



## La risorsa idrica

Sfruttamento, depauperamento dei serbatoi sotterranei  
e utilizzo razionale nel caso della Calabria

MAURIZIO POLEMIO, VITTORIA DRAGONE, ANDREA ROMANAZZI

### **I. Riassunto**

L'utilizzo delle risorse idriche sotterranee è iniziato in Calabria con la progressiva captazione delle numerose sorgenti ed è via via aumentato, a partire dai primi decenni del secolo scorso, mediante la perforazione di numerosi pozzi, oramai diverse decine di migliaia. Oggi la quasi totalità delle acque potabili utilizzate in Calabria, più di quanto accade nel resto della nazione, proviene dalle acque sotterranee.

La Calabria è una regione le cui peculiarità geologiche, idrogeologiche e climatiche la hanno resa ricca di risorse idriche. Tali caratteristiche naturali non sono state però sufficienti a impedire ricorrenti eventi siccitosi, anche nei più recenti decenni. Tali risorse, evidentemente di interesse strategico per la regione, sono soggette a prelievi crescenti, per effetto di una domanda in costante aumento, e a uno stressante e tendenziale calo della ricarica, dovuto alle variazioni climatiche. L'effetto complessivo è che i principali acquiferi risultano, con delle differenze di caso in caso, soggetti agli effetti preoccupanti dell'inquinamento e del sovrasfruttamento.

Ciò premesso, il contributo si pone l'obiettivo, a partire dalla disamina delle condizioni naturali, con particolare riferimento agli aspetti idrogeologici, di descrivere la rilevanza delle risorse idriche sotterranee regionali, di individuare i punti di forza del loro utilizzo e, allo stesso tempo, di focalizzare su i rischi di degrado qualitativo e quantitativo.

Descritti i complessi idrogeologici e gli acquiferi principali presenti nella regione, si individuano i fattori del rischio di degrado delle

risorse idriche sotterranee. Gli acquiferi presenti in Calabria sono soggetti a rischi di degrado qualitativo, per l'intrinseca vulnerabilità degli acquiferi e per la rilevanza del carico inquinante antropico, potenzialmente fonte di pericolo, e a rischi di degrado quantitativo, in relazione alla crescente e spesso insoddisfatta domanda idrica, che determina condizioni di sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee. Nel caso della Calabria, visto che la gran parte degli acquiferi principali sono costieri, il rischio derivante dagli effetti dell'intrusione marina lega in modo duale i rischi di degrado quantitativo a quelli di natura quantitativa. Lo studio delle acque sotterranee della Calabria deve quindi essere contestualizzato in quello più ampio, a scala globale, che affronta la gestione degli acquiferi costieri, il caso più complesso di gestione di risorse idriche sotterranee.

## 2. Introduzione

Il volume dell'idrosfera, pari al volume totale dell'acqua presente sulla Terra, è da considerarsi stazionario (stimabile in 1,4 miliardi di chilometri cubi di acqua). L'aliquota di acque dolci è pari soltanto al 2,8% dell'idrosfera (38.000.000 km<sup>3</sup>); di questa aliquota, il 77,3% è sostanzialmente indisponibile in quanto allo stato solido; della restante porzione, il 97,5% (8.300.000 km<sup>3</sup>) è costituito da acque sotterranee, di cui il 50% si stima sia disponibile nei primi 800 metri [Leeden *et al.*, 1990]. È realistico ritenere, in prima approssimazione, che soltanto questa aliquota, quella meno profonda, sia interessata da un apprezzabile tasso di rinnovamento ovvero sia coinvolta nel ciclo idrologico. Le acque dolci superficiali, presenti nel reticolo idrografico e nei laghi, costituiscono un'aliquota pari al 1,5% delle acque dolci allo stato liquido, quindi il volume delle acque sotterranee dolci è un multiplo, pari a 65, di quello delle acque dolci superficiali. Il ciclo idrologico garantisce annualmente un apporto di precipitazioni meteoriche pari a 110.330 km<sup>3</sup>, di questo volume soltanto il 10,8% (12.000 km<sup>3</sup>, pari allo 0,14% del volume totale di acque sotterranee) rappresenta la ricarica degli acquiferi, mentre un volume pari a poco più del doppio anima annualmente il ruscellamento superficiale. Tali dati evidenziano la rilevanza delle acque sotterranee quali fonti per il soddisfacimento della domanda idrica. A fronte di tale contesto naturale, la domanda di

acqua di buona qualità è in crescita a scala globale, per l'aumento della popolazione e della domanda individuale. La crescita della domanda idrica cresce soprattutto nelle aree costiere, dove la popolazione mondiale va via via concentrandosi unitamente alle più rilevanti attività economico–produttive.

La preservazione duratura di sufficiente acqua di buona qualità è quindi un problema a scala globale. L'Unione Europea ha definito nel 2000 la Direttiva Quadro in materia di acque (2000/60/CE), con lo scopo di proteggere dal degrado quantitativo e qualitativo le risorse idriche, obbligando gli stati membri ad una gestione della risorsa che porti, entro il 2015, a un idoneo e prefissato obbiettivo quali–quantitativo, obiettivo questo da ritenersi particolarmente ambizioso.

Focalizzando l'attenzione sulle risorse idriche sotterranee, le più ingenti ma le meno rinnovabili a scala globale, i principali rischi di degrado possono essere schematizzati in due principali tipologie (Fig. 1).



