

Il territorio della Valdelsa e le sue acque:  
verso una conoscenza integrata  
per la tutela delle risorse idriche



# **IL TERRITORIO DELLA VALDELSA E LE SUE ACQUE: VERSO UNA CONOSCENZA INTEGRATA PER LA TUTELA DELLE RISORSE IDRICHE**

a cura di  
Paolo Peruzzi e Francesco Mantelli



Firenze, giugno 2003

Il territorio della Valdelsa e le sue acque:  
verso una conoscenza integrata delle risorse idriche

A cura di

Francesco Mantelli, ARPAT

Paolo Peruzzi, Acque S.p.A.

Le tabelle, i grafici e le immagini presenti nella pubblicazione, se non indicato diversamente, provengono da lavori, pubblicazioni ed esperienze professionali e personali degli Autori

© ARPAT 2003

Coordinamento editoriale: Silvia Agiolucci, ARPAT

Redazione: Gabriele Rossi, ARPAT

Referenze iconografiche: Francesco Mantelli, ARPAT

Realizzazione editoriale: Litografia I.P., Firenze, giugno 2003

## PRESENTAZIONE

Il 2003 è stato proclamato dalle Nazioni Unite *Anno Internazionale dell'Acqua dolce*.

Varie iniziative si sono svolte e si stanno svolgendo su questo tema: nel marzo si è svolto a Kyoto il *Terzo Forum Mondiale dell'Acqua*, mentre a Firenze, negli stessi giorni, si è svolto il *Primo Forum Mondiale alternativo dell'Acqua*: diversi modi di affrontare il tema della disponibilità dell'acqua per gli esseri umani, un tema su cui da tempo i vari organismi nazionali e internazionali hanno posto la loro attenzione.

Purtroppo, dalla I conferenza mondiale dell'acqua (Mar de la Plata, 1977) e, successivamente, con la proclamazione da parte delle Nazioni Unite del decennio internazionale dell'acqua potabile e del risanamento (1981 – 1990), che aveva come scopo quello di garantire a tutti gli esseri umani la disponibilità di acqua sana entro il 2000, ad oggi si sono raggiunti solo parzialmente gli obiettivi che la comunità internazionale aveva fissato.

Attualmente, con stime forse per difetto, 1 miliardo e 400 milioni di persone al mondo non hanno accesso all'acqua e 80 paesi, con popolazione pari al 40% di quella mondiale, si trovano in stato di penuria (meno di 2,7 litri di acqua al giorno per persona).

Fra le varie cause si possono ricordare:

- diffuso aggravamento dell'inquinamento;
- disuguaglianza nella ripartizione delle risorse idriche;
- progressivi fenomeni di siccità imputabili ad attività umana, ma anche a fenomeni naturali;
- crescita demografica;
- cattiva gestione delle risorse disponibili (perdite di acquedotti, invasi senza manutenzione, abbandono di risorse tradizionali).

Nello scenario mondiale osserviamo notevoli difficoltà nel raggiungere gli obiettivi fissati e nel definire “politiche” adeguate per la produzione ed il governo della risorsa. Non vi sono certezze che i percorsi intrapresi da molte nazioni producano il risultato di fornire acqua di buona qualità a una parte progressivamente crescente della popolazione mondiale, anche se con l'allestimento di imponenti opere idrauliche e infrastrutturali (costruzioni di grandi dighe) e il conferimento a grandi gruppi della gestione generale delle acque si è tentato, in alcune parti del pianeta, di dare una risposta alla grave carenza di acqua, peraltro con alterni risultati pratici.

Questo libro, partendo da una realtà locale, cerca di fornire una serie di conoscenze di base per far comprendere quanta complessità ci sia dietro “l'acqua potabile”; evidenzia, inoltre, come la tipologia delle acque sia spesso strettamente legata alla peculiarità del territorio, sia in relazione ai suoi aspetti geo-morfologici, sia alle diverse attività umane ivi presenti, e come tali presenze possano influire in senso negativo (con gli inquinamenti) o positivo (con la conservazione e protezione delle risorse idriche).

E' auspicabile che in futuro si scrivano altri libri sul tema dell'acqua, perché questa è una risorsa che potrà essere resa disponibile e di migliore qualità alle generazioni future solo

attraverso una crescente conoscenza trasversale a tutti i livelli della popolazione, con la partecipazione democratica alla cultura e alla gestione di una risorsa che non può essere considerata solamente una merce, ma un diritto, un bene comune, per ogni abitante della Terra.

*Alessandro Lippi*  
*Direttore generale ARPAT*

*Marco Mazzoni*  
*Settore tecnico Promozione e produzione*  
*delle attività e dei servizi*

## INTRODUZIONE

Nell'anno internazionale dell'acqua, una pubblicazione sull'acqua rischia di essere uno dei tanti libri, un evento un po' rituale o dettato da esigenze di "immagine".

In realtà, il libro di Paolo Peruzzi, responsabile del Laboratorio Chimico di Acque S.p.A., e di Francesco Mantelli, del Dipartimento provinciale ARPAT di Firenze, non ha un carattere occasionale: è nato infatti ben prima del 2003, frutto di esperienze ed indagini sul "campo", di conoscenze acquisite durante un lungo arco di tempo nell'ambito del lavoro svolto dagli autori.

Quando, all'inizio del 2002, ci è stato proposto di dare un piccolo contributo per la sua pubblicazione, abbiamo accettato con convinzione. Credo che il libro possa costituire uno strumento utile di diffusione delle conoscenze e di crescita di quella "cultura dell'acqua" che oggi è questione cruciale della nostra epoca. Il libro riesce a parlarci di questo tema, oggi al centro dell'attenzione dell'opinione pubblica, di enti, istituzioni, associazioni e movimenti a livello nazionale ed internazionale, legandolo alla concreta realtà di un territorio importante della nostra Regione, come quello della Valdelsa.

Affronta infatti con una impostazione prevalentemente divulgativa i temi delle acque in natura, delle acque potabili, sia per quanto riguarda la parte legislativa che i processi di trattamento. Segue poi una parte sul Territorio della Valdelsa (clima, piogge litologia nelle loro interrelazioni con le acque naturali) ed infine sul sistema acquedottistico della Valdelsa.

Credo, infine, che il libro sia una buona testimonianza del patrimonio di conoscenze e competenze che si nasconde nel mondo delle aziende pubbliche locali, spesso non adeguatamente apprezzato, ma che consente quotidianamente di usufruire dei servizi indispensabili per la nostra vita.

*Fausto Valtriani*  
*Presidente del C.d.A. di Acque S.p.A.*





INTRODUZIONE	pag.	11
IL CICLO DELLE ACQUE E IL LORO IMPIEGO	“	13
Il ciclo delle acque	“	13
Impiego delle acque	“	15
CHE COSA È L'ACQUA POTABILE	“	19
Parametri organolettici	“	22
Parametri chimico-fisici	“	23
Parametri concernenti sostanze indesiderabili	“	24
Parametri concernenti sostanze indesiderabili e tossiche	“	30
VERSO L'ENTRATA IN VIGORE DEL D.LGS. 2 FEBBRAIO 2001, N. 31	“	36
Parametri microbiologici	“	40
ALCUNI ASPETTI PARTICOLARI DELLE ACQUE	“	45
La durezza	“	45
L'amianto nelle acque	“	48
I PROCESSI DI POTABILIZZAZIONE	“	52
IL TERRITORIO E IL CLIMA DELLA VALDELSA	“	61
Caratteristiche chimiche delle piogge in Valdelsa	“	66
La rete idrografica e l'Ambito Territoriale Ottimale	“	71
La litologia del territorio della Valdelsa e la sua influenza sulla tipologia delle acque	“	73
GEOLOGIA DELLA VALDELSA - LINEE GENERALI	“	75
I processi di formazione delle acque in Valdelsa	“	78
GLI ACQUIFERI DI ALCUNI COMUNI DELLA VALDELSA	“	84
Castelfiorentino	“	84
Certaldo	“	85
Gambassi Terme	“	86
Montaione	“	87

LE ACQUE DELLA VALDELSA	“	88
Le acque superficiali	“	88
ACQUE TERMALI IN VALDELSA	“	94
L'ACQUA POTABILE IN VALDELSA - LA QUALITÀ E GLI IMPIANTI	“	98
Le acque sotterranee	“	98
Acquedotto di Castelfiorentino	“	100
Acquedotto di Certaldo	“	104
Acquedotto di Gambassi Terme	“	107
Acquedotto di Montaione	“	109
Acquedotto di Poggibonsi	“	113
Acquedotto di San Gimignano	“	118
Acquedotto di Casole d'Elsa	“	120
BIBLIOGRAFIA	“	122

## INTRODUZIONE

*L'accesso all'acqua è una delle più grandi sfide del nuovo millennio*

(Gordon Young, coordinatore all'Unesco del programma mondiale sull'acqua, 2002)

Nella comune vita di relazione, accade talvolta di parlare di acqua: troppo stretta alla nostra vita quotidiana è questa materia. Spesso, sembra che non vi sia molta informazione su tale argomento. Ciò può essere dovuto alla difficoltà intrinseca di trattare un tema complesso o ad altre motivazioni su cui non è il caso di soffermarsi.

L'idea di scrivere un libro sulle acque, focalizzando lo sguardo sulla Valdelsa, nasce dal desiderio di fornire un contributo, sempre modesto ed incompleto rispetto ai compiti che sarebbe necessario assolvere, alla diffusione della cultura dell'acqua. Anche se il lavoro è principalmente strutturato sulle tematiche inerenti le acque di acquedotto, non dovrebbe sfuggire il tentativo che si è fatto di considerare l'acqua come qualcosa di unico, strettamente legato nelle sue varie fasi: dalla pioggia che alimenta le falde sotterranee, laghi e fiumi, fino alla restituzione all'ambiente delle acque usate.

È certamente l'acqua distribuita dagli acquedotti quella su cui si è cercato di fornire le maggiori informazioni, perché "l'acqua da bere", oltre che sempre più scarsa a livello planetario, è quella su cui principalmente si stanno scatenando sia gli appetiti di coloro che la vorrebbero impiegare (e talora la impiegano) a fini speculativi (fatto ricorrente in alcune regioni del nostro paese), sia di chi cerca di denigrare questa risorsa per spingere verso un più diffuso impiego delle acque minerali.

Il libro è scritto, per quanto possibile, a carattere divulgativo, ma in molti paragrafi troveremo formule e reazioni chimiche: ci scusiamo di questi appesantimenti, tuttavia la natura è scritta in termini matematici e resta molto difficile rinunciare a questi strumenti.

La complessità del tema acque, anche relativo ad una piccola area come la Valdelsa, avrebbe richiesto una maggiore estensione e approfondimento degli argomenti trattati: se ci sarà questa necessità e le conseguenti richieste, cercheremo di fornire il nostro contributo.

Fino da ora, chi è desideroso di ricevere maggiori dettagli su vari argomenti può fare riferimento agli autori.



## IL CICLO DELLE ACQUE E IL LORO IMPIEGO

L'immagine che il nostro pianeta invia nello spazio è per la maggior parte caratterizzata da una colorazione che tende all'azzurro più o meno intenso: è l'acqua degli oceani che determina la prevalenza di questo colore. Riflettere su questa realtà permette di comprendere facilmente il ruolo essenziale svolto dall'acqua sulla Terra.

La quantità di acqua complessivamente presente sul nostro pianeta, nei diversi stati fisici (vapore, liquido e solido), stimabile in un volume di circa 1.4 miliardi di Km<sup>3</sup>, è per la maggior parte contenuta negli oceani e nei mari, con una quota pari al 97.2 % del totale; la frazione rimanente è così distribuita: il 2.1 % nei ghiacciai, lo 0.6 % nel sottosuolo, lo 0.01 % nei laghi e nei fiumi ed infine una quantità ancora inferiore, lo 0.001 %, si trova nell'atmosfera (Figura 1).

Le variazioni meteorologiche stagionali, ma anche quelle a più ampio respiro, non influenzano la quantità totale di acqua ma la sua ripartizione tra le varie frazioni: si hanno così aumenti o diminuzione dei ghiacciai e del livello dei mari, periodi siccitosi o piovosi.

