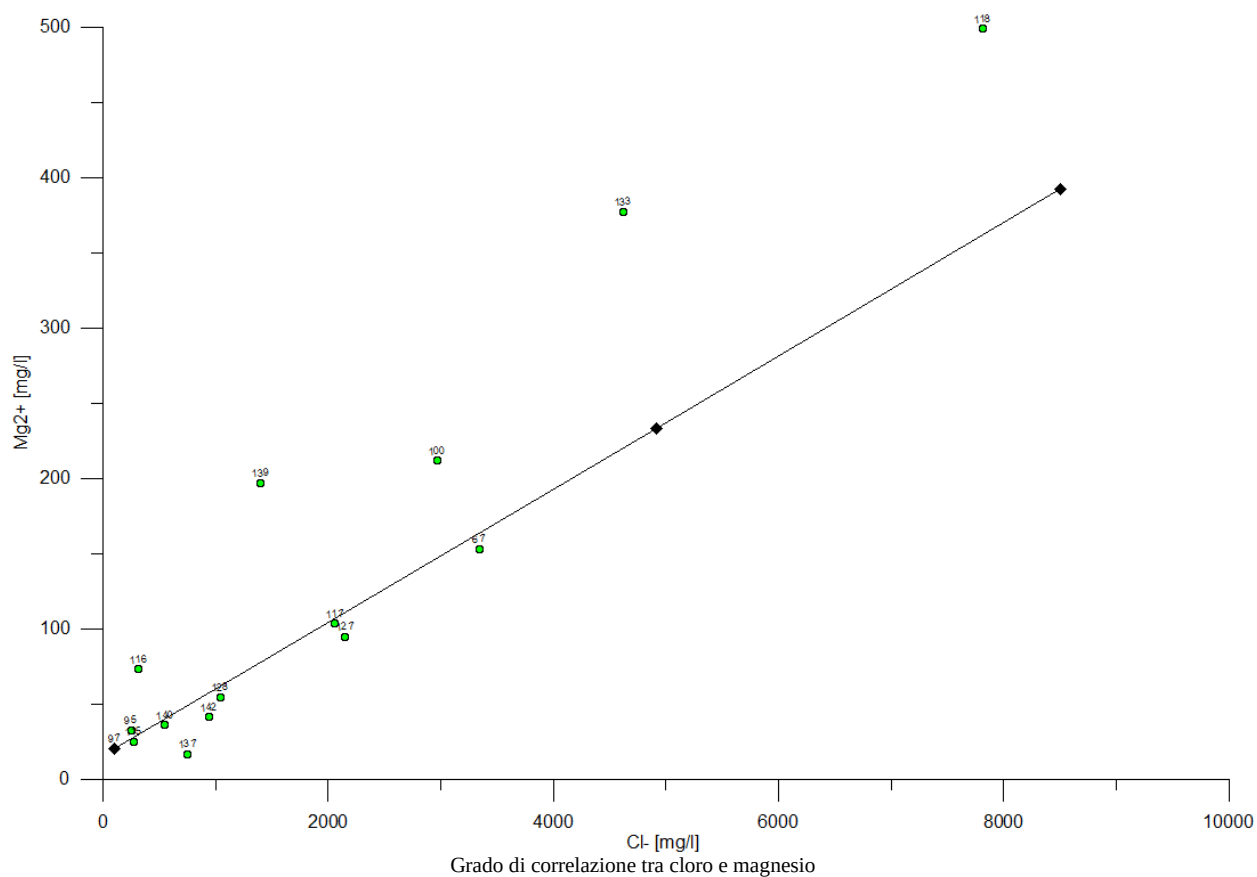
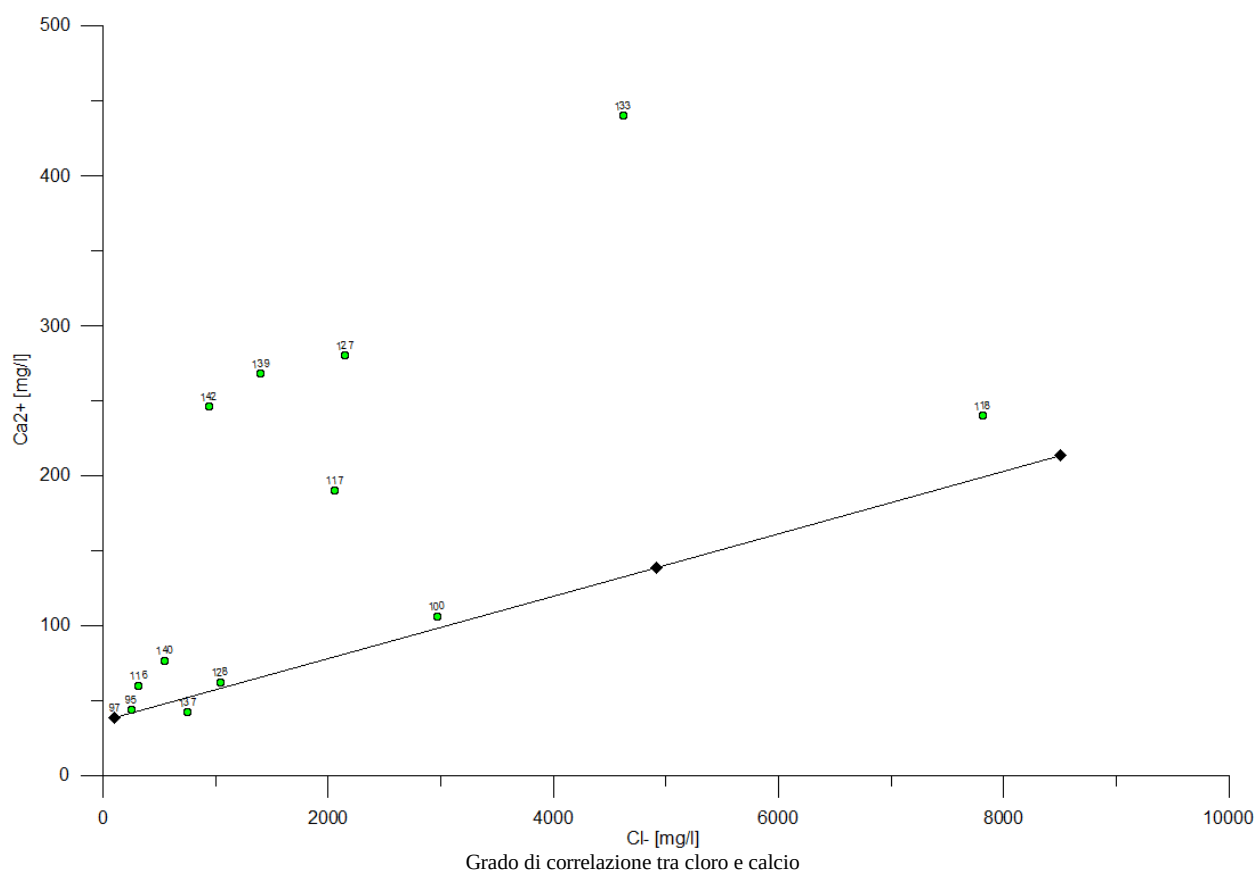