**Figura 1.** Concettualizzazione dei rischi di degrado delle risorse idriche sotterranee

Il degrado qualitativo è da una parte dovuto alle intrinseche caratteristiche del territorio e degli acquiferi, da cui dipende il diverso livello di vulnerabilità di questi ultimi, dall'altro alla presenza di fonti di inquinamento, dovute all'antropizzazione, nonché a fonti, ancorché naturali, di salinizzazione, come nel caso del fenomeno dell'intrusione marina [Cotecchia & Polemio, 1997], di certo la più nota tra le cause

di salinizzazione delle acque sotterranee. Trattasi di un argomento di particolare attualità visto che la domanda idrica crescente sempre più si concentra nell'utilizzo di acque sotterranee degli acquiferi costieri. Trattasi di risorse ingenti, naturalmente destinate a effluire a mare, il cui utilizzo intenso può creare rapidamente duraturi effetti sulla risorsa stessa ma anche sugli equilibri ecologici costieri. Si stima che annualmente in Italia 21,7 km<sup>3</sup> di acque sotterranee effluiscano a mare, valore questo in assoluto non tra i più ingenti del Mediterraneo [Zektser & Dzhamalov, 2007] (Fig. 2).



**Figura 2.** Efflussi a mare di acque sotterranee (l/s\*km<sup>2</sup>) (dati desunti da Zektser & Dzhamalov, 2007). 1) 0,5–1,0; 2) 1,0–5,0; 3) 5,0–10,0; 4) 10,0–20,0. Per l'Italia si calcola un efflusso a mare totale pari a 21,7 km<sup>3</sup>.

Il degrado quantitativo si innesca in virtù delle difficoltà incontrate nel soddisfare una domanda crescente di risorse idriche di qualità in un contesto sfavorevole, dovuto alle modificazioni climatiche in atto, in cui l'annuale contributo offerto dal ciclo idrologico è tendenzialmente in calo, in vaste porzioni del pianeta come in Italia meridionale [IPCC, 2007; Alpert *et al.*, 2008; Polemio & Casarano, 2008; García-Ruiz & Lana-Renault, 2011; Romanazzi & Polemio, 2013]. Si consideri che in Calabria, a fronte di una piovosità media annua di 1043 mm, dal 1921 al 2004 il *trend* pluviometrico annuale ha comportato la perdita di 252 mm, pari al 24% della piovosità media annua, incidenza massima tra le regioni meridionali non insulari, tutte comunque interessate dal calo della piovosità [Polemio & Casarano, 2008]. Le modificazioni tendenziali della piovosità sono risultate ancora più accentuate in termini stagionali: il calo pluviometrico è quasi del tutto concentrato nella stagione invernale, ovvero il periodo in cui si ripristinano le

riserve idriche superficiali e sotterranee, e invece ha tendenza opposta nel periodo estivo, a causa di brevi eventi piovosi a cui si deve un incremento complessivo della piovosità estiva, incremento del tutto inefficace dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico (Fig. 3) [Cotecchia *et al.*, 2003].

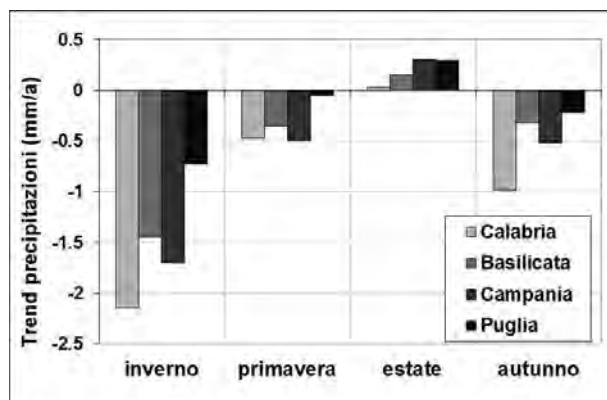
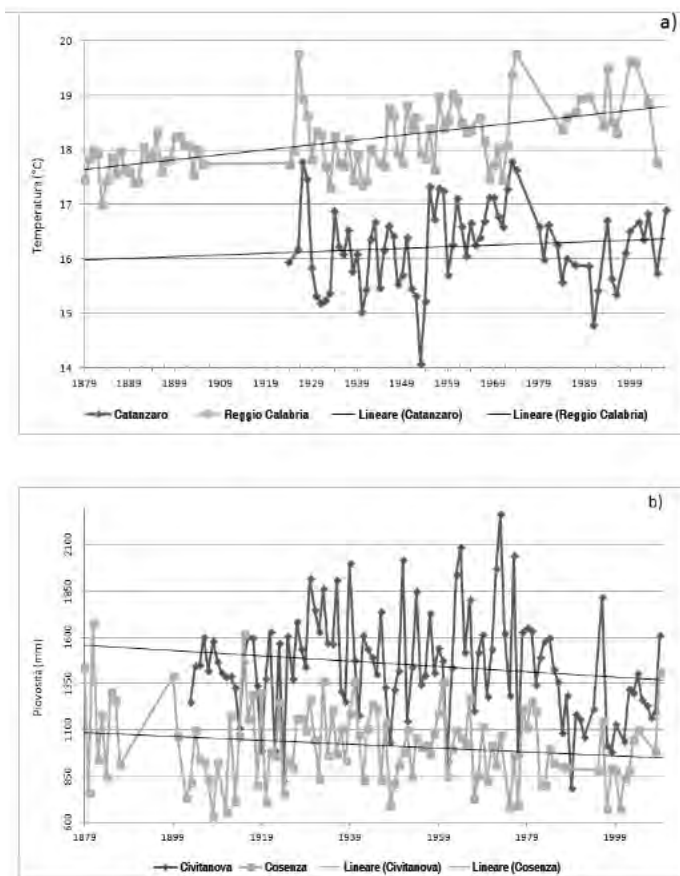


Figura 3. Italia meridionale: tendenza della piovosità su base stagionale

A tale tendenza si sovrappone negativamente il *trend* crescente della temperatura che, unitamente a quello pluviometrico decrescente, si è reso palese in particolare dagli anni ottanta. Tali tendenze sono altresì confermate ampliando l'intervallo temporale, sia a ritroso, fino al 1879, sia in avanti, fino al 2009, come nel caso dei rilievi termopluviometrici di Cosenza, Catanzaro, Cittanova e Reggio Calabria (Fig. 4).