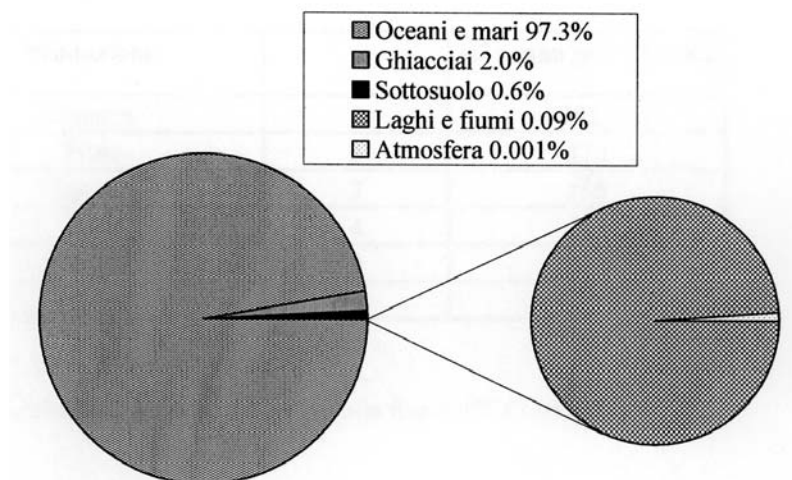


Figura 1 *Distribuzione dell'acqua sulla Terra*

### **Il ciclo delle acque**

La maggior parte dell'acqua esistente sulla Terra è quasi sempre in movimento e in trasformazione tra le sue fasi: è un processo naturale continuo, definito "ciclo idrologico", regolato dall'energia solare. Il sole agisce sull'acqua contenuta negli oceani, nei mari, nei laghi e nei fiumi, facendola evaporare; anche le piante, funzionando come vere e proprie pompe aspiranti alimentate dalla stessa fonte energetica, prelevano ingenti volumi di acqua dai primi strati del suolo. Una grande quantità di acqua, sotto forma di vapore, è trasferita

nell'atmosfera, dove le correnti d'aria la diffondono e la trasportano in ogni direzione. La successiva variazione di stato che interviene, la condensazione, è il passo seguente del ciclo: si originano minutissime goccioline o piccoli cristalli di ghiaccio che portano poi alla formazione di nubi. Le precipitazioni atmosferiche, pioggia, neve, grandine, rugiada e brina che ne derivano, consentono, dopo un tempo variabile, il ritorno dell'acqua a terra. Nel caso dei fenomeni meteorici che interessano direttamente il mare, i laghi e i fiumi, ma anche i ghiacciai, il ciclo è terminato, mentre se essi avvengono sul suolo, le vicende sono molto più complesse; in queste circostanze si osserva che in parte l'acqua penetra nel sottosuolo, in parte scorre sul terreno prima di raggiungere i corsi d'acqua, naturali o artificiali, che consentono il ritorno al mare. L'acqua che penetra nel terreno va in gran parte ad alimentare le risorse idriche del sottosuolo: si formano così le falde che in pratica costituiscono veri e propri depositi sotterranei. Generalmente l'acqua scende in profondità nel terreno per poi scorrere, come se fosse un fiume, attraverso gli strati sabbiosi e ghiaiosi o nelle fratture naturali delle rocce che determinano, a seconda della loro permeabilità, la velocità del flusso. Esistono varie definizioni delle falde in base al tipo di alimentazione e al movimento dell'acqua (freatica, artesia, a fughe, freatica sospesa); esse possono essere in stretta relazione con il corpo idrico superficiale: cioè cedere o ricevere acqua in modo diretto. L'acqua contenuta nella falda può rimanervi per tempi lunghissimi (acque "fossili" delle zone desertiche) o tornare in superficie in vario modo: per collegamento sotterraneo diretto con un corpo idrico superficiale cui la falda è tributaria, attraverso sorgenti naturali e, infine, tramite pozzi. In quest'ultimo caso l'acqua non rientra immediatamente nel naturale ciclo idrologico, ma lo fa soltanto al termine di quello imposto dall'attività umana: sia il prelievo che l'uso possono avere effetti negativi sull'ambiente, ad esempio uno sfruttamento troppo intenso può causare il depauperamento della risorsa, mentre la restituzione di acqua "sporca" può determinare effetti pesanti sul corpo idrico che la riceve.



*Figura 2 Estrazione di acqua fossile da un pozzo profondo nel Sahara libico. Acque di questo tipo sono da considerarsi "risorse in esaurimento", cioè non rinnovabili.*

Mentre l'acqua del mare contiene una grande quantità di sali (intorno a 35 grammi per litro) in gran parte formati da cloruro di sodio, quella presente nell'atmosfera ne ha un contenuto ridottissimo. Poiché le due acque sono contigue nel ciclo idrologico, perché questa differenza? L'energia solare, oltre ad essere il motore del ciclo, con il processo di evaporazione rende minimo il passaggio in atmosfera dei sali. Qual'è allora l'origine dei sali nelle acque? L'acqua di pioggia, poverissima di sali ed aggressiva per l'azione dovuta all'anidride carbonica in essa contenuta, scioglie piccoli quantitativi dei minerali costituenti le rocce o presenti nel suolo: si origina così un'acqua la cui composizione è in stretta relazione con il terreno che ha attraversato. Le sostanze disciolte non sono altro che i componenti naturali dei terreni (quando non sono presenti sostanze rilasciate in seguito all'attività umana); la loro concentrazione (quantità per litro), essendo funzione di molte variabili, oscilla tra alcuni ordini di grandezza, da microgrammi fino a grammi per litro. Tra i minerali più comuni che vengono disciolti si ricorda il carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ , costituente dei marmi e delle rocce calcaree), il carbonato di calcio e magnesio ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , il minerale di cui sono formate le rocce delle Dolomiti), il cloruro di sodio ( $\text{NaCl}$ , il comune sale da cucina), il solfato di calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , il gesso).

### ***Impiego delle acque***

I componenti di un'acqua, determinandone le caratteristiche di qualità, hanno molta importanza per poter stabilire o meno la sua utilizzazione, ad esempio per fini potabili, irrigui, industriali e altri. Nelle acque naturali queste caratteristiche sono il risultato dei processi fisici e delle reazioni chimiche che hanno agito sull'acqua a partire dal momento in cui essa si condensa in atmosfera.

Non è possibile dare una definizione generale della qualità di un'acqua per uso industriale senza conoscere il processo produttivo che la richiede: ad esempio, può essere necessaria addirittura acqua distillata. Per l'agricoltura, in genere, il contenuto salino dovrebbe essere basso per evitare l'accumulo di sali sul terreno, mentre spesso sono benvenuti i cosiddetti elementi nutritivi (fosforo, potassio e alcune sostanze azotate). Anche per gli approvvigionamenti idropotabili si cerca di utilizzare preferibilmente un'acqua con un modesto contenuto salino, perciò le principali fonti impiegate per questo scopo non possono che essere quelle costituite da acqua dolce: in particolare i depositi sotterranei (attraverso sorgenti naturali o pozzi), e la risorsa superficiale (laghi e fiumi). In realtà anche acque salmastre possono essere rese idonee al consumo umano mediante tecniche di trattamento, costose e abbastanza complesse (osmosi inversa e altre). In genere si ricorre ad esse soltanto in situazioni particolari, ad esempio quando la risorsa di acqua dolce è particolarmente carente e nei casi in cui l'alto costo di produzione richiesto da queste tecniche non costituisce un problema.

Solo una quota inferiore all'uno per cento di acqua disponibile sulla Terra, in pratica una parte delle acque dolci (sotterranee e superficiali), è facilmente utilizzabile e possiede le caratteristiche richieste, cioè una bassa salinità, per essere facilmente trasformata in acqua potabile. Ciò non significa tuttavia che ne sia possibile l'uso diretto, cioè senza alcun tipo di trattamento: la disponibilità di acqua potabile in natura, cosa che ha soddisfatto nel tempo molte popolazioni, può oggi essere definita *“una realtà in via di estinzione”*.

Una delle ragioni di tale depauperamento è da ricercare nell'incremento della domanda, che è determinato sia dall'aumento della quantità consumata da ciascun essere umano che dall'entità della popolazione servita. In generale, possiamo facilmente constatare che i consumi di acqua per le varie attività umane sono progressivamente aumentati durante il corso della storia: i pochi litri necessari ogni giorno ad una persona per scopo domestico durante le prime civiltà umane sono stati sostituiti da ingenti volumi, decine, centinaia e migliaia di metri cubi, richiesti dall'industria e dall'agricoltura intensiva.

La disponibilità di acqua dolce si sta progressivamente riducendo: se nel 1950 vi erano 17.000 metri cubi pro capite, dopo mezzo secolo la disponibilità è meno della metà. Aumenta anche la disparità per un razionale utilizzo: oggi il consumo medio del Nord America è di 1700 metri cubi/anno, quello di un africano di 250.

Le figure successive (Figure 3 e 4) sono estremamente significative in proposito.

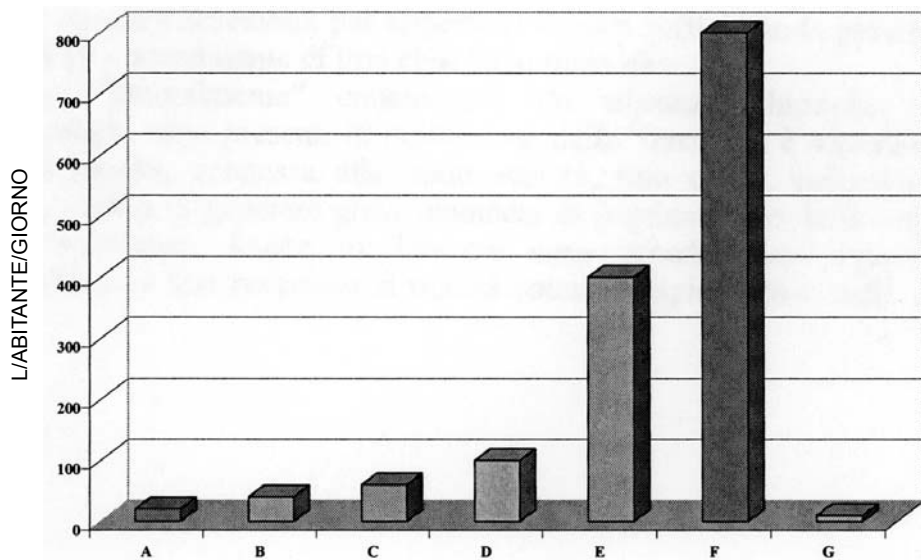
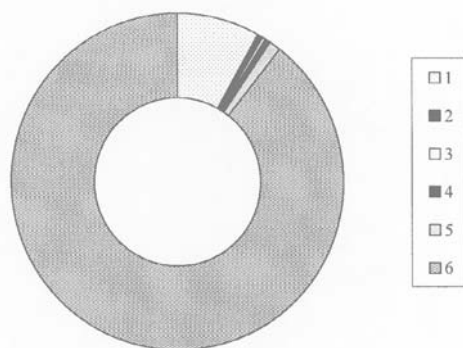


Figura 3 *Consumi di acqua nelle varie epoche storiche*

A) epoca romana; B) 1800: centri minori; C) 1800: centri maggiori; D) 1900: inizio secolo; E) tempi attuali: paesi industrializzati - minimo; F) tempi attuali: paesi industrializzati - massimo; G) paesi in zone aride.





Produzione		m <sup>3</sup> acqua per 1000 Kg
Gomma	1	2857
Filati	2	170
Acciaio	3	150
Carta	4	145
Cereali	5	450
Carne	6	31500

Figura 4 *Consumi industriali e agricoli di acqua alla fine del XX° secolo.*

Sul versante della qualità, la possibilità di disporre di acqua potabile in natura è ancora più remota: per impedirne l'uso è sufficiente la presenza di un qualsiasi contaminante di tipo chimico o biologico.

