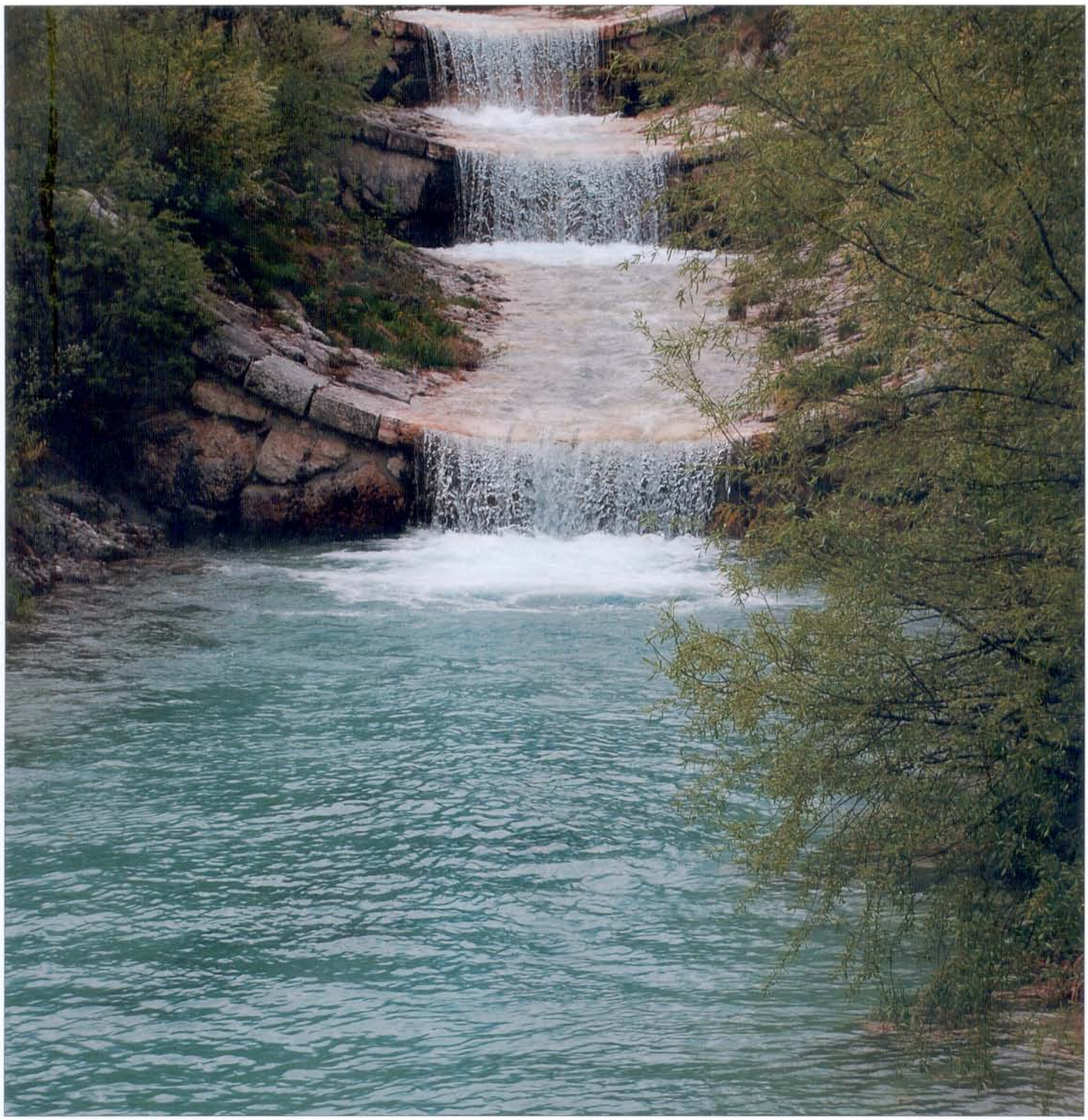
L'ACQUA



ISSN 1125-1255 - Poste Italiane S.p.A. - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (convertito in L. n. 46 del 27/02/04) art. 1 comma 1 - D.C.B. ROMA

RIVISTA BIMESTRALE DELL'ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA 3/2009 Maggio-Giugno

Adriano de Vito, Matteo Rossi, Giuseppe Sappa*

IL SISTEMA ACQUIFERO DEL SAHARA SETTENTRIONALE.

La gestione complessa di una risorsa strategica condivisa

THE NORTH WEST SAHARA AQUIFER SYSTEM.

The Complex Management of a Strategic Shared Resource

La presente memoria illustra sinteticamente la situazione del Sistema idrico del Sahara Settentrionale (SASS), un'imponente risorsa sotterranea, la cui disponibilità è ripartita fra tre nazioni - Algeria, Libia e Tunisia - e la cui attuale situazione di crescente criticità è stata verificata dagli scriventi nel corso dei lavori della Commissione Idraulica, istituita dalla Cooperazione Italo-Tunisina all'interno del Programma Sahara Sud nell'ambito del Progetto di riabilitazione e creazione di palmeti da dattero nella zona di Rejim Maatoug, nella Tunisia meridionale. L'importanza strategica di questo sistema idrogeologico risiede, oltre che nella consistente estensione sotto aree desertiche e semidesertiche, anche nella sua natura artesiana. Studi recenti dell'Osservatorio Sahara Sud hanno dimostrato che si tratta di una risorsa la cui futura possibilità di sfruttamento sta diminuendo rapidamente: se il tasso di prelievo continua a seguire l'evoluzione odierna nei prossimi decenni, il sistema del SASS potrebbe cessare la sua funzione di motore di sviluppo socio-economico delle regioni interessate all'orizzonte 2050. La legislazione internazionale, il monitoraggio dei prelievi e interventi di cooperazione tra le nazioni interessate sembrano essere le strategie più efficaci, congiuntamente alla sensibilizzazione delle popolazioni, per prevenire un eventuale collasso del sistema.

Parole chiave: Complex Terminale, Artésianisme, Tunisia, Irrigazione, Gestione della risorsa idrica.

The NWSAS is the main water resource in North Western Sahara. It is a huge aquifer shared between three States: Algeria, Libya and Tunisia. The authors have verified the critical situation of this aquifer in the frame of Hydraulic Commission works, set up by the Italian-Tusian Cooperation in the aim of driving on the Project of rehabilitation and creation of date palmates in Rejim Matoug, in South Tunisia. The strategic importance of this water resource comes from its quantity as from its artesianism. Recent studies provided by the OSS have however demonstrated that its future utilization couldn't be guaranteed for the next decades: if the exploitation rate keep on at the current value or even worse as expected for the next years, the water extraction cost could become unsustainable at 2050 horizon. International legislations, consumption data monitoring and cooperation among the interested countries, together with people awakening, seem to be the most effective ways to prevent some possible system collapse.

Keywords: Complex Terminale, Artésianisme, Tunis, Irrigation, Water Resources Management.