L'effetto combinato delle diverse modificazioni tendenziali termopluviometriche è che il calo tendenziale della piovosità efficace o netta, pari alla piovosità effettiva al netto dell'evapotraspirazione, è ancor più marcato di quello della piovosità effettiva [Cotecchia *et al.*, 2003].

La sovrapposizione di variazioni della piovosità efficace e dei prelievi si traduce in un diffuso sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee, che si manifesta nel decremento piezometrico e nel calo degli efflussi sorgivi. Evidenze sono state riscontrate in vasti acquiferi dell'Italia meridionale, Calabria inclusa [Polemio *et al.*, 2004; Polemio & Casarano, 2008; Cuiuli, 2012]. Il degrado quantitativo favorisce il fenomeno dell'intrusione marina negli acquiferi costieri: il diminuito carico piezometrico e il calo della portata complessiva delle acque sotterranee dolci, fluenti verso il mare, favoriscono la penetrazione



**Figura 4.** Trend annuali della temperatura (a) e della piovosità (b) dall'Ottocento a oggi (2009). Stazioni di Cosenza, Catanzaro, Cittanova e Reggio Calabria.

verso l'entroterra delle acque saline di origine marina (intrusione marina laterale, che si può esemplificare in una traslazione orizzontale verso l'interno della zona di transizione acque dolci-saline) e/o il sollevamento della zona di transizione tra acque sotterranee dolci e saline (intrusione verso l'alto o *upconing*, in cui la zona di transizione si deforma ed è richiamata verso l'alto dall'azione di emungimenti particolarmente intensi) [Polemio *et al.*, 2009]. In queste condizioni, il degrado quantitativo causa una diminuzione della qualità, per incremento salino, ovvero causa degrado qualitativo. Può quindi accadere che, per il perdurare in porzioni vaste di situazioni di sovrasfruttamento, si abbassi così tanto la qualità delle acque sotterranee costiere

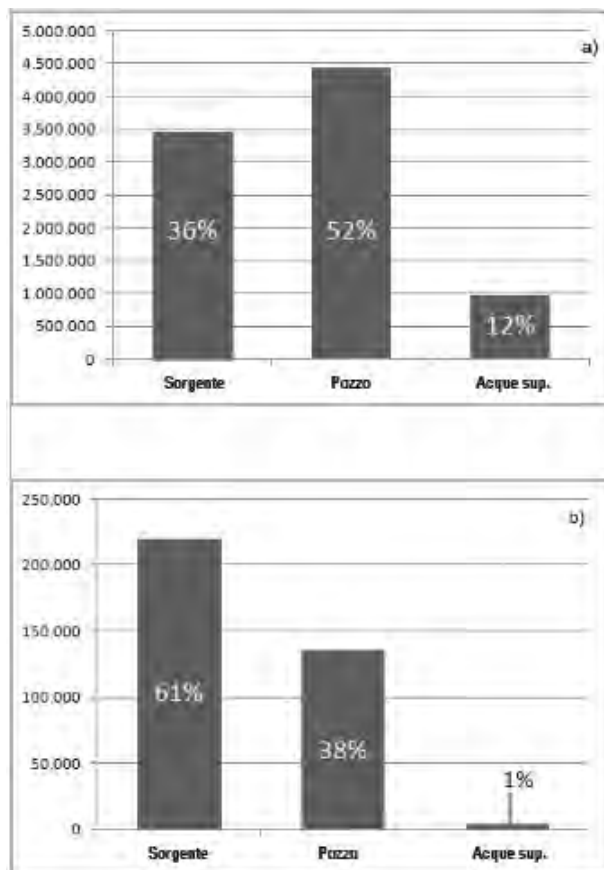
che queste diventino inutilizzabili, generando così ulteriore degrado quantitativo (Fig. 1).

Ciò premesso, il contributo si pone l'obiettivo, a partire dalla disamina delle condizioni naturali, di descrivere la rilevanza delle risorse idriche sotterranee regionali, di individuare i punti di forza del loro utilizzo e, allo stesso tempo, di focalizzare i rischi di degrado qualitativo e quantitativo delle risorse stesse.

### **3. La rilevanza delle risorse idriche sotterranee e le criticità dell'approvvigionamento potabile**

In Italia i prelievi di acque sotterranee soddisfano la domanda idrica potabile in misura del 88% del totale (Fig. 5 a). Tale dato caratterizza alquanto uniformemente il paese, dal nord al sud, dove maggiore è l'incidenza dei prelievi sorgivi a discapito di quelli da pozzo. La Calabria è una sorta di eccezione in quanto il prelievo garantito dagli acquiferi è percentualmente ancora più alto e pari al massimo nazionale, essendo pari al 99% del volume totale (Fig. 5 b), volume, tra sorgenti e pozzi, complessivamente stimato in 355.000.000 m<sup>3</sup> [ISTAT, 2006]. Per esemplificare la rilevanza delle risorse idriche sotterranee per la Calabria, senza rischi di risultare enfatici, si potrebbe affermare che la popolazione calabrese beve acque sotterranee.

Rispetto alla situazione rilevata al 1999, le rilevazioni del 2005 e del 2008 evidenziano che il *trend* dei prelievi potabili, diversamente da quanto accade nel complesso del paese, è in crescita al sud e in modo particolarmente accentuato in Calabria, in cui si è registrato un incremento pari circa al 8% in solo nove anni (Fig. 6) [ISTAT, 2012]. Tale risultato in Calabria è fondamentalmente dovuto all'incremento del volume annualmente consumato *pro capite*, sia che si consideri, sempre con riferimento alle rilevazioni del 1999, quello immesso negli acquedotti, passato da 122 a 148 m<sup>3</sup>, sia che si consideri quello effettivamente erogato da questi, passato da 80 a 99 m<sup>3</sup>. In altre parole, l'incremento dei consumi non è compensato, come sarebbe stato quanto mai opportuno, da un calo delle perdite, scese soltanto di recente dal 53% al 50%. Il perdurare di copiose perdite non sembra possa giustificarsi con prioritarie esigenze di "servizio", visto che in Calabria si registra il massimo nazionale di irregolarità del servizio, lamentate dal



**Figura 5.** Fonte dei prelievi potabili in Italia (a) e Calabria (b) al 1999 (dati da ISTAT, 2006), volume espresso in metri cubi.