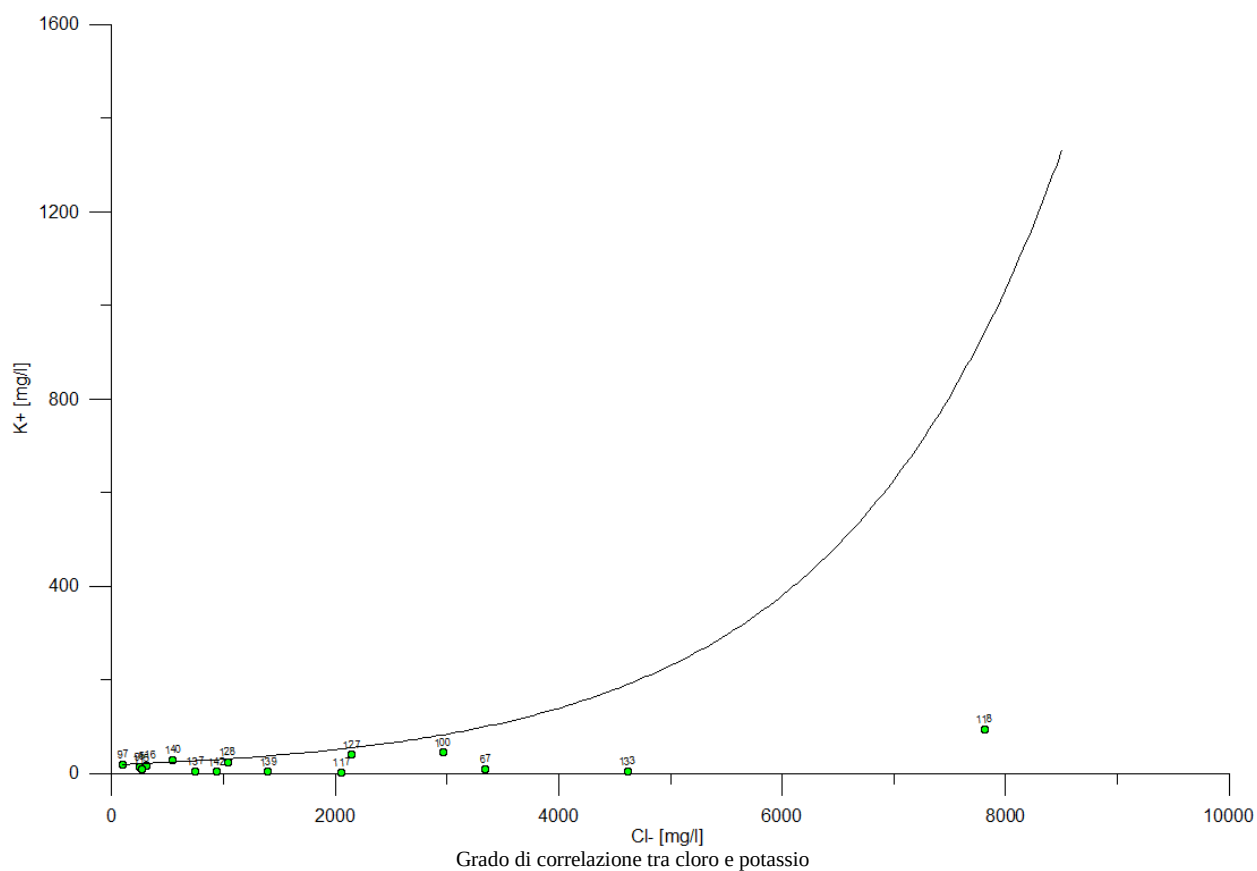
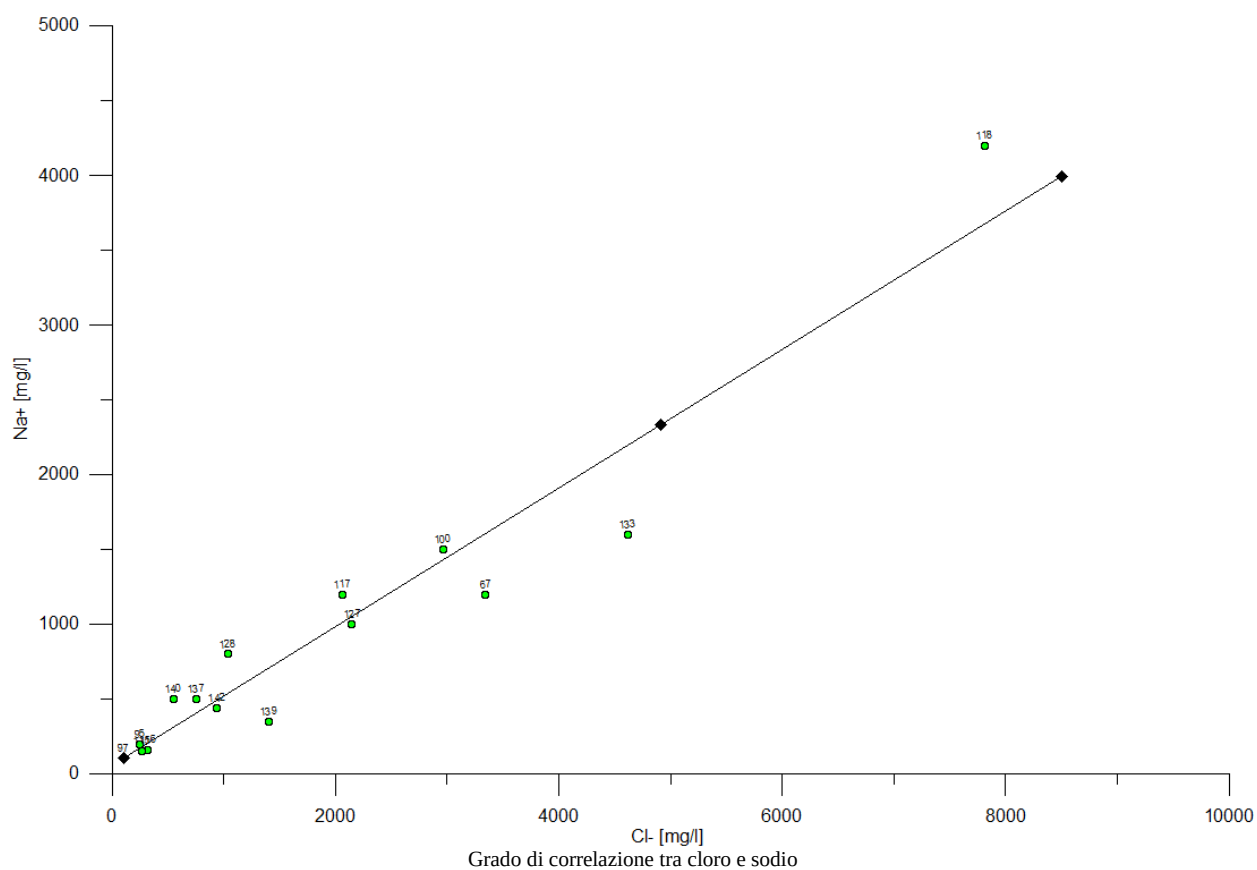
Grado di correlazione tra cloro e sodio