1. IL SISTEMA ACQUIFERO DEL SAHARA SETTENTRIONALE

Il Sistema idrico del Sahara Settentrionale (SASS) è un vasto acquifero che interessa l'area desertica del Nord Africa tra l'Algeria e la Libia. Come indicato nella *Fig. 1* il SASS si estende in pieno deserto, per circa un milione di km², fra le latitudini 27° e 35° N e le longitudini 2° W e 18° E. Il volume complessivo immagazzinato nell'acquifero è stimato in circa 30 mila miliardi di m³ (Ould Baba, 2005), sebbene una larga parte di esso non sia ancora utilizzato, sia per l'elevata mineralizzazione, sia perché localizzato al di sotto dei territori sahariani più meridionali del profondo Erg, inospitali e di difficile accesso. L'acquifero si estende in Algeria per circa 7 x 10^5 km², in Libia per 2.50 x 10^5 km² e in Tunisia per 8 x 10^5 km².

Come meglio illustrato nel seguito esso è suddiviso in due falde principali: l' *Intercalare Continentale (CI)* - in arabo *Kiklah* - più estesa e più profonda e la falda del *Complesso Terminale (CT)* - *Mizdah* - più superficiale e di migliori caratteristiche organolettiche, che in parte gli si sovrappone.

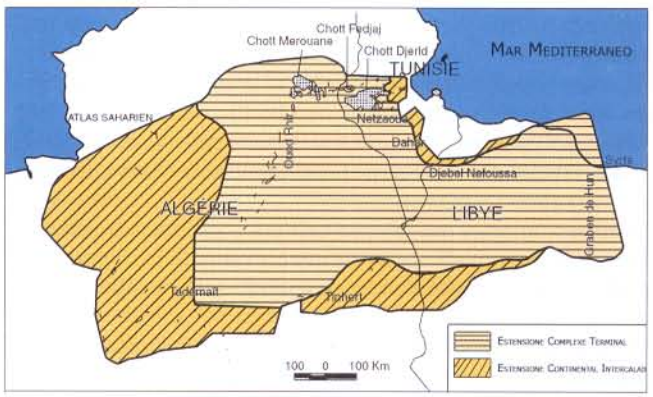


Figura 1 - Estensione del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale (Fonte: modificato da Besbes et al., 2007).

Queste risorse sotterranee sono state definite "fossili", in passato, sia per l'accertata vetustà delle acque immagazzinate che, nel caso del SASS, possono datarsi fin oltre 35-40.000 anni or sono, ma soprattutto per sottolineare, con ta-

* *Adriano de Vito, Ceseco International s.r.l., via Lugnano in Teverina 9, 00181 Roma, e-mail: adv@ceseco-int.it; Matteo Rossi, Giuseppe Sappa, Dipartimento Idraulica, Trasporti e Strade, "Sapienza" Università di Roma, Via Eudossiana 18, 00184 Roma, e-mail: matteo.rossi@uniroma1.it, giuseppe.sappa@uniroma1.it.*

le termine, il carattere *non rinnovabile* della risorsa, cioè l'assenza di un contatto con zone superficiali di ricarica naturale. Nella realtà studi più recenti hanno accertato (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2003a; Ould Baba, 2005) la presenza di zone di ricarica di questo acquifero nella catena montuosa dell'Atlante algerino, nel Dahar tunisino e presso il Nefousa libico per un contributo netto stimato in circa 1 x 10^9 di m^3/anno. La lenta infiltrazione al di sotto del deserto sahariano, protrattasi per migliaia di anni, sembrerebbe quindi all'origine dell'acquifero che è andato a saturare le formazioni geologiche profonde, tra strati impermeabili, come meglio illustrato nel paragrafo seguente. Sebbene questo acquifero sia stato individuato sin dagli anni '50, il suo primo sfruttamento risale al finire degli anni '80 quando lo sviluppo tecnologico ha reso economicamente accessibile la perforazione di pozzi profondi anche per lo sfruttamento di risorse idriche sotterranee. Nel corso dell'ultimo quindicennio lo sfruttamento ha subito un incremento esponenziale per la crescente pressione demografica dei Paesi interessati, e grazie alla economicità di accesso e di utilizzo della risorsa, che si presentava con un artesianismo di alcune decine di metri di pressione sopra il piano di campagna.

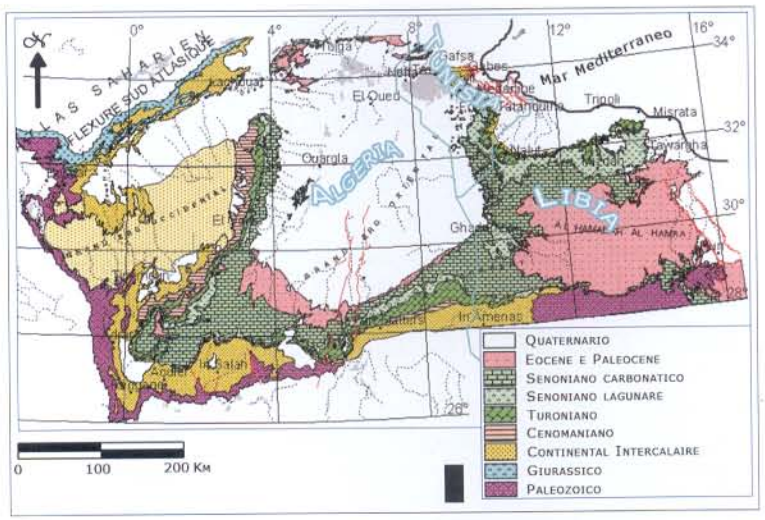


Figura 2 - Litologia affiorante nel Sahara Settentrionale (Fonte: modificato da Ould Baba M., 2005).

Se quindi fino agli anni '80 questo acquifero è rimasto in sostanziale equilibrio, i crescenti prelievi in atto e quelli previsti per il futuro, ne stanno compromettendo alcune delle principali caratteristiche, prima tra tutte l'artesianismo. Non va peraltro dimenticato che questa risorsa garantisce l'alimentazione idrica delle oasi *naturali* e dei pozzi lungo le principali piste carovaniere, ma anche la parziale alimentazione di più estese falde superficiali che garantiscono la vita alla vegetazione spontanea rappresentante la naturale difesa all'avanzare del deserto (Samir et al., 2006).

2. CENNI GEOLOGICI DEL SASS

Dal punto di vista geologico il bacino sahariano è una grande entità sedimentaria multistrato con origine antichissima risalente a circa 3 miliardi di anni fa, allorquando dalla frattura degli strati litici cristallizzati della zolla continentale africana a seguito dell'urto con la zolla europea, fuoriuscirono enormi quantità magmatiche che formarono i principali rilievi del Sahara: l'Hoggar e il Tassili nel sud dell'Algeria e del Tibesti sul confine settentrionale del Chad con vette che superano i 3.000 m.

Successivamente, ma sempre nell'era paleozoica il paleo-oceano, a seguito di sconvolgimenti climatici, invase gran parte dei territori del Sahara, lasciando segni negli strati sedimentari più antichi.