31,7% delle utenze familiari, a fronte di una media nazionale del 9,3% [ISTAT, 2012]. La percezione della qualità idrica è altresì notevolmente bassa, nonostante si tratti quasi del tutto di acque sotterranee, tanto che il 47,7% delle famiglie calabresi include uno più componenti che non beve le acque distribuite dagli acquedotti per sfiducia.

A fronte della rilevanza strategica e del valore ingente assunto dalle risorse idriche sotterranee per la regione, valore non solo limitato all'uso potabile, in questa nota prioritariamente considerato per esigenze di brevità, pur nella consapevolezza che il potabile non sia quantitativamente il principale tipo di consumo, non risulta siano stati compiuti sforzi adeguati per razionalizzarne l'utilizzo e preservarne



il valore, in termini di disponibilità e qualità, come evidenziato dalla notevole incidenza delle perdite e dalla crescente domanda. Un ulteriore approfondimento delle criticità e delle potenzialità richiede un'analisi più approfondita delle principali peculiarità geologiche e idrogeologiche del territorio.

#### 4. Inquadramento geologico e idrogeologico regionale

La geologia della Calabria è estremamente complessa e contribuisce non poco a conferire alla regione una rilevante variabilità paesaggistica e ambientale. Da un punto di vista fisiografico, la regione può essere suddivisa in sei unità (procedendo da nord a sud, ad eccezione delle pianure): il massiccio calcareo del monte Pollino, posto al confine tra Calabria e Basilicata, la Catena Costiera, l'Altopiano Silano o Sila, le Serre, l'Aspromonte e le pianure, sostanzialmente costiere, che rappresentano soltanto l'8% della superficie regionale (Fig. 6 a).

La regione si caratterizza per il basamento costituito da rocce cristalline ignee e metamorfiche, di età paleozoica, che affiorano diffusamente, in particolare in quattro delle sei unità, ovvero la Catena Costiera, la Sila, le Serre e l'Aspromonte, procedendo da nord a sud. Ad eccezione dell'area del Pollino, laddove non affiora, il basamento soggiace ad affioramenti di sedimenti molto più recenti, principalmente neogenici o post-neogenici, come nel caso delle pianure. Le rocce del basamento sono riconducibili al cosiddetto Complesso Calabride [Ogniben, 1973] e all'Unità dell'Arco Calabro-Peloritano [Amodio Morelli *et al.*, 1976]. A nord dell'istmo di Catanzaro, tali rocce, unitamente a rocce ofiolitiche, sono sovrascorse sulle unità sedimentarie della Catena Appenninica, mentre a sud si rinvengono sovrapposte alle unità sedimentarie della Catena delle Maghrebidi. Circondate dagli ammassi calcareo-dolomitici mesozoici del Pollino, da flysch miocenico-torbiditici-arenaceo-marnosi e/o dalle propaggini dei massicci cristallini paleozoici della Sila e della Catena Costiera, si sviluppano importanti piane alluvionali, costituite da alternanze di argille limose, limi-sabbiosi, sabbie e ghiaie, con frequenti eteropie laterali [Guerricchio & Melidoro, 1975; Guerricchio *et al.*, 1976; Polemio & Luise, 2007; Cuiuli, 2012]. Le rocce ignee e metamorfiche sono state interessate da un'intensa e prolungata attività tettonica, artefice del

continuo ringiovanimento del territorio, durante la quale si è prodotta l'Orogenesi Alpina e la messa in posto, databile al Miocene inferiore [Tortorici, 1982]. A seguito della messa in posto, tali rocce sono state soggette da una parte a processi molto intensi di smantellamento ed erosione, che non poco hanno determinato il costituirsi di formazioni sedimentarie in prevalenza terrigene, e dall'altra sono state soggette a ulteriori stress tettonici, che hanno generato, fino al Pleistocene, nuovi e importanti sistemi di discontinuità che a luoghi hanno alterato le preesistenti relazioni geometriche tra unità tettoniche [Ogniben, 1973; Ghisetti, 1979]. La complessità e l'intensità delle vicende tettoniche hanno avuto diversi effetti. Hanno reso la regione di straordinario interesse per gli studi geologici a scala del Mediterraneo, hanno contribuito non poco alla straordinaria peculiarità del paesaggio e dell'ambiente ma, soprattutto alla luce delle finalità di questa nota, hanno avuto effetti in termini di geologia applicata, specificatamente in relazione alla circolazione delle acque sotterranee, in particolare sui diffusissimi affioramenti ignei e metamorfici. L'intensa fratturazione ha permesso la rapida e profonda alterazione delle rocce affioranti, trasformando, per profondità variabili, a luoghi anche decine di metri, le rocce madri, cristalline o metamorfiche, poco o affatto permeabili, in rocce se non in terreni residuali dalle caratteristiche idrogeologiche tali da animare acquiferi superficiali. Tali acquiferi, numerosi, poco estesi e poco potenti, sono caratterizzati da una circolazione idrica sotterranea che è condizionata dalla morfologia superficiale e che dà vita a migliaia di piccole sorgenti.