Grado di correlazione tra cloro e potassio

2003-2008 Gruppo Verde (area nord)





## Profili termo-conduttimetrici

B.H. 118

Borehole Location: Kunduchi, Kinondoni, Dar Es Salaam

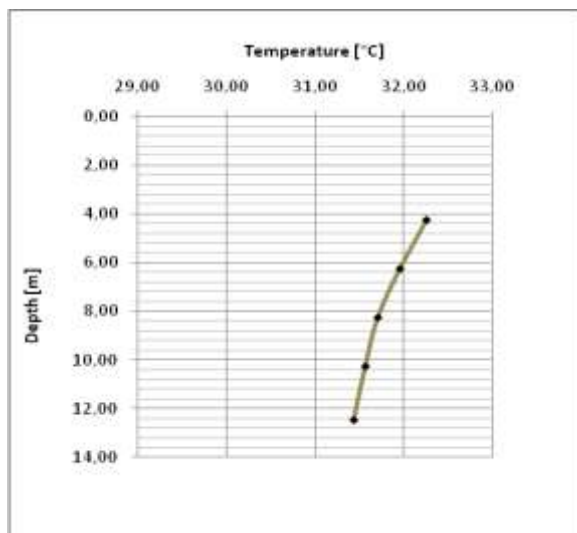
Owner: Tanzania Fisheries Institute of Research (TAFIRI)

Water Level: 4.25 m b.g.l.

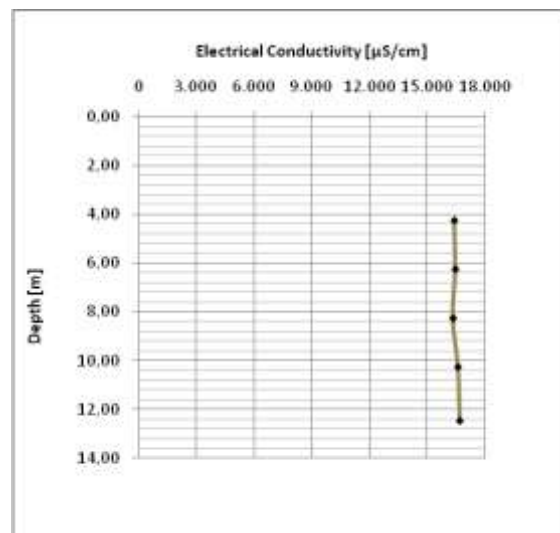
Date: 18/03/2010

Depth of borehole: 12.50 m

| Depth (m) | Temperature (°C) | Conductivity (µS/cm) | Salinity (ppt) | TDS (mg/l) |
|-----------|------------------|----------------------|----------------|------------|
| 4.25      | 32.26            | 16420                | 9.551          | 11.03      |
| 6.25      | 31.96            | 16480                | 9.559          | 11.04      |
| 8.25      | 31.71            | 16350                | 9.471          | 10.95      |
| 10.25     | 31.57            | 16620                | 9.643          | 11.13      |
| 12.45     | 31.44            | 16720                | 9.707          | 11.20      |



Profilo di temperatura



Profilo di conducibilità elettrica

B.H. 127

Borehole Location: Kunduchi Kichongani, Kinondoni, Dar Es Salaam

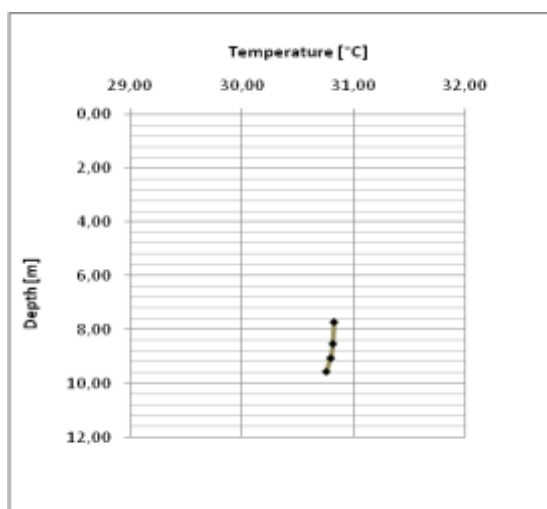
Owner: Prof. Akaro

Water Level: 7.72 m b.g.l.