Acque "naturalmente" contaminate da sostanze chimiche o da microrganismi sono presenti in molte zone della Terra, ma è soprattutto la presenza umana, connessa alle varie attività di tipo civile, industriale ed agricolo, capace di generare gravi fenomeni di inquinamento delle acque in molte circostanze. Anche in Toscana si sono verificati vari episodi di inquinamento: a tale proposito si riporta come esempio il caso delle acque sotterranee nella zona nord-ovest di Firenze, contaminate ormai da alcuni decenni da elevate quantità di solventi organici sintetici (triellina, tetracloroetilene e altri composti poco biodegradabili, tanto che possono permanere per decenni nelle falde). Queste acque sono state per la maggior parte abbandonate per l'uso potabile, oppure impiegate a questo scopo in piccola parte e solo attraverso costosi processi di trattamento.

Si può arrivare al punto di affermare che le risorse idriche utilizzabili a scopo potabile dovrebbero essere considerate preziose come il petrolio. A differenza di questo, le riserve acquifere si ricostruiscono in tempi più rapidi ma, in molte circostanze, non sufficienti a soddisfare i crescenti bisogni dell'umanità. L'aumento demografico e il progressivo inquinamento, che può rendere inutilizzabili acque per decenni o per secoli, fanno ipotizzare per il

prossimo futuro uno scenario preoccupante: attualmente non solo non si individua un'inversione di tendenza per il mantenimento e la tutela della risorsa acqua ma anzi, secondo gli esperti del Pacific Institute di Oakland (USA), la disponibilità di acqua procapite, presente in natura e già adatta all'uso potabile con trattamenti di tipo semplice, si ridurrà notevolmente entro il 2025. Nella maggior parte dei casi è necessario adottare adeguati processi di potabilizzazione talvolta molto complessi.

Le acque sotterranee sono in genere di qualità migliore rispetto a quelle superficiali e, di conseguenza, necessitano di processi di trattamento più semplici. Tuttavia, in certe zone l'emungimento, quantitativamente più intenso della ricarica, ha progressivamente prosciugato le falde più superficiali. Si deve pertanto attingere alle falde profonde che, frequentemente, contengono acque di qualità più scadente per presenza, fra l'altro, di idrogeno solforato, ammonio, ferro, sali disciolti in quantità elevata. In particolare, l'elevato contenuto salino rende critico, o comunque non conveniente, l'impiego di queste acque ai fini della potabilizzazione.

I problemi di quantità e di qualità relativi all'impiego di acque sotterranee hanno indirizzato verso l'uso di risorse superficiali grazie anche alla messa a punto di efficaci tecniche di potabilizzazione. Le acque superficiali, per la loro maggiore esposizione ad episodi di inquinamento, richiedono processi di trattamento ben progettati, dotati cioè della complessità e varietà di interventi che tengano conto di tutti i possibili rischi; infine è indispensabile una gestione molto specializzata. Da un punto di vista economico la conseguenza è ovvia: in genere, un metro cubo di acqua potabile prodotta da una fonte superficiale è più costosa di quella proveniente dal sottosuolo.



*Figura 5 Le acque superficiali, anche quelle localizzate in aree remote, sono sempre esposte a rischi di inquinamento. Esse richiedono pertanto processi di trattamento ben progettati, dotati cioè della complessità e varietà di interventi che tengano conto di tutti i possibili rischi*

## CHE COSA È L'ACQUA POTABILE

*Primo e secondo principio delle acque potabili*

*1°: se un'acqua appare sporca (torbidità ben osservabile ad occhio nudo, presenza di colore, odore sgradevole, presenza di particelle in sospensione ed altre alterazioni organolettiche), sicuramente non possiede le caratteristiche dell'acqua potabile.*

*2°: se un'acqua appare pulita (limpida, inodore ed incolore), non si può affermare che sia potabile: è indispensabile effettuare analisi chimiche e microbiologiche. L'acqua potabile in natura è una risorsa molto rara*

L'acqua presente in natura, dal punto di vista chimico, non è una sostanza pura ma una soluzione in cui sono disciolte alcune sostanze, prevalentemente costituite da sali, ma anche da composti di natura complessa, in quantità molto variabili. L'acqua di fusione dei ghiacciai ha un contenuto di pochi milligrammi per litro (mg/L), quella marina raggiunge invece valori intorno a circa 35 grammi per litro (g/L), infine le acque di bacini idrici particolari (laghi salini) ne contengono quantità molto più elevate. Ad esempio, l'acqua del mar Morto contiene una quantità di sali quasi dieci volte superiore a quella degli oceani, intorno a 340 grammi per litro. La variazione del contenuto dei sali nelle acque naturali copre, dunque, cinque o sei ordini di grandezza. L'acqua potabile si colloca all'interno di questo intervallo e, per poter essere utilizzata, deve avere un contenuto di sali disciolti compreso fra un limite inferiore non previsto che può essere indicato in alcune decine di mg/L fino a quello superiore, che stabilisce la normativa in 1500 mg/L; inoltre non devono essere presenti né microrganismi patogeni, né sostanze tossiche. La normativa nazionale che stabilisce i criteri per la qualità dell'acqua potabile è il Decreto del Presidente della Repubblica (D.P.R.) n° 236 del 24 maggio 1988 *Attuazione della Direttiva CEE n° 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano* a cui recentemente è stato affiancato il Decreto legislativo del n° 31 del 2 febbraio 2001 *Attuazione della Direttiva CE n° 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano*, che entrerà in vigore il 25 dicembre 2003.

Cosa si intende per qualità con questi decreti? Per molte sostanze che possiamo riscontrare nelle acque, è stata stabilita una quantità per litro che non può essere superata: è un valore *limite*, una concentrazione al di sopra della quale l'acqua non risulta più idonea e non può essere ammessa al consumo umano. La qualità dell'acqua viene definita da 61 parametri che sono stati raggruppati in cinque diverse categorie: si hanno così i parametri organolettici e chimico-fisici, le sostanze indesiderabili e quelle tossiche ed infine gli indicatori microbiologici. In realtà molte sostanze, a seconda della loro concentrazione, presentano effetti e caratteristiche che vanno oltre il gruppo entro cui sono state classificate: ad esempio alcune tra quelle definite come *sostanze chimico-fisiche ed indesiderabili* hanno influenza sulle caratteristiche organolettiche, altre possono essere addirittura dotate di una certa tossi-

cià e, se presenti in quantità eccessiva, possono causare problemi di carattere igienico-sanitario. Le rispettive concentrazioni limite sono state individuate, in genere, tenendo conto di alcuni fattori, deducibili dalla natura delle singole sostanze o da un gruppo di esse, quali la tossicità, acuta e cronica, la capacità di conferire all'acqua proprietà organolettiche particolari, gli effetti tecnologici sulle linee di trasporto ecc.

Nella Tabella 1 sono stati riportati tutti i parametri previsti dal D.P.R. n° 236/88 con le rispettive *Concentrazioni Massime Ammissibili* (C.M.A.), ove previste, e alcune note esemplificative.

Tabella 1 *Parametri, unità di misura e relative Concentrazioni Massime Ammissibili che definiscono i requisiti di potabilità delle acque potabili (dall'allegato 1 D.P.R. 236/88).*

n°	Parametro	Unità di misura	CMA	Note
<i>Organolettici</i>				
1	Colore	mg/L scala (Pt/Co)	20	
2	Torbidità	NTU	4	
3	Odore	tasso diluizione	2 a 12 °C 3 a 25 °C	Da confrontare con le determinazioni gustative
4	Sapore	tasso diluizione	2 a 12 °C 3 a 12 °C	Da confrontare con le determinazioni olfattive
<i>Chimico-fisici</i>				
5	Temperatura	°C	25	
6	Attività ione idrogeno	pH	$6.0 \leq \text{pH} \leq 9.5$	L'acqua non dovrebbe essere aggressiva
7	Conducibilità	$\mu\text{S cm a } 25^\circ\text{C}$	-	
8	Cloruri	mg/L Cl	-	È opportuno non superare 200 mg/L
9	Solfati	mg/L $\text{SO}_4$	250	
10	Silice	mg/L $\text{SiO}_2$	-	Per memoria
11	Calcio	mg/L Ca	-	
12	Magnesio	mg/L Mg	50	
13	Sodio	mg/L Na	175 150	conformità 90% su 3 anni conformità 80% su 3 anni
14	Potassio	mg/L K	-	
15	Alluminio	$\mu\text{g/L Al}$	200	
16	Durezza	°F	-	valori consigliati $15 \div 50$ °F
17	Residuo fisso	mg/L (180°C)	1500	
18	Ossigeno disciolto	% saturazione	-	
19	Anidride carbonica libera	mg/L $\text{CO}_2$	-	L'acqua non dovrebbe essere aggressiva

*Sostanze indesiderabili*

20	Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	50	
21	Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	0.1	
22	Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	0.5	
23	Azoto Kjeldhal	mg/L N	1	
24	Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	5	
25	Carbonio organico	µg/L C	-	Per memoria
26	Acido solfidrico	µg/L H <sub>2</sub> S	-	Non rilevabile organoletticamente
27	Sostanze estraibili in CHCl <sub>3</sub>	mg/L	-	
28	Idrocarburi	µg/L	10	
29	Fenoli	µg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0.5	
30	Boro	µg/L B	-	
31	Tensioattivi			
	- anionici	µg/L MBAS	200	
	- non ionici	µg/L nonilfenolo	-	Per memoria
32	Composti organoalogenati	µg/L	30	
33	Ferro	µg/L Fe	200	
34	Manganese	µg/L Mn	50	
35	Rame	µg/L Cu	1000	
36	Zinco	µg/L Zn	3000	
37	Fosforo	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5000	
38	Fluoro	µg/L F	1500 - 700	Secondo la temperatura media dell'aria
39	Cobalto	µg/L Co	-	Per memoria
40	Materie in sospensione	Assenza	-	
41	Cloro residuo libero	mg/L	-	Se necessario all'utenza 0.2 mg/L
42	Bario	µg/L Ba	-	
43	Argento	µg/L Ag	10	

*Sostanze tossiche*

44	Arsenico	µg/L As	50	
45	Berillio	µg/L Be	-	Per memoria
46	Cadmio	µg/L Cd	5	
47	Cianuri	µg/L CN	50	
48	Cromo	µg/L Cr	50	
49	Mercurio	µg/L Hg	1	
50	Nichel	µg/L Ni	50	
51	Piombo	µg/L Pb	50	
52	Antimonio	µg/L Sb	10	
53	Selenio	µg/L Se	10	
54	Vanadio	µg/L V	50 <sup>(1)</sup>	

55	Antiparassitari e prodotti assimilabili:			Le sostanze considerate sono:
	per componente separato	µg/L	0.1	Insetticidi organoclorurati
	in totale	µg/L	0.5	Insetticidi organofosforati
				Carbammati
				Erbicidi
				Fungicidi
				PCB e PCT
56	Policiclici aromatici	µg/L	0.2	Sostanze di riferimento:
				Fluorantene
				Benzo 3,4 fluorantene
				Benzo 11,12 fluorantene
				Benzo 3,4 pirene
				Benzo 1,12 perilene
				Indeno (1,2,3 - cd) pirene
<i>Microbiologici</i>				
57	Coliformi totali	n°/ 100 mL	0	
58	Coliformi fecali	n°/ 100 mL	0	
59	Streptococchi fecali	n°/ 100 mL	0	
60	Spore clostridi s.r.	n°/ 100 mL	0	
61	Colonie su agar			
	36°C	n°/ 1 mL	-	
	22°C	n°/ 1 mL	-	

<sup>(1)</sup> La C.M.A. per il vanadio (50 µg/L) è stata introdotta con il Decreto del Ministero della Sanità del 10 novembre 1999 (G. U. n. 277 del 25.11.1999).

## Parametri organolettici

I parametri compresi in questo gruppo (colore, torbidità, odore e sapore) definiscono le caratteristiche organolettiche dell'acqua.