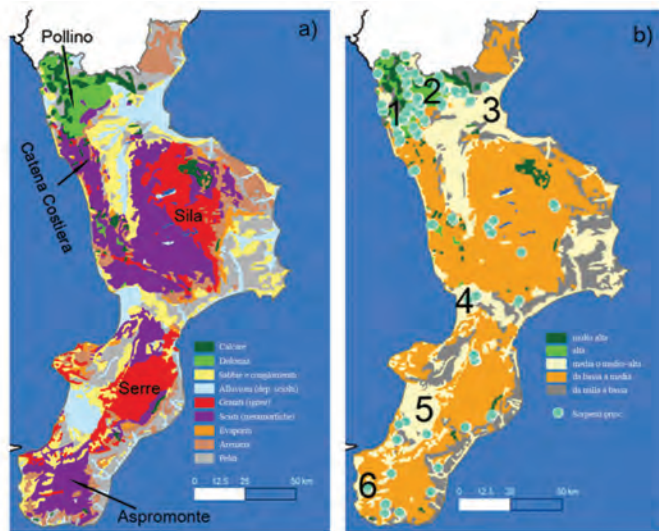
Da un punto di vista idrogeologico, in modo schematico, operando a scala regionale, si possono distinguere nove complessi idrogeologici, in ordine decrescente di permeabilità: calcari, dolomie, sabbie e conglomerati, alluvioni, graniti, scisti, evaporiti, arenarie e peliti (Fig. 6 a). I complessi idrogeologici animano sostanzialmente tre tipologie di strutture idrogeologiche. La prima per importanza idrogeologica include gli acquiferi rocciosi permeabili per fratturazione e carsismo, come nel caso dell'acquifero calcareo-dolomitico del Pollino, a cui si devono le più importanti sorgenti regionali (Fig. 6 b). La seconda tipologia include gli acquiferi permeabili per porosità delle pianure, soprattutto pianure costiere alluvionali, e secondariamente delle più ampie valli fluviali. Sono acquiferi costituiti da livelli a prevalente frazione grossolana, dalla permeabilità da media a medio-alta e co-

munque estremamente variabile per le frequenti eteropie laterali. In genere si presentano frazionati in più acquiferi sovrapposti, a diverso grado di interconnessione. Sono alimentati in genere dalla ricarica propriamente detta (infiltrazione di acque meteoriche) in modo modesto, dalle perdite dal reticolo idrografico, dal ruscellamento non incanalato proveniente dalle pendici che le delimitano e dalle perdite sotterranee provenienti dai massicci montuosi [Polemio & Luise, 2007], oltre agli eccessi irrigui e ad altri tributi di origine antropica. Gli acquiferi delle pianure, nel loro insieme, costituiscono la più importante riserva idrica calabrese, sia per l'entità delle risorse che per la posizione delle stesse, di fatto coincidenti con le principali aree di sviluppo socio-economico regionale. Sotto la porzione superficiale, in cui la circolazione idrica sotterranea avviene in condizioni freatiche, questi acquiferi sono confinati se non artesiani (attributo questo che sta venendo meno a luoghi). Questa tipologia di acquifero non dà vita in genere a sorgenti subaeree ed è sfruttato mediante un sempre crescente numero di pozzi. La terza tipologia di acquiferi si deve alla fratturazione e alterazione delle rocce cristalline e metamorfiche. Trattasi di numerosi acquiferi, in genere secondari in quanto poco potenti, poco estesi e caratterizzati da permeabilità relativa da media a bassa, quindi al più di rilievo ai fini di talune utilizzazioni locali. Tali acquiferi sono caratterizzati da una circolazione idrica sotterranea freatica la cui superficie piezometrica assume andamenti che sembrano plagiare la morfologia superficiale e che si raccorda a migliaia di sorgenti, in genere molto piccole (portata in genere minore del litro al secondo), salvo rare eccezioni (Fig. 6 b) [Apollaro *et al.*, 2006; 2009 a, b].

Nel complesso è stato stimato che l'efflusso sorgivo medio annuo in Calabria sia pari a 340.000.000 m<sup>3</sup> [Regione Calabria, 2009]; su tale base, il 65% degli efflussi sorgivi sarebbe già utilizzato per scopi potabili e si dovrebbe concludere che il complesso degli efflussi sorgivi sia minore dei prelievi a solo uso potabile.

Tornando alla discretizzazione in complessi idrogeologici e alle unità fisiografiche, i primi due complessi idrogeologici, di natura carbonatica, dominano nel Pollino; i successivi due, sabbia e conglomerato e alluvioni, prevalgono nelle pianure (incluso le più ampie valli fluviali) mentre i complessi idrogeologici dei graniti e degli scisti, che includono gli affioramenti di rocce ignee e metamorfiche, costituiscono in prevalenza le restanti quattro unità fisiografiche. Aggregando

i complessi idrogeologici in classi di permeabilità, si ottengono cinque classi, le prime tre delle quali (permeabilità da media a molto alta) includono i sei principali acquiferi regionali, da nord a sud: Valle del Lao, Pollino, Piana di Sibari, Piana di S. Eufemia, Piana di Gioia Tauro, Reggio Calabria–Villa San Giovanni), tutti porosi ad eccezione di quello del Pollino, permeabile per fratturazione e carsismo (Fig. 6 b).



**Figura 6.** a) Carta dei principali complessi idrogeologici della Calabria. b) Carta delle permeabilità relative e delle principali sorgenti della Calabria. 1) Acquifero della valle del Lao, 2) acquifero del Pollino, 3) acquifero della piana di Sibari, 4) acquifero della piana di S. Eufemia, 5) acquifero della piana di Gioia Tauro, 6) acquifero di Reggio Calabria.