Durante il periodo Cretaceo avvennero i principali sconvolgimenti orogenetici con la sovrapposizioni di strati geologici per i diversi Piani. Così l'entità multistrato è venuta a comporsi dall'alternanza delle glaciazioni e variazioni climatiche che si susseguirono in aggiunta ai fenomeni vulcanici e sismici legati principalmente alla deriva dei continenti e alla formazione delle dorsali oceaniche.

La carta geologica (*Fig. 2*) del nord-est del Sahara mostra estesi affioramenti delle formazioni del Cretacico superiore, in particolare delle argille di transizione Cenomaniana, al di sotto delle quali, in formazioni sedimentarie di arenarie e calcari è localizzato l'acquifero del CI a diretto contatto con la piattaforma basale continentale.

Il bacino idrogeologico del CI, in una sorta di esteso catino circolare, è perimetralmente delimitato a NE dalla catena dell'Atlas Sahariano delle formazioni Giurassiche, procedendo in senso orario, borda le depressioni dei Chotts fino a Gabes in un'alternanza di affioramenti di argille Cenomaniane e formazioni dell'Eocene e Paleocene.

Piega quindi a S lungo i rilievi tunisini del D.J. Demieur (Medehine) nelle formazioni del Senoniano; quindi si dispone nuovamente ad E lungo il Djebel Nefusa libico interessando l'intero altopiano del Tarabulus (Tripolitania) interessato dagli affioramenti dell'Eocene e Paleocene. Sul lato meridionale, dalla città libica di Hum, l'acquifero è delimitato, lungo il 28° di latitudine N, dai rilievi del Hamada el Hamra, dell' Hamada de Tinghert per chiudersi intorno al Plateau de Jademait curvando verso NW fino al confine con il Marocco. Il CI lungo questo lato si dispone direttamente al di sopra dei depositi marini paleozoici del complesso basale continentale, che affiorano in più parti, innalzandosi in direzione S verso l'Hoggar.

L'acquifero CI è racchiuso, analogamente per quanto avviene per i depositi di combustibili fossili, tra le pieghe Erciniane del Carbonifero-Permiano dove sono andate sedimentando le formazioni continentali di arenarie del Cretaceo inferiore (Ould Baba, 2005).

L'acquifero del CT algero-tunisino comprende invece più acquiferi di natura geologica differente in continuità idraulica tra loro. Ad eccezione della zona dei Chotts, vi sono in tutto il bacino del CT numerosi riscontri di interconnessioni tra le formazioni del Senoniano, Eocene e Mio-Pliocene tanto da giustificare l'utilizzo di una stessa denominazione per l'acquifero multistrato del CT.

Uno schema idraulico concettuale del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale è stato proposto dall'OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2003a) al fine di correlare i differenti livelli acquiferi presenti al di sotto del vasto territorio comprendente Algeria, Tunisia e Libia (*Tab. I*).

Raggruppando per quanto detto all'interno di un unico sistema acquifero multistrato le falde dei Calcari del Cretacico Superiore, quelli dell'Eocene e le sabbie del Mio-Pliocene, il SASS si presenta come insieme di 3 acquiferi sovrapposti:

- *Il Continental Intercalare – Kiklah;*
- *La falda del Turoniano – Nalut;*
- *La falda del Complexe Terminal – Mizdah.*

TABELLA I - Schema idrogeologico del SASS (Fonte: modificato da OSS, 2003)

Algeria	Tunisia	Libia
Tetto impermeabile		
Sabbie	*Sabbie del Djerid*	*Sabbie e calcari del Miocene Inferiore*
Complesso Terminale		
Calcari	*Calcari di Nefzaoua*	*Cretaceo Superiore di Mizddeh*
Orizzonte semipermeabile		
Falda del Turoniano		
Orizzonte semipermeabile		
Continentale Intercalaire		
Cretaceo inferiore, Giurassico e Trias	*Cretaceo inferiore, Giurassico Superiore*	*Cretaceo inferiore, Giurassico e Trias*
Sub-strato impermeabile		

Nella zona tunisina, il CI è localizzato a una profondità variabile intorno a – 2.000 m s.m., presenta temperature comprese tra i 60-70° C e una pressione idrostatica passata dai circa 200 ms.m. negli anni '50 agli attuali circa 80 ms.m. (Ould Baba, 2005; Besbes et al., 2007). Le acque del CI si caratterizzano per una elevata mineralizzazione ed una salinità che raggiunge talvolta i 4 g/l.

Il livello acquifero intermedio risalente al Turoniano è separato dal sovrastante acquifero del CT da acquitardi più o meno potenti che in alcuni casi non giustificano la separazione della circolazione idrica nello stesso da quella presente nel CT; nella zona della Nefzaoua, in Tunisia, l'acquifero è confinato in livelli dolomitici affioranti nei pressi delle montagne orientali del Dahar. Una continuità idraulica tra questo acquifero e le formazioni convenzionalmente appartenenti al CT è riscontrata nei pressi della faglia Kebili-Tozeur dove le dolomiti contengono acqua dolce. Nella restante parte della regione l'acquifero non riveste particolare interesse a causa del suo alto grado di salinizzazione che supera sovente i 7 g/l (Zammouri et al., 2007).

Il CT comprende le formazioni acquifere più recenti e copre un'estensione minore del CI, come evidenziato nella *Fig. 1*. Il CT è localizzato, nella zona tunisina, ad una profondità intorno a – 250 ms.m. e presenta temperature comprese tra i 27°C e i 29°C con una pressione idrostatica intorno agli anni '50 di circa di + 85 ms.m., scesa oggi intorno ai 50 ms.m, mentre la sua salinità non supera generalmente i 2,5 g/l (Agoun, 2007; Zammouri et al., 2007).

3. ASPETTI GIURIDICI SUGLI ACQUIFERI FOSSILI

Un recente studio della UEE (Struckmeier et al., 2006) individua, a livello mondiale, 89 acquiferi che sono utilizzati da due o più Stati rivieraschi, molti dei quali peraltro interconnessi con corpi idrici internazionali. Sebbene quindi la questione dell'utilizzo delle risorse idriche sotterranee tra paesi confinanti vada crescendo d'importanza negli scenari geo-politici, carenti risultano in genere gli strumenti giuridici disponibili per regolamentare il comportamento di Paesi concorrenti. Così se accordi internazionali tra stati rivieraschi per l'uso di risorse idriche superficiali sono ormai molto comuni, non altrettanto è possibile affermare per le acque sotterranee Due in particolare i *Rules* internazionali per queste risorse: gli Helsinky *Roules* del 1966 e quelli di Seul del 1986, redatti dall'I.L.A. (International Law Association). Tali *Rules* non avendo però alcun vincolo di obbligatorietà, hanno più un valore di riferimento comportamentale o di discussione accademica piuttosto che applicazioni pratiche. Quando nel 1997 l'Assemblea Generale delle U.N. finalmente colmò questa lacuna con la *Convention on the Non-Navigational Uses of International Watercourses* – (U.N. GAOR, 51st Sess. – Doc. A/RES/51/229), finalmente anche le acque sotterranee assunsero lo status di risorsa internazionale da assoggettarsi a leggi vincolanti. Da tale importante testo giuridico le acque sotterranee definite *fossili* risulterebbero comunque escluse, proprio per la peculiarità di questi acquiferi che presentandosi come struttura isolata priva di una "*phisical relationship*" tra la componente superficiale e quella sotterranea, né presentando un "*common terminus*" di flusso, secondo la definizione dell'art. 2 della Convenzione stessa, non possono rappresentare né un "*system*" né un "*unitary whole*" della dizione tradizionale di un corpo idrico.