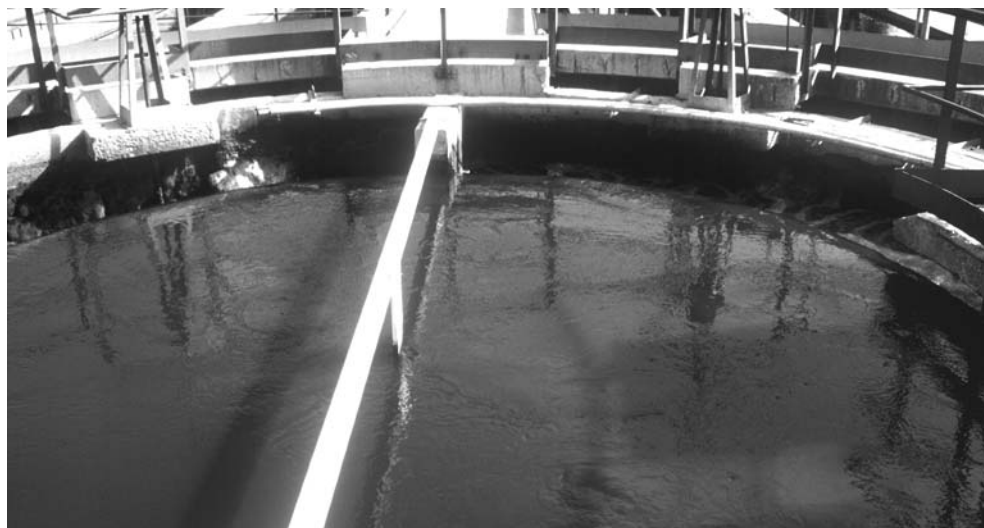
L'odore e il sapore, a causa del modo in cui sono "valutati", per via olfattiva e gustativa, possono dare risultati diversi in funzione della sensibilità del gruppo di operatori.

Il colore è determinato per comparazione visiva con una serie di soluzioni di confronto ad ognuna delle quali è assegnato un valore convenzionale fino a formare una scala.

Per torbidità si intende la riduzione della trasparenza dovuta alle sostanze in sospensione ed è misurata con un apparecchio detto torbidimetro. Nel caso di acque provenienti dal sottosuolo contenenti ferro e manganese, capaci di formare particelle solide in seguito al contatto con l'aria, la torbidità è ovviamente in stretta correlazione con queste sostanze. Nelle acque superficiali invece essa è dovuta principalmente a particelle colloidali di materiale argilloso, spesso contenente sostanze organiche che, data la loro natura, devono essere viste con un certo sospetto, sia perché sono un ottimo supporto per lo sviluppo dei batteri, sia perché possono veicolare sostanze tossiche. In ogni caso la torbidità influenza direttamente la qualità dell'acqua potabile con un immediato impatto sull'utilizzatore.

## ***Parametri chimico-fisici***

I componenti principali di un'acqua potabile, la loro natura e concentrazione, sono funzione della tipologia di quella utilizzata come approvvigionamento: generalmente la loro presenza è a livello di milligrammi per litro ed è in relazione alla "storia" dell'acqua, cioè alla tipologia del terreno attraversato, in superficie e in profondità, e al tempo di contatto in quel mezzo. Molti di questi componenti sono compresi nei parametri definiti "chimico-fisici". Si tratta di specie chimiche quali calcio, magnesio, sodio, potassio, cloruri, solfati e silice (oltre ai bicarbonati e carbonati non previsti dal D.P.R. n° 236/88), che devono la loro origine alla solubilizzazione e all'alterazione di una serie di minerali contenuti nel terreno e nelle rocce quali anfiboli, calcare, calcite, dolomite, argille, feldspati, gesso, magnesite, miche ecc. Molte delle specie chimiche presenti nelle acque si trovano sotto forma di ioni positivi (cationi) e negativi (anioni): l'acqua potabile è quindi una soluzione di cationi (calcio, sodio, etc.) e anioni (solfato, cloruro ecc.) in concentrazione ottimale. Tuttavia i componenti principali, la cui presenza è necessaria e indispensabile, possono essere fonte di rischi sanitari o conferire all'acqua proprietà organolettiche non adeguate. Tra le sostanze che presentano un valore limite (Concentrazione Massima Ammissibile), si ricorda che il sodio, da un punto di vista sanitario, può essere messo in relazione all'ipertensione arteriosa e alle malattie ad essa collegate, mentre il magnesio e il solfato, quando sono contemporaneamente presenti in quantità elevate, manifestano proprietà purgative. Una nota particolare deve essere fatta per l'alluminio, la cui presenza nelle acque potabili, più che a cause naturali, è generalmente dovuta al trattamento di potabilizzazione essendo questo elemento un componente base di agenti impiegati nel processo di chiarificazione.



*Figura 6 Vasca per il processo di chiarificazione di un'acqua superficiale in un impianto di potabilizzazione. E' questa la fase in cui viene aggiunta una soluzione di policloruro di alluminio e carbone attivo: si formano flocculi di idrossido di alluminio che trascinano in basso le sospensioni argillose, mentre il carbone attivo rimuove la sostanza organica*

La conducibilità elettrica, il residuo fisso e la durezza sono parametri generali strettamente relazionati, in parte o in toto, ai singoli componenti prima illustrati: cioè sono le concentrazioni del sodio, del calcio, del magnesio ecc. che determinano la conducibilità elettrica, il residuo fisso e la durezza.

La temperatura, nel caso di acque sotterranee, è un indicatore interessante per quanto riguarda la protezione dall'ambiente esterno: in pratica se essa corrisponde a quella dell'aria, calcolata come media annuale, e mostra nel corso dell'anno minime oscillazioni, possiamo ritenere che la risorsa sia abbastanza profonda e abbia un buon grado di protezione. In realtà la protezione è connessa non solo alla profondità ma anche alle caratteristiche litologiche del sistema dove la falda è localizzata; si pensi ad esempio agli acquiferi carsici dove un'inquinante può arrivare molto rapidamente anche a notevoli profondità per l'elevata permeabilità del sistema. Le acque sotterranee della Valdelsa presentano temperature comprese fra 15 e 20 °C. I 22 °C che si misurano alla sorgente del fiume Elsa denotano già un fenomeno legato al termalismo. Le acque che circolano nei sistemi montuosi toscani (Appennini e Alpi Apuane) presentano temperature notevolmente più basse (da 5 a 12 °C).

### ***Parametri concernenti sostanze indesiderabili***

Le "sostanze indesiderabili" possono essere presenti nell'acqua per cause naturali o in seguito all'attività umana. Nel primo caso il ferro e il manganese costituiscono i più conosciuti esempi di cessioni dovute a particolari minerali presenti nel suolo; altre specie chimiche comprese in questo gruppo sono invece introdotte nell'acqua prevalentemente da fenomeni di inquinamento di origine antropica: è il caso dei derivati azotati, dei tensioattivi, degli idrocarburi. Fra le sostanze indesiderabili dell'allegato 1 D.P.R. n° 236/88 vi sono anche i composti organoalogenati: la relativa classificazione appare superata, in quanto sono noti gli effetti tossici della trielina e di altri composti simili. Non a caso nel successivo D. Lgs. n° 31/01 per la trielina è previsto un valore limite più basso di quello attuale (da 30 µg/L a 10 µg/L).

Le sostanze indesiderabili in genere sono ritenute di scarsa tossicità ma risultano in grado di creare inconvenienti di vario tipo: dal peggioramento delle caratteristiche organolettiche (ad esempio, il ferro e il manganese determinano torbidità e alterano il colore e il sapore, l'idrogeno solforato conferisce un odore sgradevole) a problemi più importanti di carattere igienico-sanitario, che riguardano le sostanze azotate e i composti organoalogenati.

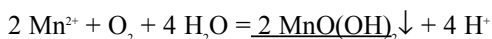
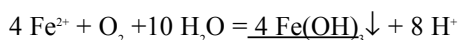
Le acque sotterranee sono generalmente povere di ossigeno e alcune delle sostanze presenti assumono, da un punto di vista chimico, la forma denominata "ridotta": è questo il caso del ferro e del manganese. Questi due metalli quando si trovano in forma ridotta, il ferro come ione "ferroso" ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e il manganese come ione "manganoso" ( $\text{Mn}^{2+}$ ), assumono uno stato chimico che li rende molto solubili in acqua. Quindi, un'acqua sotterranea che contiene ferro in concentrazioni di appena  $0.3 \div 0.4$  mg/L, di solito limpida ed inodore appena viene in superficie, si trasforma in breve tempo (da pochi minuti a qualche ora) in una soluzione torbida e giallastra dall'aspetto poco invitante. Cosa è accaduto? Il ferro presente in quell'acqua, a contatto con l'ossigeno atmosferico, tende a passare nella sua forma ossidata,



ferro “ferrico” ( $\text{Fe}^{3+}$ ), che è pochissimo solubile al valore di pH tipico delle acque sotterranee: si ha così la formazione di particelle solide, fiocchi giallo-rossastri prevalentemente costituiti da idrossido ferrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Un’acqua di questo tipo non è a rischio da un punto di vista igienico - sanitario per chi la utilizza, ma possiede un sapore metallico, può dare luogo a fenomeni di deposizione lungo le tubature e infine può lasciare una traccia anche indelebile sui tessuti durante il lavaggio (macchie di ruggine).

Il manganese ha un comportamento analogo perché precipita come ossido idrato  $\text{MnO}(\text{OH})_2$ . In acque contenenti questo elemento, si possono verificare depositi nerastri, incrostazione delle tubazioni, sapori sgradevoli.

Le reazioni chimiche di ossidazione e precipitazione degli ioni ferroso e manganoso possono essere così descritte:



Ferro e manganese sono due metalli che si ritrovano con una certa frequenza nelle acque sotterranee localizzate in alcune zone della provincia di Firenze, in particolare nel basso e medio Valdarno e in Valdelsa. Essi sono comunque facilmente eliminabili con collaudate tecniche di trattamento, come vedremo meglio in seguito.

Un’altra sostanza la cui presenza può alterare le caratteristiche di qualità dell’acqua potabile è un gas facilmente riconoscibile per il caratteristico odore di uova guaste: l’acido solfidrico (o idrogeno solforato,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Questo composto era ritenuto un tempo un indice di contaminazione delle acque da sostanze organiche perché in certi casi si origina dalla trasformazione dello zolfo presente nelle proteine: queste ultime a loro volta sono contenute nelle deiezioni umani e animali e quindi negli scarichi fognari. In realtà l’acido solfidrico è ritenuto a torto un indice di scarsa qualità dell’acqua potabile: infatti ci sono molte acque sotterranee che lo contengono e risultano assolutamente pure da un punto di vista microbiologico. Ricordiamo che in Islanda, la comune acqua di rubinetto di alcuni quartieri di Reykjavik ha di frequente l’odore caratteristico dell’acido solfidrico: infatti in quell’isola alcune acque sotterranee utilizzate a scopo potabile sono in relazione con quelle termali, spesso sulfuree, di cui è ricco quel territorio. Pur essendo noto da molti secoli l’impiego terapeutico delle acque sulfuree anche come bevande, la normativa sulle acque potabili prevede che l’acido solfidrico non sia presente per vari motivi: l’utente, avvertendo un generico odore sgradevole dell’acqua, può pensare ad un fenomeno di inquinamento piuttosto che alle proprietà terapeutiche delle acque sulfuree; inoltre, queste acque non possono essere utilizzate da persone con ipersensibilità verso i prodotti solforati, infine per l’acidità dell’idrogeno solforato si possono verificare fenomeni di corrosione nelle condotte di distribuzione dell’acquedotto. Tale sostanza può essere facilmente eliminata nel trattamento di potabilizzazione, già per semplice ossigenazione o aerazione.