## 5. Gli effetti del degrado quantitativo e qualitativo della risorse idriche sotterranee

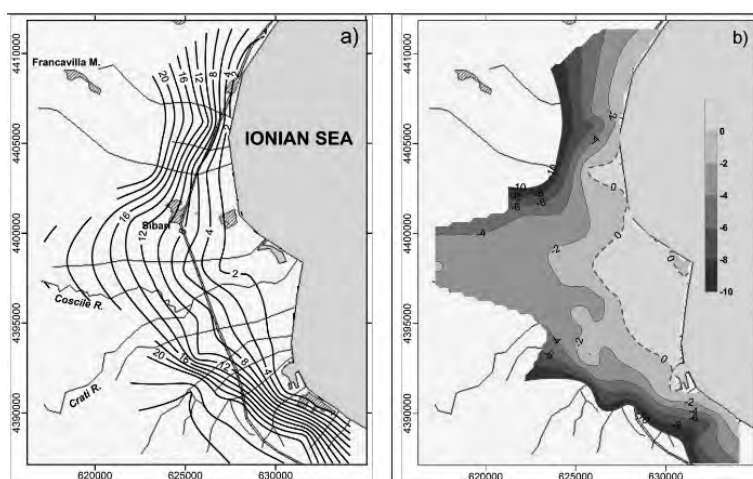
A partire dai primi anni del secolo scorso, l'utilizzazione delle acque sotterranee calabresi ha a via via interessato la quasi totalità delle sorgenti, non solo per soddisfare la domanda idrica ma anche per garantire la forza motrice a numerosissimi mulini e centrali idroelettriche, molte delle quali ancora in esercizio al momento della nazionalizzazione dell'energia elettrica, nel 1962 (il caso più eclatante è la

centrale realizzata nel 1929, tuttora esistente e che utilizza l'imponente Sorgente Mercure, afferente all'acquifero del Pollino).

Terminata la prima guerra mondiale, con l'avvio delle grandi trasformazioni fondiarie, le bonifiche delle pianure costiere e la realizzazione di opere per la mitigazione del rischio alluvionale, la popolazione iniziò a "scendere a valle", concentrandosi progressivamente nelle pianure costiere e nelle valli fluviali più ampie [Petrucci & Polemio, 2007]. Già nel 1939 si contavano alcune decine di pozzi profondi oltre 100 m negli acquiferi delle piane di Sibari, S. Eufemia e Gioia Tauro [Palluchini, 1939]. A partire dalla seconda metà del secolo scorso, le piane calabresi hanno subito profonde trasformazioni, ovvero sono stati modificati gli assetti colturali, i sistemi di drenaggio, la canalizzazione delle acque superficiali, il sistema viario e, nel complesso, il sistema socio-economico. Tutte queste trasformazioni sono state sostenute mediante crescenti prelievi di acque sotterranee, conseguiti mediante la perforazione di alcune decine di migliaia di pozzi. Si consideri che gli effetti della siccità si sono fatti sentire soprattutto nel settore agricolo e zootecnico: il 61% delle notizie di danni derivanti dalla siccità in Calabria hanno riguardato tali settori, nel periodo 1980–2006 [Polemio *et al.*, 2004]. Per le aziende agricole e zootecniche, diffuse sul territorio, la soluzione più semplice, se non l'unica, è stata spesso quella di realizzare propri pozzi. La limitata estensione di reti irrigue consortili, i problemi dell'irregolarità nei servizi di acquedotto e il susseguirsi di periodi siccitosi sempre più gravi, hanno ulteriormente sostenuto la tendenza a realizzare sistemi autonomi di irrigazione aziendale, mediante cospicui prelievi di acque sotterranee.

Già negli anni settanta nella regione si censivano ben oltre 6000 pozzi [Regione Calabria, 2009]. La crescita è proseguita senza sosta: si consideri che nella sola piana di Sibari si è passati, secondo le già citate stime, realisticamente approssimate per difetto stante il diffuso abusivismo, da circa 1000 a circa 6000 pozzi, numero censito nel 2000. Questo crescente sfruttamento della risorsa e le problematiche inerenti le variazioni climatiche, dovute al calo della piovosità efficace e quindi della ricarica degli acquiferi, espongono le risorse idriche sotterranee a crescenti rischi di degrado. Il caso della Piana di Sibari, in cui si concentrano una molteplicità di fenomeni naturali dai preoccupanti effetti antropici, in relazione alla subsidenza [Guerricchio e Melidoro, 1975; Pagliarulo *et al.*, 1995], alla siccità [Polemio *et al.*, 2004] e al rischio

alluvionale [Petrucci & Polemio, 2007], è emblematico anche per il degrado quantitativo. Assunto come riferimento l'andamento della superficie piezometrica dell'acquifero superficiale in condizioni sostanzialmente naturali, superficie tracciata utilizzando i dati rilevati nel corso degli anni trenta, in cui il livello di utilizzo dell'acquifero superficiale di Sibari era pressoché trascurabile, sono state determinate le variazioni piezometriche in diversi orizzonti temporali, in particolare al 1976 e al 2002 (Fig. 7 e Tab. 1) [Polemio *et al.*, 2004; Polemio *et al.*, 2007].



**Figura 7.** Superficie piezometrica in condizioni naturali (a), determinata mediante le misure piezometriche degli anni trenta, e variazioni piezometriche (b), ottenute mediante misure effettuate nel 2002, dell'acquifero superficiale di Sibari.

Già al 1976 si registravano cali piezometrici nel 91% dell'estensione dell'acquifero; l'altezza media del calo piezometrico in tutto l'acquifero è risultato pari a 6,9 m. Nel 2002 si è registrato un leggero miglioramento che comunque si è associato a un calo piezometrico medio per tutto l'acquifero di 5 m.

Il sovrasfruttamento degli acquiferi delle piane costiere espone tali acquiferi ai rischi di degrado qualitativo per intrusione marina [Troisi *et al.*, 1994].