E' quindi proprio l'assenza di una zona superficiale di ricarica di questi acquiferi che inficerebbe l'applicabilità della Convenzione, se non per il fatto che la stessa Commissione che ha redatto il testo - resasi conto della lacuna - esortò - tramite la *International Law Commission* delle UN - i Paesi interessati a includere le *acque fossili* nella dizione di "*confined groundwater resorces*", di fatto quindi estendendo l'applicazione della Convenzione anche a queste particolari falde, nello spirito quindi dei *Rules* di Seul, che tali restrizioni agli acquiferi in genere non poneva.

Tale postuma precisazione ha lasciato però un certo grado di libertà interpretativo alla definizione soprattutto da parte di esperti favorevoli a considerare questi acquiferi alla stregua dei depositi sotterranei di gas e/o petrolio ai quali sembrerebbero assomigliare e quindi da escludersi dalla suddetta Convenzione. Se la similitudine fisica tra i due tipi di depositi sotterranei potrebbe convincere in tale ultima interpretazione, ciò che però rende estremamente diversa la loro regolamentazione è soprattutto la potenziale vulnerabilità per contaminazione che l'acqua assume come bene economico e vitale. Sebbene il dibattito interpretativo tra le due posizioni sia tuttora aperto, è chiaro che la cooperazione tra gli Stati che dividono una comune risorsa, rappresenta il primo irrinunciabile presupposto per la conservazione della risorsa stessa.

Nel caso del SASS, le conclusioni della Commissione Internazionale (OSS), che ha monitorato e studiato fin dal 1992 questo importante acquifero, localizzandone inoltre la propria zona di ricarica superficiale, potrebbero permettere con maggiore facilità l'applicabilità della suddetta Convenzione tra i tre stati *confinanti*.

In questo spirito l'OSS nell'Aprile del 2005 ha promosso la firma di una dichiarazione congiunta da parte dei Ministri con competenza sulle Risorse Idriche di Algeria, Libia e Tunisia, per l'istituzione di un "Meccanismo di concertazione Permanente per il Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale" con lo scopo di proteggere e preservare tale risorsa. C'è però da rilevare che a distanza di più di tre anni da tale firma nessun atto concreto risulterebbe essere stato registrato, mentre si è al corrente di crescenti interessi nell'utilizzazione dei due acquiferi a fronte peraltro di limitati interventi conservativi.

4. I PRELIEVI DAL SASS

La letteratura riguardante lo studio del SASS ha ormai accettato la suddivisione in bacini idrogeologici proposta dall'OSS (*Fig. 3*); tra questi, quello di cui gli scriventi hanno potuto acquisire conoscenze dirette è il sotto-bacino dei Chotts tunisini, incluso nel più vasto bacino artesiano. Tale bacino è quello più vulnerabile perché più interessato da un massiccio aumento dei prelievi con l'aggravante del pericolo di contaminazione salina.

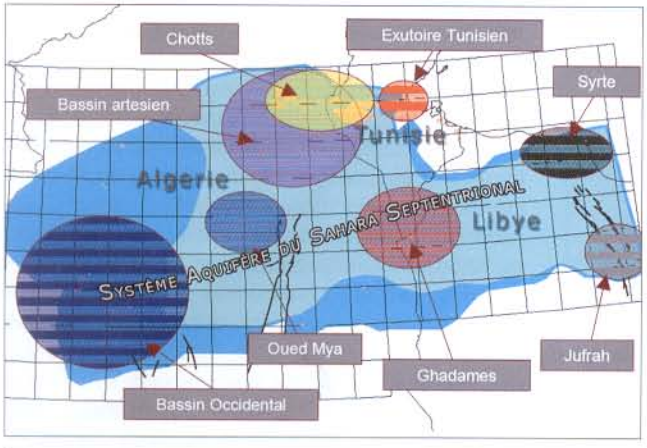


Figura 3 - Sottobacini del SASS (Fonte:modificato da OSS, 2003).

Da un recente censimento compiuto nel 2001 dall'OSS è risultato che il SASS risulta essere interessato da circa 8.800 punti di prelievo tra pozzi profondi e sorgenti naturali con utilizzazione predominante nel settore irriguo. Di questi 3500 si alimentano dal CI e 5300 dal CT e geograficamente sono così ripartiti: 6.500 in Algeria per un prelievo stimato di 42,1 m³/s (21,1 dal CI e 20,9 dal CT), 1.200 in Tunisia per un prelievo di 17,2 m³/s (2,7 dal CI e 14,5 dal CT) e 1.100 in Libia per 10,8 m³/s (3,4 dal CI e 7,4 dal CT) (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2003a).
Il prelievo complessivo dal SASS è stimato in circa 70,1 m³/s, per complessivi 2,2 x 10^9 m³/anno, con un allarmante trend di crescita evidenziato nella *Fig. 4*.

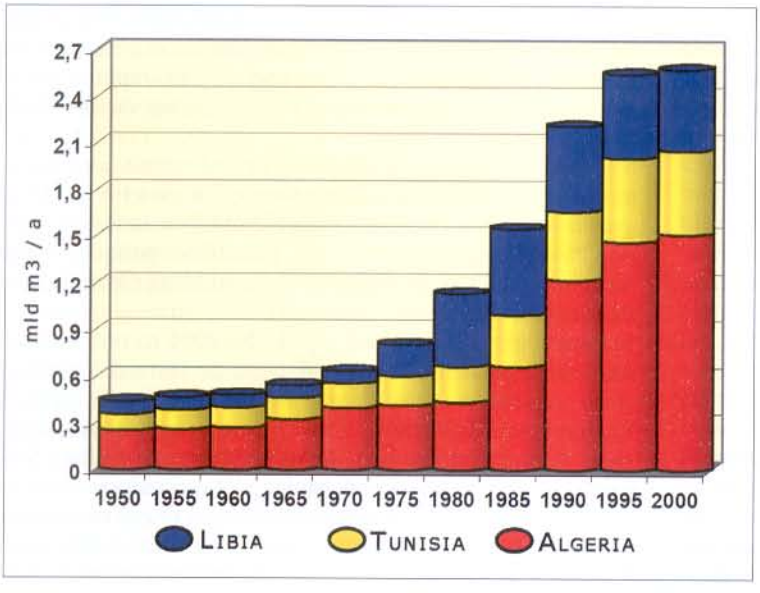


Figura 4 - Evoluzione dei prelievi annui dal SASS (Fonte: modificato da OSS, 2003).