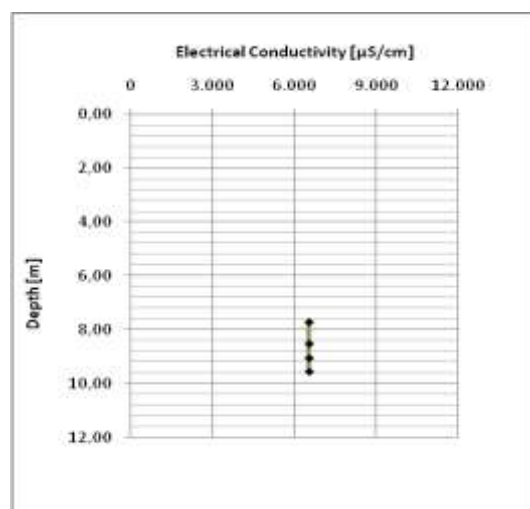
Date: 22/02/2010

Depth of borehole: 9.55 m

| Depth (m) | Temperature (°C) | Conductivity (µS/cm) | Salinity (ppt) | TDS (mg/l) |
|-----------|------------------|----------------------|----------------|------------|
| 7.72      | 30.82            | 6531                 | 3.480          | 4.375      |
| 8.52      | 30.81            | 6535                 | 3.483          | 4.378      |
| 9.05      | 30.79            | 6535                 | 3.483          | 4.379      |
| 9.55      | 30.75            | 6538                 | 3.484          | 4.380      |



Profilo di temperatura



Profilo di conducibilità elettrica



B.H. 129

Borehole Location: Mbezi Beach, Kinondoni, Dar Es Salaam

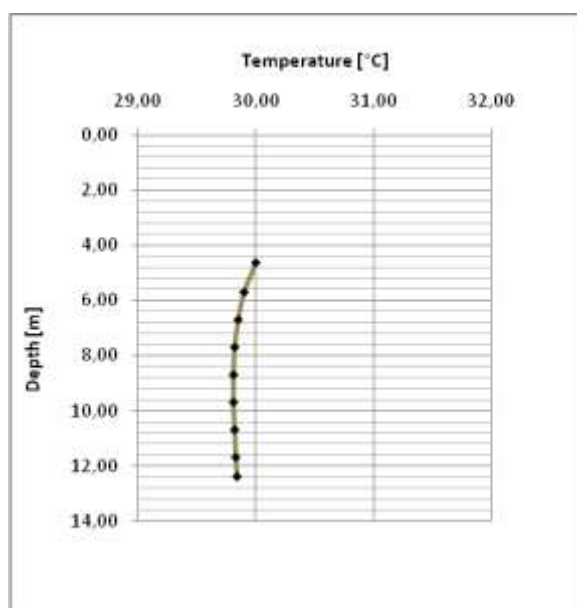
Owner: Prof. Hayuma

Water Level: 4.63 m b.g.l.