L'intensa antropizzazione e utilizzazione per scopi produttivi, prevalentemente agricoli in termini di estensione ma caratterizzata dalla presenza diffusa di attività artigianali e industriali, unitamente alle

**Tabella 1.** Variazioni piezometriche al 1976 e al 2002 rispetto alla superficie piezometrica in condizioni naturali (dati degli anni trenta, Fig. 7). Dell'area complessivamente considerata (totale), si indica quella in cui sono state registrate variazioni positive (incrementi piezometrici) e negative. Per ciascuna delle tre aree (positiva, negativa e totale) si riporta l'altezza media della variazione, determinata spazialmente.

	Area (km <sup>2</sup> )			Variazione piezometrica (m)		
	Positiva	Negativa	Totale	Positiva	Negativa	Totale
1976	17.3	180.7	198.0	0.30	7.55	-6.87
2002	26.9	171.1	198.0	0.37	5.90	-5.04

criticità dei sistemi di trattamento e smaltimento dei reflui solidi e non, espone gli acquiferi delle pianure a ulteriori rischi di degrado qualitativo. Nel 1999 si segnalavano 15 casi di inquinamento delle acque sotterranee, in prevalenza dovuti a inquinanti inorganici e microbiologici; tra le fonti, rilevante il ruolo delle discariche dei rifiuti e dell'agricoltura, nel primo caso, e dei reflui civili e zootecnici, nel secondo [Giuliano *et al.*, 1999]. Operando una sintesi delle conoscenze acquisite, nel corso degli anni, con rilievi diretti, integrandole con quelle derivanti dal complesso delle fonti bibliografiche citate, si può schematizzare il rischio di degrado quali-quantitativo per i principali acquiferi calabresi (Tab. 2).

**Tabella 2.** Rischi di degrado quali-quantitativo dei principali acquiferi calabresi. (+) Tendenza all'incremento o al peggioramento.

Acquifero	Tipo	Sfruttamento	Intrusione M.	Inquinamento
Valle del Lao	Poroso costiero	Sostenibile	Tracce	A luoghi
Pollino	Fratturato carsico	Sostenibile	Assente	Assente
P. di Sibari	Poroso costiero	Elevato	Bassa (+)	Diffuso
P. di S. Eufemia	Poroso costiero	Elevato	Bassa (+)	Diffuso
P. di Gioia Tauro	Poroso costiero	Elevato	Bassa (+)	Diffuso
Reggio Calabria	Poroso costiero	Elevato	Elevata (+)	Diffuso

Ad eccezione dell'acquifero carbonatico del Pollino, che non presenta problematiche di sorta in relazione alla trascurabile antropizzazione del territorio, e dell'acquifero della Valle del Lao, che è solo moderatamente interessato da effetti di degrado, per quanto limitate siano le conoscenze disponibili per tale acquifero, i restanti presentano non trascurabili problematiche di sovrasfruttamento, di salinizzazione

e di inquinamento propriamente detto. Tra gli inquinanti più preoccupanti e diffusamente rinvenuti negli acquiferi costieri di Sibari, S. Eufemia, Gioia Tauro e Reggio Calabria, si segnalano manganese, fluoruro e ammonio, oltre a cloruri e solfati in concentrazioni elevate in relazione al fenomeno dell'intrusione marina. Elevata ma non particolarmente preoccupante (in relazione alle normative vigenti) è da ritenersi la presenza di nitrati.

## 6. Conclusioni

Le risorse idriche sotterranee costituiscono a scala globale la principale riserva idrica di acqua di buona qualità. Il loro volume è però soggetto a un modesto tasso di rinnovamento annuo, in relazione alle caratteristiche del ciclo idrologico. Tali circostanze non mutano significativamente passando dalla scala globale a quella regionale.

Focalizzando l'attenzione in particolare sulla Calabria, si deve prendere atto che le risorse idriche sotterranee sono soggette sia a prelievi crescenti sia a una tendenza decrescente della ricarica.

Per alcuni tra i principali acquiferi regionali, posti in corrispondenza di piane costiere, in cui si sono concentrate rilevanti trasformazioni socio-economiche, sono emersi effetti tangibili del degrado quantitativo, per sovrasfruttamento, e qualitativo, per inquinamento propriamente detto e per salinizzazione, fenomeno questo che tendenzialmente si accentuerà qualora perdurino le modalità attuali di utilizzazione delle acque sotterranee dolci.

Allo stesso tempo, le risorse idriche sotterranee della Calabria sono risultate di valore inestimabile in quanto l'ingente quantità, l'elevata qualità e la diffusa disponibilità, anche in assenza di reti di distribuzione adeguate, hanno finora permesso non solo il soddisfacimento della domanda potabile, sia pure con esiti controversi, ma anche lo sviluppo socio-economico delle comunità locali.

Il complesso delle conoscenze emerse, riassunte in questo contributo, segnala l'improrogabile necessità dell'avvio di una nuova gestione delle risorse idriche sotterranee calabresi che sia basata sulla rigorosa concettualizzazione idrogeologica degli acquiferi, ancora da conseguirsi per la gran parte degli acquiferi principali regionali, sull'accurata determinazione del bilancio idrologico, sulla stima complessiva dei



prelievi sostenibili, sulla progettazione accurata, validata da seri professionisti, della modalità di captazione, e, soprattutto, sulla definizione di criteri di gestione che siano studiati e validati, anche con simulazioni numeriche di scenari alternativi, a scala di acquifero.