Questi numeri possono dare facilmente un'idea dello sbilancio idrologico che presenta il SASS con consumi più che doppi rispetto alla potenzialità di ricarica propria. Se l'accertata disponibilità idrica non sembrerebbe essere di ostacolo ad una massiccia utilizzazione della risorsa, a preoccupare è la concentrazione dei prelievi in aree ristrette dei sottobacini più antropizzati e le previsioni future, già pianificate con opere di captazione e adduzione in costruzione soprattutto da parte di Algeria e Libia.
Tra i rischi più preoccupanti conseguenti l'aumento dei prelievi si possono elencare:

- *il rischio di interferenza "piezometrica" tra zone di prelievo non abbastanza distanziate sia a livello di sotto bacini che tra gli stessi Stati rivieraschi;*
- *la decompressione degli acquiferi artesiani;*
- *la salinizzazione delle falde per percolazione dai Chott o per intrusione marina;*
- *il prosciugamento delle risorse superficiali (foggaras) e delle oasi naturali;*
- *il crescente uso dei pompaggi necessari a compensare la caduta piezometrica, che oltre a rendere la risorsa sempre più costosa economicamente, è potenzialmente foriero di disequilibri idrogeologici locali.*

Proprio per far fronte a tali problematiche nel 1998 fu costituito l' Osservatorio del Sahara e del Sahel (OSS) citato precedentemente, un' Istituzione internazionale, con sede a Tunisi, che tra il 1998 e il 2001, su finanziamento FAO e IFAD e con il contributo della Cooperazione Svizzera, ha redatto un vasto monitoraggio del SASS e predisposto un modello idrogeologico comprensoriale per verificare alcuni scenari futuri al 2050 (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2003b).
In particolare i risultati delle prime simulazioni per tre differenti scenari di prelievo, hanno lasciato poco spazio all'ottimismo: il solo insistere con l'attuale ritmo di prelievo monitorato nell'anno 2000 (scenario "zero"), con Algeria attestata su 42,1 m³/s, Tunisia su 17,2 m³/s e Libia su 10,8 m³/s, comporterebbe un abbattimento piezometrico insostenibile già nel breve termine. Situazioni devastanti risulterebbero invece nelle ipotesi più *realistiche* di incremento dei consumi con Algeria e Libia in forte espansione e Tunisia in sostanziale stabilità per politiche e interventi di risparmio idrico.
In particolare queste ultime simulazioni sono state eseguite con le seguenti ipotesi di prelievo: Algeria attestata su incrementi del 147% rispetto allo *scenario "zero"* per una portata complessiva di 104 m³/s entro il 2030, e con la Libia, per la prossima entrata in esercizio dei due campi pozzi di Ghadames-Derj e Djebel Hassaounah, che completano il *Great Man-made River Project*, su una portata pressocchè costante di circa 20 m³/s, che va ad aggiungersi ai circa 75 m³/s, prelevati dal SASS. Con queste ipotesi, le simulazioni effettuate hanno evidenziato abbassamenti piezometrici dell'ordine di 200-300 m, con picchi di 400 m come apice della depressione generalizzata. Di fronte a tale allarmante scenario di forte aumento dei prelievi, che ben difficilmente gli stessi componenti dell' OSS vedono arrestabile, non resterebbe altra soluzione che il tentativo di delocalizzare i punti di captazione allontanandoli il più possibile dalle congestionate zone di utiliz-

zazione, minimizzando così l'interferenza piezometrica tra i vari sotto-bacini.
Con tale approccio l'OSS ha eseguito una nuova serie di simulazioni sui singoli sotto-bacini ottenendo risultati più incoraggianti, che a detta del Gruppo di lavoro, può far prevedere un aumento di circa otto volte la sostenibilità temporale dei prelievi stessi (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2003b). La simulazione conclusiva prevede di delocalizzare i campi pozzi nei sottobacini più "indisturbati", così nel caso Algerino - ad esempio - i punti di prelievo vengono previsti concentrati nel bacino Occidentale nel grande Erg Occidentale, sul confine meridionale del SASS, dove è stata ipotizzata la realizzazione di n. 10 campi pozzi da 10 m³/s cadauno, di profondità di oltre 3.000 m nell'acquifero del CI.
Se però l'ipotesi di delocalizzazione dei prelievi, a parere degli scriventi, trova una *semplice* risposta a livello numerico, di ben altro impatto è la traduzione dei risultati teorici del modello (che peraltro necessitano, a detta dello stesso OSS, di ulteriori e più approfondite conoscenze idrogeologiche) in interventi concreti estesi su territori vastissimi ed inospitali quali quelli desertici del Sahara.
Ci sarà inoltre da non sottovalutare l'aggravante che la *semplicità estrattiva* che ha caratterizzato questo ultimo decennio, con un'insostenibile proliferazione di pozzi perforati nel sotto-bacino artesiano molto prossimi ai luoghi di utilizzazione, non potrà che rappresentare un ulteriore ostacolo alla delocalizzazione dei prelievi stessi, che sembra attualmente essere l'unica soluzione percorribile per prolungare nel tempo la fruibilità dell'acquifero ai ritmi di crescita programmati, senza in tutto ciò prendere in considerazione l'alto costo d'investimento e di manutenzione di eventuali imponenti *pipe-lines* trans-desertiche.

va deperendo pericolosamente la piezometrica.
Dal punto di vista agronomico la palma da dattero, nelle sue diverse qualità, ha una capacità di adattamento sorprendente riuscendo a sopravvivere a temperature anche superiori ai 50°, con limitatissime quantità d'acqua, di salinità anche superiore a 5 g/l. Mediamente il fabbisogno irriguo di una palma da dattero con una produzione media di 70-80 kg di datteri della varietà Deglet Nour, una delle più pregiate, si aggira su 18-20.000 m³/Ha anno, cioè circa 5 volte superiore al fabbisogno medio di un frutteto in zone caldo-temperate con una stagione irrigua che dai 4-5 mesi l'anno di quest'ultime zone, passa all'intero anno o quasi dei climi desertici sahariani.
Nella regione del Chott el Djerid tunisino (*Fig. 5*), dove si concentra il 90% della produzione nazionale, per un 30% destinata all'esportazione, fonti interne stimano che le piantagioni abusive, prive cioè di una regolare concessione di perforazione da pozzo profondo, possano stimarsi dell'ordine del 50% delle piantagioni con regolare concessione di emungimento (Fédération Nationale des Producteurs de Dattes, 2004).