Fra le sostanze indesiderabili sono compresi gli ioni ammonio, nitrito e nitrato, specie chimiche contenenti azoto e tra loro in stretta relazione. L’azoto, il cui nome deriva dal greco

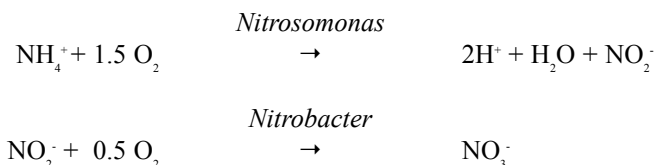
*azoos* che significa “assenza di vita”, in natura si trova principalmente nell’atmosfera che ci circonda sotto forma di gas inerte; nonostante il nome, esso ha una grande importanza nelle funzioni vitali di ogni organismo vivente, essendo, insieme al carbonio, all’idrogeno e all’ossigeno, un componente delle proteine.

Queste differenti forme di azoto in realtà sono strettamente interconnesse, insieme a tutte le specie viventi, animali e vegetali, nel cosiddetto “ciclo dell’azoto”: gli organismi viventi prelevano, utilizzano e quindi immettono nell’ambiente le sostanze azotate. Ciò avviene sia durante tutto il corso della vita, attraverso l’emissione dei prodotti di rifiuto, sia al termine dell’esistenza, mediante la decomposizione della struttura vivente.

Si tratta sempre di processi biochimici di trasformazione di sostanze complesse in composti progressivamente più semplici (metabolizzazione). In una qualsiasi fase di questo processo, i fenomeni di dilavamento e infiltrazione, oltre all’immissione diretta di reflui, possono trasferire nelle acque naturali, sia superficiali che sotterranee, una frazione importante di questi derivati azotati. Il prodotto principale della metabolizzazione dei composti azotati è lo ione ammonio.

Il processo di trasformazione non si ferma a questa sostanza: nelle acque, in presenza di ossigeno e sotto l’azione di batteri, lo ione ammonio, chimicamente allo “stato ridotto”, è convertito in nitrito e nitrato, composti allo “stato ossidato”. In particolare il primo ione è prodotto dalle reazioni metaboliche dei batteri nitrosanti (*Nitrosomonas*), poi in successione, tramite i batteri nitrificanti (*Nitrobacter*), l’attività di ossidazione porta alla formazione di ione nitrato. Questo meccanismo, unito ai processi di ossidazione e demolizione delle sostanze contenenti carbonio, fa parte di ciò che è definito il “potere autodepurante” di un corso d’acqua.

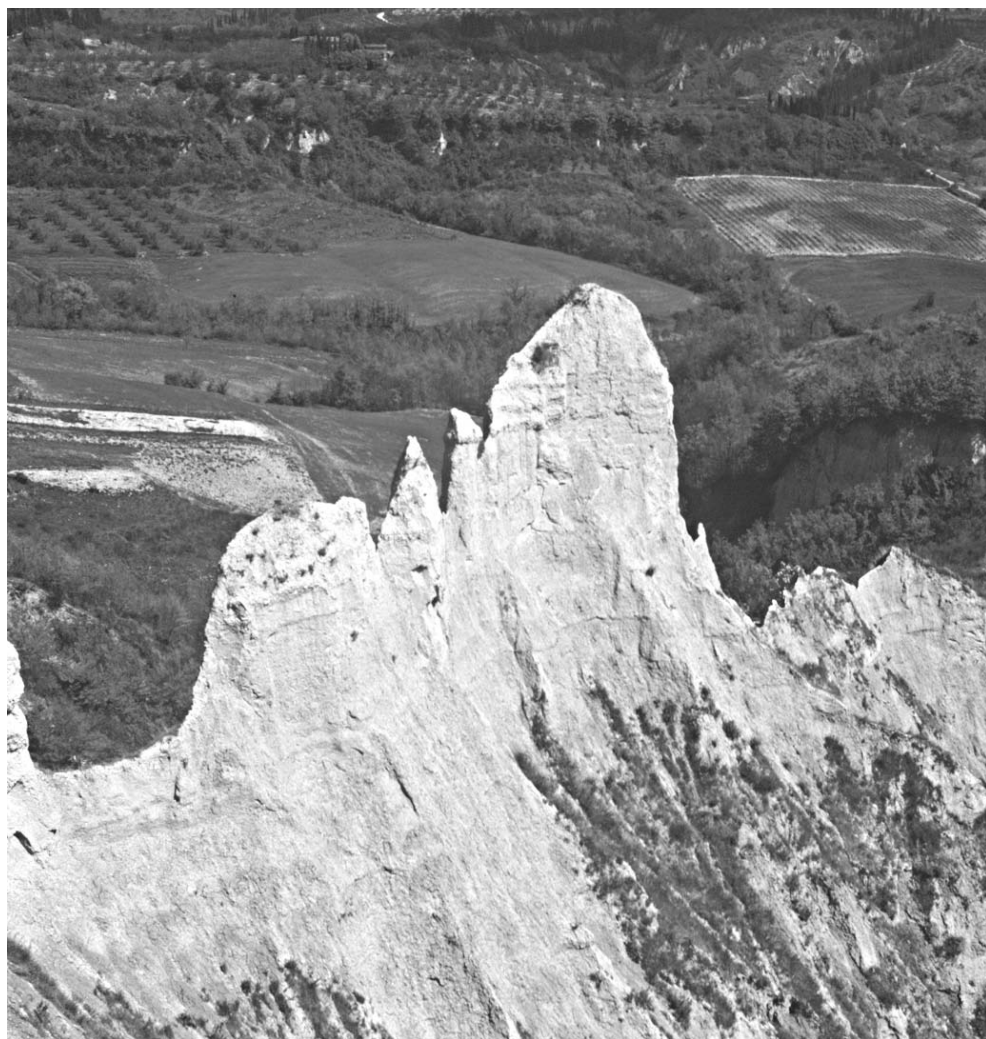
Le reazioni chimiche di trasformazione delle sostanze azotate procedono secondo lo schema:



La specie intermedia, lo ione nitrito, può formarsi anche dalla reazione inversa: ciò significa che esso si ottiene partendo dalle due diverse specie chimiche, ammonio e nitrato, ma in condizioni ambientali opposte. Nel primo caso c’è una presenza di ossigeno disciolto, nel secondo l’ambiente è del tutto anossico (assenza di ossigeno disciolto). I batteri che vivono in queste condizioni, in presenza e in assenza di ossigeno disciolto, sono detti facoltativi.

Un’altra causa della presenza dell’ammonio e dei nitrati nelle acque è quella imputabile all’attività agricola, essendo queste due specie azotate componenti essenziali dei fertilizzanti naturali (letame) o sintetici. Dopo lo spargimento sul terreno essi sono dilavati dalle piogge e trasferiti nelle acque superficiali o infiltrati in quelle sotterranee. Nelle acque, in base alle condizioni ambientali generali, i processi di trasformazione prima descritti possono far evolvere ora verso l’una, ora verso l’altra specie.

Comunque, la principale causa della presenza dell'ammonio nelle acque, in particolare in quelle superficiali o in quelle sotterranee non protette, è imputabile agli scarichi non depurati. In questo caso l'ammonio può essere usato come indicatore di una contaminazione essendo direttamente correlabile ai parametri microbiologici: i risultati delle relative analisi saranno pertanto non favorevoli con la conferma di questo inquinamento. È soprattutto per questa correlazione che il D.P.R. n° 236/88 ha stabilito, per l'ammonio, il valore di 0.5 mg/L, come limite di concentrazione nelle acque potabili.



*Figura 7 Terreni argillosi nei dintorni di Certaldo. Le acque sotterranee provenienti da queste zone contengono spesso ammonio in quantità elevate per fenomeni naturali*

Il discorso su questo ione è comunque piuttosto articolato essendo questa specie chimica una sostanza priva di tossicità, tanto che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e la legislazione vigente in alcune nazioni (ad esempio il Canada) non ne fissano alcun limite nelle acque potabili. Inoltre, la presenza dell'ammonio nelle acque sotterranee, in alcune circostanze, è detta "geologica", ossia ancora legata alla decomposizione di materia organica sepolta nei sedimenti e in via di fossilizzazione (resti di piante, presenza di torbe ecc.). In questo caso, nonostante l'ammonio possa raggiungere concentrazioni assai elevate, per esempio anche e oltre 10 mg/L, le acque sono spesso pure da un punto di vista microbiologico e potrebbero essere considerate sicuramente potabili, a patto che non ci siano significative alterazioni di altri parametri.

Il D.P.R. n° 236/88 inserisce lo ione ammonio fra le sostanze indesiderabili e non fra quelle tossiche: infatti esso si sviluppa naturalmente anche nel corpo dell'uomo, in seguito al metabolismo proteico, in quantità molto superiore (dell'ordine di qualche grammo) a quella eventualmente ingerita con l'acqua (la cui quantità è al massimo qualche milligrammo ogni litro ingerito). È ormai accertato che quando si effettua la chiusura di un acquedotto per presenza di ione ammonio in concentrazione superiore al limite massimo di 0.5 mg/L, ovviamente in assenza di contaminazione microbiologica, si creano generalmente più danni alla popolazione servita di quelli che potrebbero verificarsi con l'utilizzo di quella stessa acqua, pur "inquinata dall'ammonio".

Una certa quantità di ione nitrito in concentrazione significativa indica l'inadeguatezza del trattamento di potabilizzazione oppure che possono essere in atto processi di riduzione: in ogni caso il contenuto di ossigeno o di ossidante è insufficiente, conseguentemente l'acqua è vulnerabile da parte dei microrganismi. Inoltre i nitriti, come tali, sono responsabili di malattie per l'uomo: venendo assorbiti dall'intestino, si legano all'emoglobina per formare metaemoglobina, proteina inadatta al trasporto dell'ossigeno; l'insufficiente ossigenazione dell'organismo può provocare una cianosi a volte fatale. Per queste considerazioni il limite previsto dal D.P.R. n° 236/88 non può che essere basso: infatti la concentrazione massima ammissibile è stabilita in 0.1 mg/L. Come riportato più in dettaglio all'inizio del capitolo successivo, il D. Lgs. n° 31/01 considera gli effetti negativi sulla salute da parte dello ione nitrito valutando anche la contemporanea presenza del nitrato.

Per quanto riguarda la presenza dei nitrati nelle acque potabili il limite di 50 mg/L può addirittura apparire troppo permissivo: l'O.M.S. indica infatti un valore inferiore (25 mg/L) per l'acqua destinata alla alimentazione dei lattanti. Nella prima infanzia, ma anche nelle persone anziane, esiste la possibilità che la flora batterica intestinale riduca facilmente i nitrati a nitriti con le conseguenze sopra indicate.

Dal punto di vista della potabilizzazione esistono comunque, per tutte queste specie azotate, trattamenti più o meno complessi, anche tecnologicamente avanzati, basati su principi chimici o biologici che permettono di ridurre la loro concentrazione fino a giungere alla totale eliminazione.

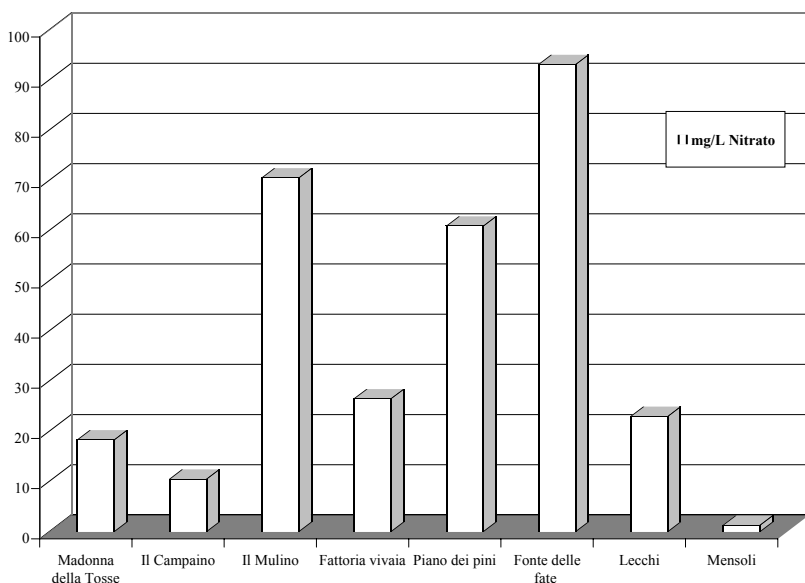


Figura 8 *Contenuto in nitrati di alcune acque di sorgente in Valdelsa (acque non captate ai fini acquedottistici, ma di impiego saltuario, nonostante il divieto d'uso). Le elevate concentrazioni di nitrato indicano una scarsa protezione della risorsa e infiltrazione prevalentemente da fertilizzanti distribuiti nei campi. Il valore limite per le acque potabili è 50 mg/L.*

La presenza di sostanze organiche nelle acque è riconducibile a fenomeni di inquinamento o a cause naturali: nel primo caso il riferimento è a singoli composti oppure a categorie ben definite, mentre nel secondo caso si tratta di composti organici naturali di origine vegetale, costituiti da complesse macromolecole, conosciute con il termine “sostanze umiche” (acidi umici e fulvici). Alcune acque superficiali, pur essendo limpidissime, presentano una colorazione giallo-rossa proprio per la presenza di queste sostanze. Sono le acque superficiali quelle più interessate da carbonio organico di origine naturale, più raramente si riscontrano valori degni di interesse nelle acque sotterranee: comunque, in genere, l'ordine di grandezza è di alcuni milligrammi per litro.