## Bibliografia

- ALPERT P., KRICHAK S.O., SHAFIR H., HAIM D., OSETINSKY I., (2008), *Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean*, *Global and Planetary Change* 63, 163–170.
- AMODIO MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., PICCARETTA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN LORENZONI E., ZUPETTA A. (1976), *L'Arco Calabro–Peloritano nell'orogene Appenninico–Maghrebide*, in *Mem. Soc. Geol. It.*, 17, 1–60.
- APOLLARO, C., ACCORNERO, M., BLOISE, A., BIDDAU, R., DE ROSA, R., MARINI, L., POLEMIO, M., (2009a), *Hydrogeochemical characteristics of a stratified aquifer and groundwater quality degradation (Sila Massif, Italy)*, in TANIGUCHI, M., DAUSMAN, A., HOWARD, K., POLEMIO, M., and LAKSHMANAN, E., eds., *Sustainability of groundwater in highly stressed aquifers*, Volume 329: IAHS Publications, IAHS, p. 247–253.
- APOLLARO, C., ARTUSA, C., FRANCO, C., DE ROSA, R., POLEMIO, M., VIRGA, R., (2006), *Studio geochimico delle acque sorgive dei bacini del torrente Vaccuta e del fiume Abatemarco (Calabria nord–occidentale)*: *Italian journal of Engineering Geology and Environment*, p. 59–75.
- APOLLARO, C., BLOISE, A., DE ROSA, R., MARINI, L., MIRIELLO, D., MUTO, F., POLEMIO, M., (2009b), *Caratterizzazione idrogeochimica e qualità delle acque di un acquifero ospitato entro rocce metamorfiche nella Calabria nord occidentale*: *Giornale di Geologia Applicata (Engineering Hydro Environmental Geology)*, v. 12, p. 95–102.
- Boll. Soc. Geol. It.*, 98, 387–430.
- COTECCHIA, V., CASARANO, D., POLEMIO M., (2003), *Piovosità e siccità in Italia meridionale tra il 1821 ed il 2001*: *L'Acqua*, v. 2, p. 99–106.
- COTECCHIA V., POLEMIO M., (1997), *L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi*, in GUERRINI, A., ed., *VI Workshop del Progetto Strategico “Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno”*, Volume I: Taormina, Consiglio Nazionale delle Ricerche, p. 447–484.

- CULI, (2012), *Contributo alla conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche della piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria) — primi risultati*. Acque sotterranee, 127, 19–32.
- GHISETTI F., (1979), *Evoluzione neotettonica dei principali sistemi di faglie della Calabria centrale*.
- GIULIANO G. CARONE G., CORAZZA A., (1999), *Lo stato di contaminazione delle acque sotterranee utilizzate a scopo potabile in Italia*. Quaderni CNR–IRSA, III, Roma.
- GUERICCHIO A., MELIDORO G., (1975), *Ricerche di geologia applicata all'archeologia della città di Sibari sepolta*. Geologia Applicata e Idrologia, vol. X, p. I.
- IPCC, (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON S, QIN D, MANNING M, CHEN Z, MARQUIS M, AVERYT KB, TIGNOR M AND MILLER HL (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ISTAT, (2009), *Il sistema delle indagini sulle acque — Anno 1999*, Roma.
- ISTAT, (2012), *Giornata mondiale dell'acqua*, Le statistiche dell'Istat.
- LEEDEN F., TROISE F.L., TODD D. K., (1990), *The water encyclopedia*. Lewis Publishers, Chelsea, USA.
- OGNIBEN L., (1973), *Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni*, Geologica Romana, 12, 243–585.
- PAGLIARULO L., COTECCHIA F., COOP. M.R., CHERUBINI C. (1986), *Studio litostratigrafico e geotecnica della Piana di Sibari con riferimento all'evoluzione morfologica ed ambientale del sito archeologico*. Evoluzione dei litorali, problematiche relative al golfo di Taranto.
- PALLUCCHINI A., (1939). *Brevi notizie sulle acque sotterranee in Italia*. In: Comptes–rendus et rapports de la réunion de Washington, Vol. II, IAHS, no 26:1–30.
- PETRUCCI, O., POLEMIO, M., (2007), *Flood risk mitigation and anthropogenic modifications of a coastal plain in southern Italy: combined effects over the past 150 years*: Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 7, p. 361–373.
- POLEMIO M., CASARANO D., (2008), *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*, Geological Society, London, Special Publications, v.288, 39–51.

- POLEMIO, M., CASARANO, D., DRAGONE, V., (2007), *Trend termopluviometrico, siccità e disponibilità di acque sotterranee in Italia meridionale*, in CARLI, B., CAVARRETTA, G., COLACINO, M., and FUZZI, S., eds., *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR*: Roma, CNR, p. 585–588.
- POLEMIO, M., DRAGONE, V., LIMONI, P.P., (2009), *Monitoring and methods to analyse the groundwater quality degradation risk in coastal karstic aquifers (Apulia, Southern Italy)*: *Environmental Geology*, v. 58, p. 299–312.
- POLEMIO, M., LUISE, G., (2007), *Conceptual and numerical model of groundwater flow for a coastal plain (Piana di Sibari, Southern Italy)*, in RIBEIRO, L., CHAMBEL, A., AND CONDESSO DE MELO, M.T., eds., *Groundwater and Ecosystems*.
- POLEMIO, M., PETRUCCI, O., GATTO, L., (2004), *Suscettività alla siccità in Calabria ed effetti sulle acque sotterranee*: *Atti dei Convegni Lincei*, v. 204, p. 245–250.
- Regione Calabria, (2009), *Piano di tutela delle acque*.
- ROMANAZZI, A., POLEMIO, M., (2013), *Modelling of coastal karst aquifers for management support: Study of Salento (Apulia, Italy)*: *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, v. 13, p. 65–83.
- TORTORICI L., (1982), *Lineamenti geologico strutturali dell'Arco Calabro-Peloritano*, *Rend. Soc. It. Min. Petr.*, 38, 927–940.
- TROISI S., COSCARELLI R., STRAFACE S., (1994), *Sea water intrusion in the coastal aquifer of Reggio Calabria: Guidelines for management*, *Atti del convegno 13° SWIM, Villasimius, Cagliari*, 5–10 Giugno, 189–197.

Maurizio Polemio, Vittoria Dragone, Andrea Romanazzi

CNR-IRPI

Bari

m.polemio@ba.irpi.cnr.it-v.dragone@ba.irpi.cnr.it-a.romanazzi@ba.irpi.cnr.it