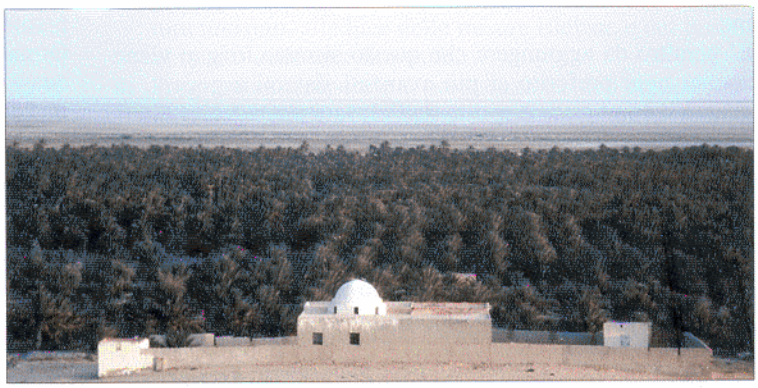


Figura 5 - Oasi di Tozeur prossime al Chott El Djerid.

5. LE OASI ARTIFICIALI

L'utilizzazione principale delle acque del SASS è agricolo, per l'irrigazione di oasi artificiali, prevalentemente coltivate con palme da dattero. La domanda di datteri a livello mondiale ha avuto, in quest'ultimo decennio, una crescita impetuosa la cui domanda, in occidente, si concentra nel periodo delle festività natalizie (25 dicembre – 10 Gennaio) e, nel mondo islamico, durante il Ramadam (il nono mese del calendario islamico che culmina con il *Lailat ul-Qadr*, la Notte del Potere in cui Dio si è rivelato al Profeta), mese che varia in tutte le stagioni per la non coincidenza del calendario con l'anno solare.
La stagione di maturazione dei datteri è nei mesi di ottobre-novembre, il che facilita anche la conservazione del prodotto sulla pianta grazie alle fredde temperature desertiche che raggiungono nei mesi invernali anche minime di qualche grado sotto lo zero (*Fig. 7*).
Il costo di vendita, sulla pianta, è mediamente di 0,7 €/kg, che raggiunge i 1,5 – 3 €/kg dei mercati al dettaglio fino a 20-25 nei *duty-free* degli aeroporti dei paesi produttori. Prezzi molto appetibili se si considera che lo stipendio pubblico medio di molti dei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo può aggirarsi sui 300-400 €/mese. Va da se che lo sviluppo delle oasi artificiali, soprattutto nel bacino artesiano, per il vantaggio energetico che lo caratterizza, è stato inarrestabile, né hanno sortito gli effetti sperati i divieti di perforazione di pozzi profondi, oltre i 60 m, imposti dalle Autorità per tentare di arrestare la dinamica estrattiva che

Complessivamente la superficie irrigata al 2001, da fonte dell'Unione dei produttori di Palme da dattero, è superiore ai 320 km² per una consumo idrico che può essere stimato in 6 x 10⁸ m³ corrispondente ad una portata media di circa 18-20 m³/s prelevata dagli acquiferi profondi, che è prossima al prelievo dello "scenario zero". Se poi le superfici coltivate indicate non dovessero tenere conto del contributo "abusivo" ben possono comprendersi gli allarmi che l'OSS ha lanciato da una recente pubblicazione apparsa su una rivista specializzata (Fezzani et al., 2005).
La tecnica irrigua più diffusa è quella a scorrimento, con sistema turnato. Il corpo d'acqua cioè viene fatto ruotare tra le parcelle attraverso reti comiziali in un periodo irriguo compreso tra i 10 e i 18 giorni, a seconda che si tratti di monoculture o meno. All'interno delle proprietà le reti distributive alimentano i punti di consegna (idranti), che a loro volta servono le conche di adacquamento delle piante, tramite canaletti in terra che l'agricoltore mantiene aperti o chiusi con l'uso della zappa (*Fig. 6*).
Sebbene il sistema a scorrimento presenti lo svantaggio di avere perdite idriche più che doppie rispetto ai sistemi ad aspersione e quasi triple rispetto ai più moderni sistemi localizzati, esso continua ad essere largamente utilizzato nelle oasi sia per tradizione che per semplicità ed economicità d'impianto. Un ulteriore aspetto che facilita la conservazione di tale sistema, a fronte del valore che la risorsa idrica

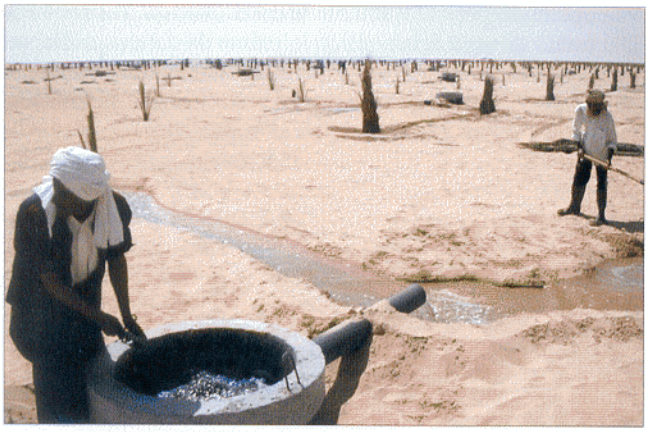


Figura 6 - Irrigazione dell'oasi di Amal, Rejim Maatoug.

Figura 7 - Palmeto con coltivazioni sotto chioma.

rappresenta nel contesto desertico, è la possibilità con questo sistema di ottenere produzioni integrative, finalizzate all'autoconsumo (ortaggi e alberi da frutta) e per il bestiame (foraggio), che si sviluppano nelle conche (*Fig. 7*), nell'ambiente protetto che il palmeto garantisce sotto il suo fogliame.

E' peraltro da aggiungere che questo sistema irriguo viene ancora oggi preferito ai più avanzati sistemi a goccia, in quanto il combinato disposto dell'elevata temperatura esterna, e della consistente salinità delle acque prelevate rende difficile la manutenzione e la curabilità di questi sistemi di irrigazione più avanzati, che garantirebbero invece un significativo risparmio idrico. Se si aggiunge poi il costo energetico che i più moderni sistemi irrigui necessitano per garantire un loro corretto impiego (almeno 20-30 m di carico piezometrico aggiuntivo) si comprende perché la scelta tradizionale risulti ancora obbligata.

Tale sistema inoltre permette di stabilizzare il terreno sabbioso che gradualmente, per l'apporto di componenti organiche, oltre al miglioramento nutrizionale viene reso meno permeabile.

Ormai l'uso di pompaggi integrativi si rende necessario in quasi tutta la regione *artesiana* - specie intorno ai Chott, sia in Tunisia che in Algeria - per compensare l'inesorabile decompressione dell'acquifero che procede ad un ritmo stimato di circa 1 m/anno, con *trend* in crescita verso 1,5 m. Alla caduta generalizzata del livello idrostatico, sono inoltre da aggiungere le perdite di carico localizzate, siano esse dovute al moto di filtrazione verso l'opera (cono di depressione), siano esse dovute a fenomeni turbolenti localizzati nei pozzi estrattivi, nonché le perdite di carico della rete comiziale e distributiva (*Fig. 8*).