Non ci sono informazioni sufficienti sulla loro eventuale tossicità, tuttavia esse costituiscono un ottimo supporto per una crescita batterica, e in seguito al trattamento delle acque con alcuni ossidanti (composti del cloro) ai fini della disinfezione possono dare luogo a sottoprodotti di reazione non desiderati, i più noti dei quali sono gli aloformi (cloroformio, bromoformio ecc.). È quindi importante valutare sia il contenuto di queste sostanze che l'efficacia dei trattamenti messi in atto per operare una loro riduzione: per questo si ricorre ai parametri quali “ossidabilità” e “carbonio organico totale” (TOC). Il primo parametro è una misura “storica” ormai superata e sostituita da quella che determina il carbonio organico

totale che, oltre ad essere una misura diretta, è anche estremamente riproducibile ed affidabile essendo ottenuta per via strumentale, in condizioni standardizzate. Comunque per il TOC, nell'allegato 1 del D.P.R. 236/88, e anche nel D. Lgs. 31/01, non è indicato alcun valore limite.

### ***Parametri concernenti sostanze indesiderabili e tossiche***

In questo gruppo sono compresi singoli elementi, come alcuni metalli (cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, vanadio e antimonio), non metalli (arsenico e selenio), altre sostanze come cianuri e molecole più complesse, idrocarburi policiclici aromatici e antiparassitari, e sostanze assimilate. La soglia di concentrazione massima consentita nelle acque potabili per queste sostanze è molto bassa, generalmente dell'ordine dei microgrammi per litro ( $\mu\text{g/L}$ ), se non addirittura dei nanogrammi per litro ( $\text{ng/L}$ ).

Per quanto riguarda le sostanze dotate di tossicità, il valore limite è calcolato prendendo come base di riferimento la quantità giornaliera di esposizione, espressa in g/Kg di peso corporeo, che non ha causato alcun effetto sulle cavie, che viene moltiplicata prima per un fattore di riduzione, almeno 0.01, poi per uno di sicurezza, che tiene conto degli altri veicoli che possono introdurre nel nostro organismo la sostanza, di solito non superiore a 0.1. Si ottiene così la quantità tollerabile giornaliera per Kg corporeo che è almeno mille volte inferiore al numero di partenza. Il limite di concentrazione da assegnare all'acqua viene così individuato considerando una persona di 70 Kg e associandogli un consumo di due litri di acqua ogni giorno. I limiti che ne derivano sono spesso molto cautelativi perché, nel caso in cui, non ci si accorga del superamento dei limiti, non ci devono essere conseguenze di nessun tipo per gli utilizzatori, naturalmente ciò vale per un limitato periodo di tempo.

Evidentemente più una sostanza è tossica, più basso sarà il suo valore limite: dall'osservazione delle concentrazioni massime ammissibili si può intuire la diversa pericolosità di ogni sostanza e comprendere che sono sufficienti quantità estremamente basse per rendere un'acqua non idonea all'uso potabile. Ad esempio, cinque grammi di cadmio possono contaminare una quantità di acqua pari a 1000 m<sup>3</sup>.

I metalli (cadmio, cromo, piombo, nichel e altri) ed elementi di natura non metallica (arsenico, selenio ecc.) dotati di tossicità, sono spesso indicati congiuntamente e talvolta impropriamente come *metalli pesanti*. Essi sono diffusi in modo eterogeneo nella crosta terrestre, principalmente concentrati nei filoni minerari e anche come costituenti accessori di alcune rocce. In natura essi si trovano sotto forma di composti pochissimo solubili (ossidi, solfuri, carbonati ecc.), così che le acque circolanti nel sottosuolo e in superficie risultano contaminate solo raramente da queste sostanze.

I metalli tossici rilasciati nell'ambiente dalle attività umane non sono sempre in forma così innocua. Sono ormai entrati nella storia recente i gravi fenomeni di inquinamento a causa dell'abbandono sconsiderato di reflui contaminati da queste sostanze nell'ambiente: possiamo ricordare il caso legato al mercurio avvenuto nella Baia di Minamata in Giappone nella seconda metà degli anni '50. Questo metallo, usato in alcuni processi chimici per la produzione di materie plastiche, fu riversato in quantità massiccia nel mare determinando una gravissima contaminazione dell'ecosistema per la sua caratteristica di accumularsi negli

organismi: dopo aver inquinato le acque e i sedimenti, il mercurio viene prima assorbito dalle specie viventi minori, poi dai pesci (aumento progressivo della sua concentrazione nei tessuti) e infine dall'uomo; le vittime furono oltre cento, tra morti e gravemente colpiti. Si sono verificati anche casi di avvelenamento da piombo ma, a differenza delle altre sostanze, i rari episodi possono essere dovuti alla cessione di questo metallo dalle condutture di adduzione di acqua potabile, specialmente quelle di vecchia costruzione quando era stato impiegato piombo nella loro fabbricazione.

La qualità dell'acqua, quando presenta caratteristiche aggressive, può determinare fenomeni chimico-fisici che causano l'incremento della concentrazione del piombo: un'acqua a basso contenuto salino, oppure con un elevato contenuto di ioni cloruro, può aggredire chimicamente le tubazioni facendo passare in soluzione il piombo sotto forma di ioni  $Pb^{2+}$ ; invece, un'acqua ad elevato grado di durezza può dare luogo alla formazione di uno strato protettivo lungo la tubazione per precipitazione di carbonato di calcio, inoltre la presenza di solfati e carbonati, che con il piombo possono formare prodotti poco solubili quali il solfato ( $PbSO_4$ ) e il carbonato ( $PbCO_3$ ), riducono la cessione di questo metallo.

Il trattamento di potabilizzazione per la rimozione di elementi tossici disciolti è comunque possibile: si tratta di tecniche abbastanza complesse e costose (scambio ionico, adsorbimento, osmosi inversa).

I metalli pesanti costituiscono solo l'inizio di una lunga serie di sostanze che possono contaminare le acque: fra queste i composti organici occupano un posto di rilievo. I problemi sono legati alla diffusione, non solo dei prodotti conosciuti, ma spesso di molecole "nuove", generalmente dalle proprietà tossicologiche sconosciute e dal destino incerto quando sono immesse nell'ambiente: talvolta esse non si degradano, oppure impiegano tempi lunghissimi per decomporsi, proprio perché "sconosciute" ai batteri, permanendo a lungo inalterate nel suolo, nell'acqua e nell'aria. Qualsiasi loro elenco non può che essere incompleto, perciò faremo soltanto un breve riferimento ai contaminanti organici previsti dalla normativa e che più frequentemente si possono riscontrare nelle acque.

### **Composti organoalogenati**

Queste sostanze potrebbero venire meglio distinte in *solventi organoalogenati* e *aloforimi*, in quanto i primi sono prevalentemente imputabili a contaminazione indotta dall'attività umana, mentre i secondi sono legati ai processi di disinfezione. Una distinzione in questo senso è comunque operata dal D. Lgs. 31/01, che stabilisce anche differenti valori limite.

Tra i *solventi organoalogenati*, quelli di maggiore interesse sono la trielina (la formula chimica è  $CHCl_3$ ) e il tetracloroetilene ( $CCl_2CCl_2$ ); queste sostanze trovano o hanno trovato largo impiego nelle lavanderie e nell'industria e la loro diffusione è ormai ubiquitaria. Nelle acque si possono incontrare anche altri solventi, come per esempio 1, 2 dicloropropano ( $CH_2Cl-CHCl-CH_3$ ) ed il metilcloroformio ( $CH_3-CCl_3$ ), usati comunemente per lo sgrassaggio dei pezzi meccanici. Queste sostanze sono fonte di rischi molto più elevati per le acque del sottosuolo piuttosto che per quelle superficiali: i solventi alogenati abbandonati o scaricati senza alcuna precauzione, a causa delle loro caratteristiche chimiche e fisiche (bassa solubilità in acqua, densità superiore all'acqua, scarsa biodegradabilità) penetrano in profondità nel terreno inquinando le acque con cui vengono a contatto; queste, muovendosi

nel sottosuolo come veri e propri fiumi, possono trasportare a distanza questi contaminanti pregiudicando volumi molto grandi di risorsa per tempi lunghissimi.

Difficile e lentissima è la depurazione naturale delle acque sotterranee contaminate da queste sostanze.

Fra gli *aloformi* il più noto è il cloroformio,  $\text{CHCl}_3$ , seguito dal diclorobromometano,  $\text{CHBrCl}_2$ , dal dibromoclorometano,  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  e infine dal bromoformio,  $\text{CHBr}_3$ . La loro presenza nelle acque potabili non è imputabile a cause ambientali ma ai processi di potabilizzazione per reazione chimica del cloro o dell'ipoclorito, utilizzati come disinfettanti, con le sostanze umiche, composti organici naturali di origine vegetale.

Diversamente da ciò che accade per i solventi alogenati, le acque più a rischio per la formazione degli aloformi sono quelle superficiali. La quantità massima di questi contaminanti, compresi anche i solventi organici alogenati, è stabilita dal D.P.R. n° 236/88: il valore limite, inteso come somma dei componenti, è 30  $\mu\text{g/L}$ .

Dal punto di vista del trattamento di potabilizzazione la migliore strategia verso gli aloformi consiste nella prevenzione, cioè ridurre il più possibile la loro formazione durante il trattamento: ad esempio non utilizzare cloro o ipoclorito (o almeno limitarne la quantità), scegliendo altre sostanze disinfettanti come il biossido di cloro e l'ozono.

### **Antiparassitari e prodotti assimilabili**

Il D.P.R. n° 236/88 intende con questa dizione gli insetticidi (distinti tra organoclorurati, organofosforati e carbammati), gli erbicidi, i fungicidi, che sono tutte sostanze utilizzate in agricoltura, ed un'altra classe di composti, i policlorobifenili (PCB) e i policloroterfenili (PCT), di uso industriale essendo impiegati come lubrificanti, dielettrici, ininfiammabili ecc.

Nonostante le differenti caratteristiche (struttura chimica, stato fisico e modo di azione), il diverso grado di tossicità, di persistenza e di bioaccumulazione nell'ambiente e negli esseri viventi dei vari composti, per la loro presenza in acque potabili è stato stabilito un limite identico per ogni singola sostanza: 0.1  $\mu\text{g/L}$ ; per la quantità totale, intesa come somma dei componenti, il valore è 0.5  $\mu\text{g/L}$ .