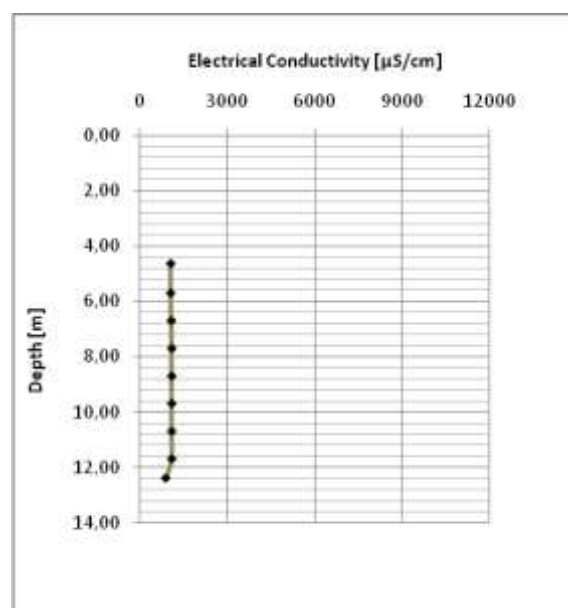
Date: 22/02/2010

Depth of borehole: 12.40 m

| Depth (m) | Temperature (°C) | Conductivity (µS/cm) | Salinity (ppt) | TDS (mg/l) |
|-----------|------------------|----------------------|----------------|------------|
| 4.63      | 30.00            | 1056                 | 0.528          | 0.707      |
| 5.70      | 29.90            | 1055                 | 0.527          | 0.707      |
| 6.70      | 29.85            | 1074                 | 0.537          | 0.719      |
| 7.70      | 29.82            | 1090                 | 0.545          | 0.730      |
| 8.70      | 29.81            | 1089                 | 0.545          | 0.730      |
| 9.70      | 29.81            | 1089                 | 0.545          | 0.730      |
| 10.70     | 29.82            | 1089                 | 0.545          | 0.730      |
| 11.70     | 29.83            | 1089                 | 0.545          | 0.730      |
| 12.40     | 29.84            | 891                  | 0.444          | 0.597      |



Profilo di temperatura



Profilo di conducibilità elettrica

B.H. 135

Borehole Location: Mikocheni, Kinondoni, Dar Es Salaam

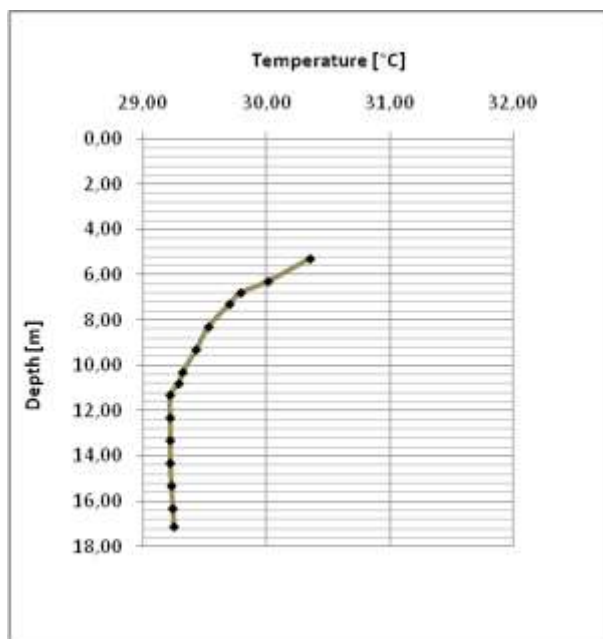
Owner: Father Nguma

Water Level: 5.30 m b.g.l.