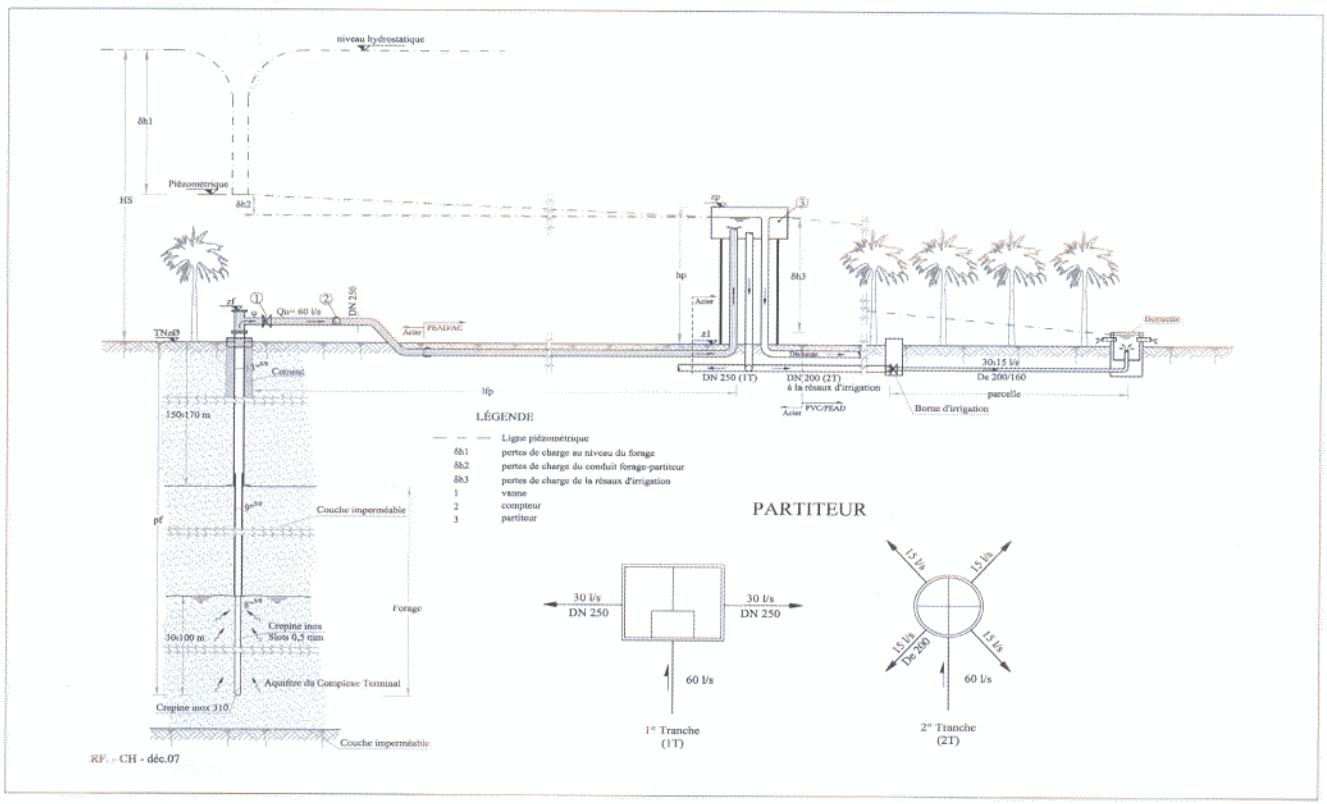


Figura 8 - Schema idraulico dell'impianto di prelievo-adduzione-irrigazione delle oasi di Rejim Maatoug (Fonte: Commission Hydraulique, 2007).

Nel caso tunisino sono due principalmente le formazioni geologiche dell'acquifero del CT: quella calcarea fratturata della Nefzaoua, con alto coefficiente di permeabilità e quella delle sabbie miopliocenichе a permeabilità più ridotta (Ould Baba, 2005; Agoun, 2007), più prossime all'Erg Orientale (Rejim Maatoug; Matrouha etc..).
Con la caduta dell'artesianismo si renderà presto evidente che la presenza di pozzi abusivi, non opportunamente localizzati e distanziati, sarà all'origine di interferenze del regime piezometrico tra i campi pozzi con la conseguente sovrapposizione degli effetti sulla depressione indotta.
Tale situazione tenderà ad acutizzarsi con la progressiva decompressione dell'acquifero sia per i crescenti costi energetici e sia per scompensi idraulici che possono, al limite, comportare abbassamenti tali da mettere in crisi i pozzi perforati in formazioni a permeabilità minore.

6. ESPERIENZA MATURATA E CONCLUSIONI

Nonostante la dimensione delle problematiche gestionali precedentemente elencate e le conoscenze idrogeologiche che si vanno delineando in un contesto territoriale difficile quale quello del Sahara, si ritiene interessante sinteticamente rammentare l'esperienza maturata dagli scriventi nella sottozona artesiana del Chott Tunisino, quali componenti di una Commissione Idraulica del Ministero della Cooperazione Internazionale Tunisino, con il compito di valutare l'implementazione della 2° fase di un progetto irriguo di oasi dattifere sul limite meridionali del Chott el Djerid nella zona di Rejim Matoug (*Fig. 9*).

Figura 9 - Oasi di Ferdaous, Rejim Maatoug.

In questa zona infatti oltre agli accennati aspetti piezometrici dell'acquifero è da aggiungersi il pericolo che la decompressione in atto possa determinare irreversibili contaminazioni salina da parte delle acque salmastre degli Chotts, sostenute proprio dall'artesianismo (Agoun, 2007; Zammouri et al., 2007).
Limitandoci quindi agli aspetti locali che stanno condizionando il funzionamento delle oasi, si sono distinte due differenti tipologie di cause-effetti:

- *il rapido tasso di crescita del prelievo sotterraneo dall'acquifero del SASS nella zona della Nefzaoua-Djerid per parte tunisina e, al di là del confine politico per l'attigua parte algerina che sta determinando una rapida depressurizzazione dell'acquifero con conseguenze sulle portate naturalmente scaturenti per artesianismo dai pozzi delle oasi;*
- *la composizione chimico-mineralogica delle acque confinate negli strati sabbiosi del SASS nella regione di RM che risultano fortemente incrostanti e corrosive che hanno determinato nel tempo, in assenza di manutenzione ordinaria, una rapida perdita di efficienza dei pozzi.*

Nell'ambito dell'incarico assegnato alla Commissione sono state quindi svolte le seguenti attività:

- Campagna di misura su 24 pozzi esistenti per il rilevamento dell'idrostatica a pozzo chiuso; successive prove di portata artesiane; analisi termoconduttimetriche e geochimiche di laboratorio su campioni prelevati (*Fig. 11*);
- Misura e verifica della distanza d'influenza tra i pozzi esistenti;
- Prove di pompaggio su un sottogruppo di pozzi rappresentativi;
- Aggiornamento del modello idrogeologico numerico predisposto originariamente dal Ministero dell'Agricoltura tunisino, alla luce delle misure rilevate e dei prelievi in atto nelle aree limitrofe;
- Programma temporale e progettazione dell'equipaggiamento dei pozzi con pompe elettro-meccaniche e della rete elettrica di alimentazione;
- Predisposizione dei termini di riferimento per la realizzazione di una rete di monitoraggio quali-quantitativo dell'acquifero del CT in prossimità delle oasi di Rejim Maatoug;
- Programma di manutenzione dei pozzi e delle pompe;
- Verifica di funzionamento della rete di drenaggio ed interventi correttivi tesi anche al riutilizzo delle portate drenate.