L'impiego su scala massiccia di queste sostanze iniziò verso la metà del '900, quando furono scoperte le caratteristiche insetticide del DDT (dicloro-difenil-tricloroetano, un composto organoclorurato). All'epoca, l'uso di questa sostanza, oltre ad incrementare i raccolti agricoli per l'azione efficace contro i parassiti, permise di eliminare in estese aree moltissime malattie, quali la malaria, la febbre gialla e il tifo, distruggendo gli insetti portatori; ciò procurò notorietà alla sostanza, elogi e premi allo scopritore delle proprietà del DDT. Solo in seguito furono individuate le caratteristiche negative del prodotto: fu riscontrata una sorta di immunità degli insetti, che con il passare del tempo si sviluppava sempre di più facendo aumentare le specie resistenti, e successivamente gli effetti indesiderati sugli animali superiori. Ciò condusse, da un lato, alla scoperta e produzione di altri insetticidi, dall'altro presero il via, per valutare i rischi dell'uso di queste sostanze, numerose indagini e ricerche. Queste ultime ne dimostrarono anche gli effetti tossici, la persistenza nel tempo e la diffusione su tutto il pianeta, la bioaccumulazione e le interferenze sulla catena alimentare, portando ad una più attenta regolamentazione o addirittura al divieto di produzione ed uso di



numerosi composti; inoltre, data la persistenza ambientale di queste sostanze, le analisi per la loro ricerca nel suolo e nelle acque dovranno essere condotte ancora per molto tempo.

Gli antiparassitari, impiegati nei trattamenti sulle colture in determinati periodi dell'anno, possono contaminare facilmente le risorse idriche superficiali e sotterranee, principalmente per dilavamento e infiltrazione. Ricordiamo, per esempio, alcuni casi di inquinamento di acque da erbicidi (atrazina, simazina e molinate) che hanno riguardato molti pozzi del vercellese e del bergamasco verso la metà degli anni '80. Più recentemente, nella primavera 1996, alcuni erbicidi (terbutilazina e simazina) sono stati riscontrati in acque superficiali di un invaso (Cepparello) che alimenta parte dell'acquedotto di Poggibonsi; la realizzazione di un nuovo impianto di trattamento, con l'impiego combinato di ozono, acqua ossigenata e filtri a carbone attivo, ha permesso di fronteggiare la situazione. La contemporanea attivazione di studi per controllare, diminuire e, se possibile, far cessare l'uso di queste sostanze, dovrebbe in futuro evitare l'insorgere di emergenze di questo tipo.



*Figura 9 Nel fiume Elsa si sono riscontrati talvolta prodotti fitosanitari e sostanze chimiche per uso agricolo.*

Nella Tabella 2 sono riportati i principi attivi individuati nel fiume Elsa nel corso di una campagna analitica durata quasi due anni (27/12/1999 – 16/10/2001) con frequenza di prelievi prevalentemente mensile.

Ogni volta sono stati ricercati molti principi attivi; i risultati analitici mostrano una presenza saltuaria di tali sostanze.

Tabella 2 *Principi attivi riscontrati nelle acque del fiume Elsa nel corso dei controlli negli anni 1999 – 2001 (foce del torrente Casciani)*

Data	Principio attivo	µg/L	Data	Principio attivo	µg/L
27/12/99	Clorpirifos	0.10	11/07/00	Terbutilazina	0.5
22/02/00	-	<0.1	22/08/00	-	<0.1
28/03/00	-	<0.1	26/09/00	-	<0.1
18/04/00	Atrazina	0.09	16/01/01	-	<0.1
“	Terbutilazina	0.19	27/02/01	-	<0.1
29/05/00	-	<0.1	22/03/01	-	<0.1
20/06/00	-	<0.1	09/04/01	-	<0.1
11/07/00	Benalaxil	0.25	12/06/01	-	<0.1
“	Desetil	0.40	09/07/01	-	<0.1
“	Oxadixyl	0.35	23/08/01	-	<0.1
“	Metalaxil	0.80	16/10/01	-	<0.1

### **Idrocarburi policiclici aromatici**

Con questa definizione si intendono quei composti organici caratterizzati da due o più anelli aromatici tra loro uniti; più semplicemente essi sono derivati del benzene, un noto idrocarburo cancerogeno. Come si intuisce dal nome, sono composti costituiti da carbonio e idrogeno e si formano principalmente nei processi di combustione di sostanze a base carboniosa come, ad esempio, il legno, il carbone e i carburanti per autotrazione. Nel fumo di tabacco si riscontrano concentrazioni non indifferenti di queste sostanze.

Gli idrocarburi policiclici aromatici prodotti dalle varie fonti finiscono nell'atmosfera per essere successivamente trascinati a terra. Attraverso i soliti meccanismi di dilavamento e infiltrazione, queste sostanze possono arrivare nelle acque. In questo caso è necessario un trattamento di potabilizzazione per risolvere il problema: particolare efficacia verso questa classe di composti è data dall'azione dell'ozono, che produce reazioni di ossidazione e apertura degli anelli aromatici, e dal carbone attivo che li “lega” sulla sua superficie. Nel D.P.R. n° 236/88, per l'eventuale presenza in acqua potabile degli idrocarburi policiclici aromatici, si fa riferimento soltanto a sei composti specifici ed è previsto come valore limite soltanto una quantità complessiva pari a 0.2 µg/L (limite ridotto a 0.10 µg/L dal D. Lgs. n° 31/01).

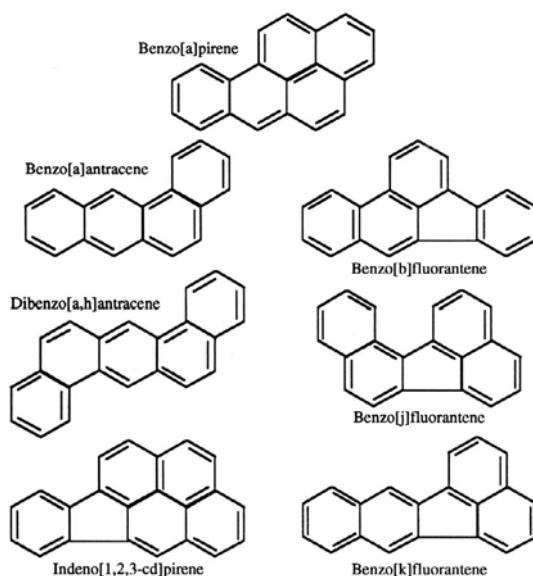


Figura 10 *Principali idrocarburi policiclici aromatici ritenuti attualmente di interesse per il loro controllo nelle acque potabili.*

In realtà la principale causa di contaminazione delle acque potabili da questi composti è la loro cessione da parte di alcuni rivestimenti protettivi interni delle tubazioni a base di catrame di carbone fossile e bitume. Questi rivestimenti, per le loro buone proprietà tecnologiche, sono stati largamente impiegati, specie in tempi passati, tanto che molti chilometri di tubazioni sono rivestiti con questi materiali. Ciò non significa che il rischio sia consistente: infatti la possibilità di cessione di idrocarburi policiclici aromatici è in stretta relazione con la qualità dell'acqua e già una lieve deposizione di carbonato di calcio assicura una buona separazione tra il rivestimento stesso e l'acqua, riducendo significativamente la possibilità di contaminazione. Gli idrocarburi policiclici aromatici sono comunque dei contaminanti ubiquitari: sono presenti nei sedimenti antichi (prodotti dagli incendi delle foreste e da altre combustioni avvenute in epoche remote), nelle piogge e nelle acque di aree remote, e in concentrazioni di solito estremamente basse, anche in acque sotterranee impiegate sia come potabili, sia imbottigliate come acque minerali.

Da un punto di vista sanitario è abbastanza noto il potere cancerogeno di questi composti; in particolare per il benzo(a)pirene, composto di cui sono maggiormente conosciuti gli effetti negativi sulla salute umana, il D.Lgs. n° 31/01 definisce un valore limite specifico di 0.010 µg/L.

## VERSO L'ENTRATA IN VIGORE DEL D.LGS. 2 FEBBRAIO 2001, N° 31

Nel 2001 è stato emanato il D.Lgs. 2 febbraio 2001, n° 31 (G.U. n° 52 del 3 marzo 2001) *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano*. È quindi necessario un breve accenno alle modifiche che questo introduce rispetto alla legislazione precedente, facendo presente che materia così complessa non può esaurirsi nelle poche righe che seguono.

Con la prossima entrata in vigore di questo decreto, fra le varie innovazioni nel controllo delle acque destinate al consumo umano, si osserva una modifica evidente, comunque non sostanziale, degli attuali parametri chimici e microbiologici cui deve conformarsi la qualità di tali acque. Rispetto al D.P.R. 236/88, nel nuovo decreto vi è un maggiore orientamento verso il controllo delle sostanze tossiche. Viene evidenziato inoltre un maggiore livello di precauzione basato sull'acquisizione di nuove evidenze tossicologiche, mantenendo l'invito a indagare sulla presenza di sostanze non esplicitamente indicate nel decreto. Si assiste inoltre alla riduzione delle concentrazioni massime ammissibili (definiti *valori parametrici*) di alcuni elementi e composti chimici. Il D.Lgs. 31/01 consente che alcuni degli obiettivi di qualità possano essere raggiunti in tempi successivi alla sua entrata in vigore, data la complessità delle attuali tecniche di potabilizzazione, la necessità, in alcuni casi, di reperire adeguate fonti di approvvigionamento e i forti investimenti per la sostituzione di vecchie reti di distribuzione.

Questo decreto modifica, quindi, alcuni valori limite relativi alle acque potabili e stabilisce un loro adeguamento entro il 25 dicembre 2003, salvo alcune eccezioni. Fra le modifiche più sostanziali si osserva l'abbassamento dei valori limite per alcuni importanti contaminanti: antimonio da 10 a 5 µg/L; arsenico da 50 a 10 µg/L; piombo da 50 a 25 µg/L (il raggiungimento del valore di 10 µg/L è previsto entro il 25 dicembre 2013); nichel da 50 a 20 µg/L; idrocarburi policiclici aromatici da 0.2 a 0.10 µg/L e introduzione di un limite specifico per il Benzo(a)pirene (0.010 µg/L). Viene inoltre introdotto il valore limite per il boro: 1.0 mg/L e stabilita un'unica concentrazione per il fluoruro: 1.5 mg/L. Viene modificato il valore del nitrito; per l'applicazione del nuovo limite deve essere considerata la contemporanea presenza del nitrato (per il quale è mantenuto il valore di 50 mg/L). Infine non è più riportato il parametro "Composti organoalogenati" ma viene fatta distinzione fra trihalometani (cloroformio, bromoformio, dibromoclorometano, bromodichlorometano) con un valore di 30 µg/L (relativo al totale) che, in genere, si formano durante il trattamento di potabilizzazione, ed altri solventi alogenati che presentano limiti specifici. Fra questi, trichloroetilene e tetracloroetilene con un limite di 10 µg/L (somma del rispettivo contributo di concentrazione). Per 1,2 dicloroetano e cloruro di vinile sono assegnati limiti particolarmente bassi, rispettivamente 3,0 e 0,5 µg/L. Non si fa menzione dell'introduzione di altri parametri, che al momento non sembrano importanti nel contesto di questo lavoro. Il magnesio, ritenuto un elemento che possiede proprietà lassative quando è associato a concentrazioni elevate di solfati, presenta attualmente (allegato 1 D.P.R. n° 236/88) una concentrazione massima ammissibile di 50 mg/L; tali proprietà comunque si manifestano a valori molto più alti di quel valore limite, tanto che nel D. Lgs. 31/01, il magnesio non viene neppure preso in considerazione e non vi è associato alcun valore limite.

Per facilitare la comprensione dei nuovi valori *parametrici*, in Tabella 3 è riportato un confronto fra quelli indicati nell'allegato 1 D.P.R. 236/88 e quelli presenti nella parte B allegato 1 del D.Lgs 31/01.