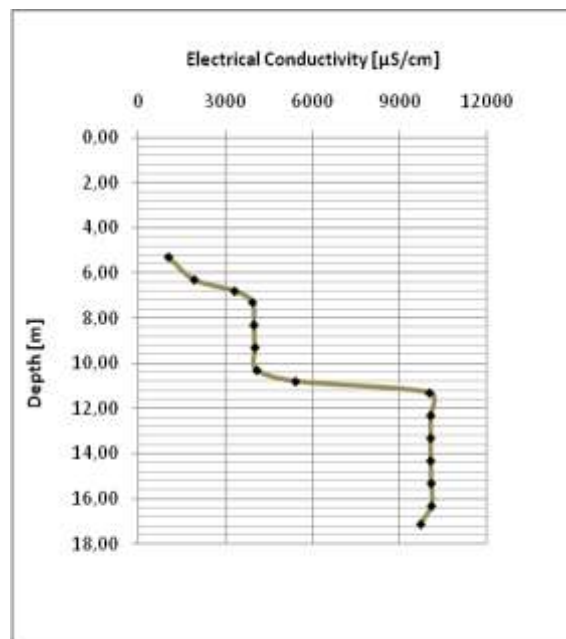
Date: 23/02/2010

Depth of borehole: 17.10 m

| Depth (m) | Temperature (°C) | Conductivity (µS/cm) | Salinity (ppt) | TDS (mg/l) |
|-----------|------------------|----------------------|----------------|------------|
| 5.30      | 30.35            | 1045                 | 0.522          | 0.700      |
| 6.30      | 30.01            | 1928                 | 0.974          | 1.291      |
| 6.80      | 29.79            | 3317                 | 1.702          | 2.219      |
| 7.30      | 29.70            | 3932                 | 2.035          | 2.635      |
| 8.30      | 29.53            | 3983                 | 2.062          | 2.669      |
| 9.30      | 29.43            | 4014                 | 2.078          | 2.689      |
| 10.30     | 29.32            | 4084                 | 2.116          | 2.737      |
| 10.80     | 29.29            | 5413                 | 2.846          | 3.627      |
| 11.30     | 29.22            | 10020                | 5.508          | 6.714      |
| 12.30     | 29.22            | 10060                | 5.530          | 6.739      |
| 13.30     | 29.22            | 10060                | 5.530          | 6.739      |
| 14.30     | 29.22            | 10060                | 5.532          | 6.740      |
| 15.30     | 29.23            | 10080                | 5.544          | 6.754      |
| 16.30     | 29.24            | 10090                | 5.552          | 6.763      |
| 17.10     | 29.25            | 9720                 | 5.529          | 6.513      |



Profilo di temperatura



Profilo di conducibilità elettrica

B.H. 140

Borehole Location: Kunduchi Mtongani, Kinondoni, Dar Es Salaam

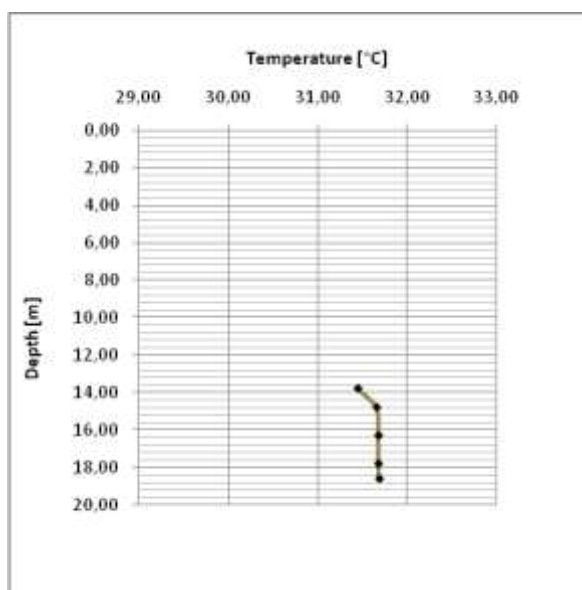
Owner: DAWASA, Police Station

Date: 16/03/2010

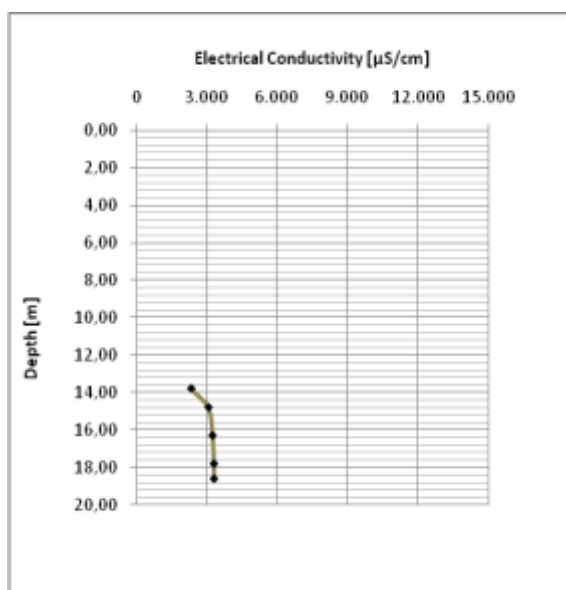
Water Level: 13.80 m b.g.l.

Depth of borehole: 18.60 m

| Depth (m) | Temperature (°C) | Conductivity (µS/cm) | Salinity (ppt) | TDS (mg/l) |
|-----------|------------------|----------------------|----------------|------------|
| 13.80     | 31.45            | 2336                 | 1.192          | 1.569      |
| 14.80     | 31.66            | 3081                 | 1.581          | 2.062      |
| 16.30     | 31.68            | 3254                 | 1.675          | 2.180      |
| 17.80     | 31.68            | 3315                 | 1.708          | 2.221      |
| 18.60     | 31.69            | 3319                 | 1.709          | 2.223      |