Si riportano, a titolo indicativo, i trend di abbassamento delle pressioni idrostatiche registrati sui 22 pozzi delle oasi di Rjim Maatoug aggiornati con i valori misurati durante la campagna 2007 (*Fig. 10*) e la conseguente perdita di portata artesiana misurata in testa pozzo nella medesima campagna (*Tab. II*).
In sintesi, le conclusioni dell'indagine e degli studi svolti hanno evidenziato come nel corso degli ultimi anni si sia verificato un rapido ed inaspettato decremento delle portate naturalmente scaturenti dai pozzi per artesianismo, con un

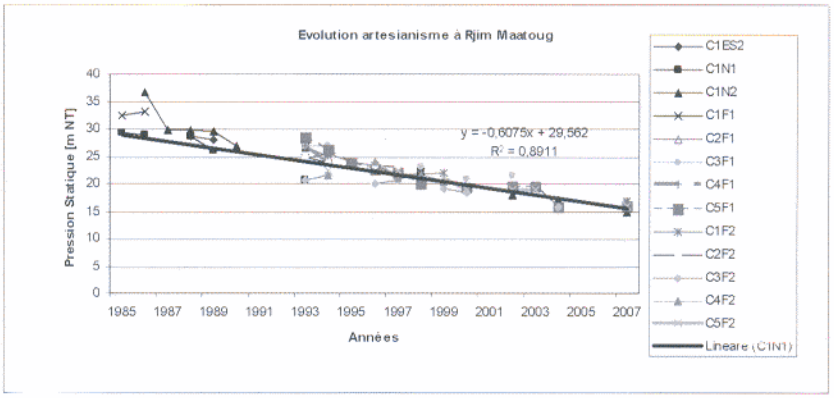


Figura 10 - Trend di decrescita della pressione idrostatica (artesianismo) presso i pozzi delle oasi di Rjim Maatoug riportata in metri dal p.c. (NT = niveau du terrain).

anticipo di quasi dieci anni rispetto alle iniziali previsioni (DGRE, 1997), con effetti particolarmente negativi sulle produzioni. In aggiunta, la pressione idrostatica dell'acquifero ha raggiunto valori non più sufficienti a garantire il corretto funzionamento degli impianti idraulici con necessità di integrare le portate di punta estiva con sollevamenti elettromeccanici la cui prevalenza deve tenere conto inoltre della perdita di efficienza idraulica dei pozzi stessi sia a seguito del mutato scenario piezometrico che per la caratteristica aggressiva delle acque mineralizzate, particolarmente attiva in special modo sulle tubazioni in acciaio dolce.
Accanto a ciò, è da segnalare la sottovalutazione di una corretta progettazione delle reti di drenaggio delle acque di irrigazione che hanno causato nel tempo l'insorgere di fenomeni di idromorfismo superficiale con conseguente sottrazione di spazi alle colture produttive e risalita, per capillarità, dei contenuti di gesso dagli strati impermeabili più superficiali.
Le conclusioni della Commissione (Agoun, 2007) contengono in sintesi indicazioni che possono essere estrapolate dalla situazione locale a quella più generale delle oasi artificiali di tutta l'area desertica e semidesertica della Tunisia (Nefzaoua, Djerid).
In particolare, i suggerimenti proposti per l'ottimizzazione del progetto possono essere sintetizzati come segue:

- *monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee nell'area delle oasi e nelle sue prossimità con il Chott;*
- *equipaggiamento dei pozzi con pompe sommerse in acciai speciali per compensare la riduzione delle portate artesiane;*
- *impostazione di attività di rigenerazione periodica dei pozzi e delle pompe installate a causa dell'alto potere incrostante delle acque del CT;*
- *nuove ipotesi di progetto per i pozzi da perforare nelle nuove oasi allo scopo di migliorarne l'efficienza minimizzando i valori delle perdite di carico concentrate;*
- *sperimentazione di tecniche di irrigazione localizzata più efficaci ed efficienti per ridurre la portata necessaria per le parcelle irrigue;*
- *progettazione della rete di drenaggio e di schemi di riutilizzo delle acque di drenaggio per altri cicli di irrigazione dei palmeti ed a servizio dei villaggi e delle fasce frangivento.*

Senza entrare nel merito dei singoli aspetti che potrebbero costituire oggetto di singole trattazioni tecniche, può affermarsi in conclusione che in attesa che vengano posti in essere i piani di delocalizzazione dei punti di prelievo, richiamati precedentemente, in tempi d'intervento che possono facilmente prevedersi nel medio-lungo termine, le azioni da porre in essere nel breve per prolungare la sostenibilità dei prelievi dal SASS, specie dal bacino artesiano, appaiono quanto mai obbligate:

- *1. Sistematico e costante monitoraggio dell'acquifero;*
- *2. Politiche e tecniche di risparmio e riduzione dei consumi idrici;*
- *3. Massima fermezza nel contrasto ai prelievi abusivi.*

La comunità scientifica di supporto alle autorità tunisine preposte alla gestione del SASS sembra essere sensibile e particolarmente attiva relativamente al problema del monitoraggio della risorsa (Agoun, 2007; Besbes et al., 2007) e recentemente si è assistito alla realizzazione di una prima rete di piezometri intorno ai bacini del Chott.
D'altra parte, se anche riguardo al secondo punto esistano mirati interventi, ad esempio della Cooperazione Giapponese nelle oasi di Tozeur, per minimizzare i tracciati delle canalizzazione a cielo aperto con reti tubate, più problematico, per le ovvie implicazioni politiche, appare il contrasto ai prelievi abusivi che pur tuttavia meriterebbe un'azione quanto mai decisa per non rendere vani i risultati di politiche di corretta gestione della risorsa.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per l'assistenza fornita durante i lavori della Commissione il Responsabile del Programma Sahara & Sud M. Noureddine Ghannouchi, il Direttore dell'Ufficio della Cooperazione Italiana Dr. Mariano Foti, il Direttore dell'O.D.R.M. Col. M. Hamdi, il Prof. M. Besbes della Scuola Nazionale di Ingegneria di Tunisi, la Dott.ssa Valeria Mazzacane del MAE-DGCS-Uff.III, il Dr. Domenico Bruzzone dell' UTC-DGCS e la Dr.ssa Serena Vitale dell'UTL di Tunisi, nonché i componenti tunisini della Commissione Idraulica, ing. Mohammed Ben Ayed, direttore del Ministero dell'Agricoltura e Dr. Aissa Agoun, Direttore CRDA di Kebili.