Profilo di temperatura



Profilo di conducibilità elettrica

B.H. 143

Borehole Location: Kunduchi, Kinondoni, Dar Es Salaam

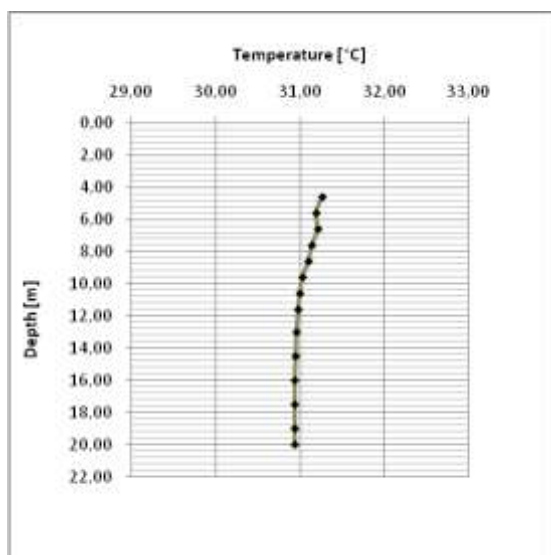
Owner: Tanzania Fisheries Institute of Research (TAFIRI)

Water Level: 4.60 m b.g.l.

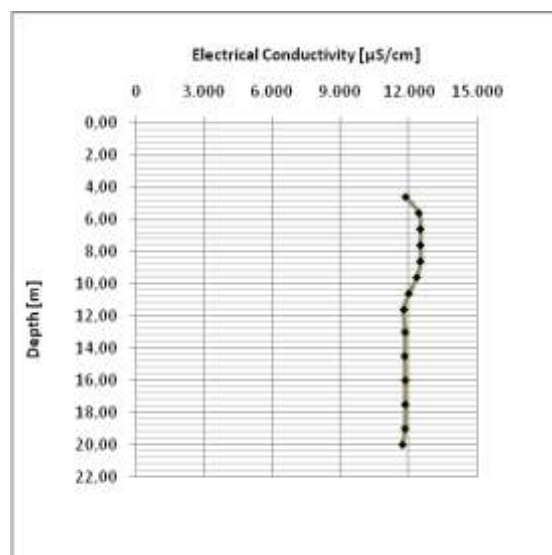
Date: 18/03/2010

Depth of borehole: 20.00 m

| Depth (m) | Temperature (°C) | Conductivity (µS/cm) | Salinity (ppt) | TDS (mg/l) |
|-----------|------------------|----------------------|----------------|------------|
| 4.60      | 31.26            | 11880                | 6.653          | 7.960      |
| 5.60      | 31.19            | 12460                | 7.004          | 8.342      |
| 6.60      | 31.21            | 12530                | 7.052          | 8.394      |
| 7.60      | 31.14            | 12530                | 7.051          | 8.393      |
| 8.60      | 31.10            | 12530                | 7.049          | 8.392      |
| 9.60      | 31.03            | 12370                | 6.948          | 8.284      |
| 10.60     | 31.00            | 12020                | 6.736          | 8.053      |
| 11.60     | 30.98            | 11800                | 6.600          | 7.906      |
| 13.00     | 30.96            | 11850                | 6.631          | 7.939      |
| 14.50     | 30.95            | 11840                | 6.623          | 7.931      |
| 16.00     | 30.94            | 11860                | 6.639          | 7.949      |
| 17.50     | 30.94            | 11860                | 6.639          | 7.949      |
| 19.00     | 30.94            | 11850                | 6.634          | 7.943      |
| 20.00     | 30.94            | 11740                | 6.565          | 7.866      |



Profilo di temperatura



Profilo di conducibilità elettrica

### ***Ringraziamenti***

Il più grande ringraziamento va alla Prof.ssa Silvia Macchi, a Matteo Rossi e a Liana Ricci per il considerevole supporto tecnico, i consigli e l'enorme disponibilità.

Grazie per avermi dato la possibilità di fare questa meravigliosa esperienza.

Poi desidero esprimere la mia riconoscenza al Prof. Gabriel Kassenga, a Steve Mbuligwe e a Lukuba Ngalya per il grande aiuto sul campo, l'interesse mostratomi e la competente collaborazione.

Infine voglio ricordare e ringraziare le tante persone che direttamente o indirettamente hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro:

la Famiglia Mushi e Selemani per la gentile e calorosa accoglienza,

Salehe per l'efficiente trasporto,

Mbega Zuhura, Majaliwa, Lidia, Happy, Mr.Swalo e Oscar per le tante informazioni fornitemi,

Mr.Ndimbo, Doris, Chaca e Ramadhani per la compagnia,

il Prof. Mato ed il Prof. Mjemah per la disponibilità,

Barbara D'Ippolito per gli ispirati suggerimenti,

Maria Teresa Coviello e Luca Congedo per qualche utile consiglio tecnico,

la mia famiglia per il supporto e la pazienza,

Simone per la preziosa assistenza,

Fra per l'immenso sostegno morale,

ed i tanti amici che mi hanno appoggiato ed incoraggiato in questo periodo di intenso lavoro...