Tabella 3 *Parametri chimici indicati nella parte B allegato 1 del D.Lgs 31/01; è riportato anche un confronto con quelli indicati nell'allegato 1 D.P.R. 236/88 per mostrare le modifiche introdotte*

Parametri	Unità di misura	DPR 236/88 Valore limite	D.Lgs. 31/01 Valore parametrico
Acrilammide	µg/L	-	0.10
Antimonio	µg/L	10	5.0
Arsenico	µg/L	50	10
Benzene	µg/L	-	1.0
Benzo (a) pirene	µg/L	-	0.010
Boro	mg/L	-	1.0
Bromato	µg/L	-	10
Cadmio	µg/L	5	5.0
Cromo	µg/L	50	50
Rame	µg/L	1000	1000
Cianuro	µg/L	50	50
1,2 dicloroetano*	µg/L	-	3.0
Epicloridrina	µg/L	-	0.10
Fluoruro	mg/L	0.7-1.5	1.50
Piombo	µg/L	50	10 – 25
Mercurio	µg/L	1	1.0
Nichel	µg/L	50	20
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub>	50	50
Nitrito	mg/L NO <sub>2</sub>	0.1	0.1 – 0.5
Antiparassitari – Totale	µg/L	0.1 – 0.5	0.10 – 0.50
Idrocarburi policiclici aromatici	µg/L	0.2	0.10
Selenio	µg/L	10	10
Tetracloroetilene e tricloroetilene*	µg/L	-	10
Triometani (totale)*	µg/L	-	30
Cloruro di vinile*	µg/L	-	0.5
Clorito	µg/L	-	200 – 800
Vanadio	µg/L	50	50

\* Questi composti non sono riportati nel DPR 236/88 come singole voci, ma appartengono al parametro 32 (composti organoalogenati con una CMA di 30 µg/L)

Il D.Lgs. 31/01 riporta anche una serie di parametri definiti *indicatori* (parte C dell'allegato 1). Per questi è prevista una conformità rispetto ai rispettivi valori limite (definiti nel decreto *valori di parametro*) (Tabella 4). Quando si verificano dei superamenti, l'articolo 14, punto 1, del D.Lgs. 31/01 impone che *vengano presi provvedimenti intesi a ripristinare la qualità delle acque ove ciò sia necessario per tutelare la salute umana*. Questa ultima affermazione *ove ciò sia necessario per tutelare la salute umana*, sembra implicitamente permettere che, quando un parametro supera il relativo valore indicato nella parte C dell'allegato 1, può non essere necessario soddisfare tale valore, se quel superamento non determina rischi per la salute umana. Rispetto al D.P.R. 236/88, questa indicazione può essere un'interessante modifica che permette, almeno in parte, di intervenire su situazioni difficili di distribuzione di particolari acque potabili. È il caso delle acque ricche in solfati che hanno indotto notevoli problemi ai gestori di acquedotto costretti alla richiesta di deroghe, ad approntare piani di realizzazione di impianti costosi e complessi, ancora oggi in parte non realizzati.

Sul piano dei valori parametrici, rispetto al D.P.R. 236/88, per i parametri indicatori si riscontrano modeste modifiche. Fra queste:

- a) innalzamento del valore dei cloruri; si ricorda che nel D.P.R. 236/88 per i cloruri non è definita una concentrazione massima ammissibile, ma un *valore di 200 mg/L che è opportuno non superare*;
- b) definizione di un valore più restrittivo per la torbidità (1.0 NTU), in quanto l'attuale è troppo permissivo (acque visibilmente torbide, con il D.P.R. 236/88, purché inferiori a 4 NTU, possono attualmente venire considerate potabili);
- c) definizione di un valore parametrico unico per il sodio (200 mg/L).

Tabella 4 *Parametri indicatori riportati nel D. Lgs 31/01. È riportato anche un confronto con quelli indicati nell'allegato 1 D.P.R. 236/88 per mostrare le modifiche introdotte. Ad eccezione di torbidità, rispetto a tale decreto non si osservano variazioni significative.*

Parametri	Unità di misura	DPR 236/88 Valore limite	D. Lgs. 31/01 Valore parametrico
Alluminio	µg/L Al	200	200
Ammonio (come NH <sub>4</sub> )	mg/L NH <sub>4</sub>	0.5	0.50
Cloruro	mg/L Cl	200	250
Clostridium perfringens	UFC/100 mL	0	0
Colore	mg/L scala Pt-Co	20	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale
Conduttività	µS/cm a 20 °C	-	2500
Concentrazione ioni idrogeno	pH	6.0 – 9.5	6.5 – 9.5
Ferro	µg/L Fe	200	200
Manganese	µg/L Mn	50	50
Odore	Tasso di diluizione	2 a 12 °C 3 a 25 °C	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	5	5.0 (Sostituibile dal TOC)
Solfato	mg/L SO <sub>4</sub>	250	250
Sodio	mg/L Na	150 - 175	200
Sapore	Tasso di diluizione	2 a 12 °C 3 a 25 °C	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale
Conteggio colonie a 22 °C	UFC/mL	-	Senza variazioni anomale
Batteri coliformi a 37 °C	UFC/100 mL	0	0
Carbonio organico totale	mg/L C	-	Senza variazioni anomale
Torbidità	NTU	4	1.0 (Solo per acque superficiali)
Durezza (il limite inferiore vale per le acque addolcite)	°F	15 - 50	15 – 50
Residuo secco a 180 °C (Val. max consigliato)	mg/L	1500	1500
Disinfettante residuo (Val. min. consigliato)	mg/L	0.2	0.2

## Parametri microbiologici

Nelle acque naturali sono sempre presenti microrganismi patogeni e non, cioè capaci cioè di provocare o meno malattie. In particolare, quelli patogeni, che provengono in larga misura dall'intestino umano e animale di individui malati o di portatori sani, sono principalmente diffusi nelle acque superficiali che ricevono scarichi fognari. Una regola da mettere sempre in pratica è la seguente: un'acqua sconosciuta, cioè non analizzata con una sufficiente frequenza, è da considerarsi a rischio sotto il profilo microbiologico. Così solo attraverso un'attenta indagine analitica scopriremo che i limpidi torrenti del parco del Denali in Alaska, contengono *Giardia lamblia*, un parassita intestinale, mentre alcune acque di sorgente del nostro Appennino presentano talvolta Coliformi e Streptococchi fecali, quali indici di contaminazione. In natura un'acqua sicura, "pura" da un punto di vista microbiologico, è una preziosa rarità.

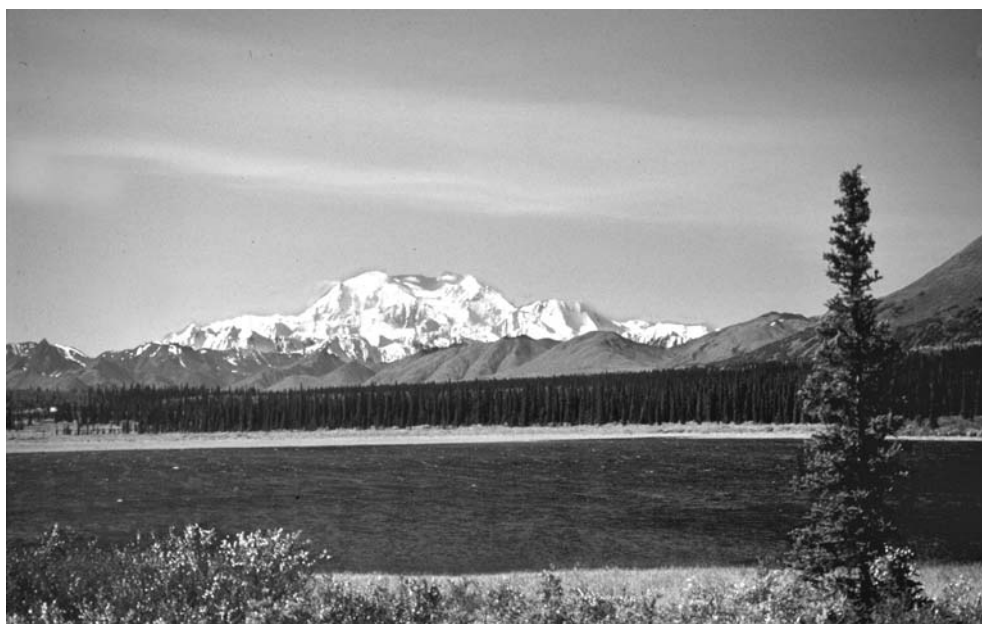


Figura 11 Alaska, Denali National Park. Nonostante la naturalità di queste aree remote, le acque superficiali sono frequentemente contaminate da un parassita: la *Giardia lamblia*. Queste acque possono essere utilizzate a scopo potabile con trattamento di disinfezione per passaggio attraverso idoneo filtro sterilizzante; è insufficiente il trattamento con solo ipoclorito.

Le malattie infettive a trasmissione idrica sono molte: una disinfezione insufficiente, norme igieniche inadeguate, condizioni climatiche e ambientali adatte allo sviluppo dei microrganismi, possono diffondere gravi epidemie nella popolazione servita. Malgrado le moderne terapie, il tasso di mortalità per questo tipo di malattie è ancora rilevante: per certi



enterovirus si hanno valori compresi tra 0.5 – 0.9%; lievemente minore è l'incidenza degli enterobatteri, 0.1 – 0.2%. Per capire bene quale può essere la portata del problema, si ricordano alcune delle principali malattie infettive, spesso veicolate dal mezzo idrico, e gli agenti che le causano: la febbre tifoide e la paratifoide (*Salmonella typhosa*, *S. paratyphosa*, *S. schottmullery*, *S. hirschfeldii*), la dissenteria bacillare (*Shigella flexneri*, *Sh. dysenteriae*, *Sh. paradyenteriae*, *Sh. sonnei*), il colera (*Vibrio comma*), la tularemia (*Pasteurella tularensis*), la brucellosi (*Brucella melitensis*), la melioidosi (*Pseudomonas pseudomallei*), la leptospirosi o malattia di Weil (*Leptospira itteroemorragica*), la giardiasi (*Giardia lamblia*), le gastroenteriti (alcuni microrganismi enteropatogeni e virus) e le epatiti (virus). Tutte queste malattie possono essere trasmesse dall'acqua, ma questo non è il solo veicolo per la diffusione delle epidemie, spesso sono altre le cause che le provocano. Tuttavia si può facilmente intuire che la possibilità di contaminazione più elevata è legata all'impiego delle acque superficiali; quando si utilizza un'acqua di questo tipo, o più in generale, una risorsa non protetta, la disinfezione non deve mai essere trascurata ed è meglio se nel trattamento di potabilizzazione è presente più di una fase con questo obiettivo. Nel caso di acque più protette, ad esempio quelle sotterranee, la disinfezione è comunque necessaria, poiché rappresenta una profilassi volta ad evitare successive contaminazioni.

Le analisi microbiologiche hanno lo scopo di assicurare che l'acqua non contenga germi patogeni; questi microrganismi, quando sono presenti nelle acque, sono spesso in piccola quantità e poco resistenti: per questa ragione il loro numero diminuisce rapidamente ed è facile che sfuggano al controllo: la loro ricerca diretta è in genere piuttosto complessa e difficile. L'esame microbiologico pertanto non è mirato alla loro individuazione ma è volto a rilevare la presenza di altri batteri che sono utilizzati come *indicatori* della possibile contaminazione. Questi microrganismi devono rispondere a precise condizioni e in particolare, rispetto all'agente patogeno, devono essere presenti contemporaneamente e in numero molto superiore, avere una maggiore sopravvivenza nell'ambiente idrico e una più alta resistenza all'azione dei disinfettanti. Per un'efficace utilizzo della tecnica analitica si richiede che gli indicatori siano ben distribuiti, identificabili rapidamente senza ambiguità e non essere inibiti nella crescita da altri organismi. Infine gli indicatori non devono proliferare in ambiente acquatico e non devono essere patogeni. Nella normale pratica analitica microbiologica si ricercano quindi i seguenti parametri: Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi fecali, spore di Clostridi solfito riduttori, Carica batterica a 22 e a 37°C.

### **Coliformi totali**

Sotto questa voce si raggruppano varie specie batteriche per lo più di origine ambientale (Coliformi non fecali) ma talvolta riconducibili a defezioni umane e animali (*Escherichia*, *Citrobacter*, *Clebsiella*, *Enterobacter*). Non sono quindi specifici di inquinamento fecale, ma indicano un contatto dell'acqua con l'ambiente; non si può comunque escludere che alcuni di questi possano avere provenienza fecale. Tra gli addetti ai lavori trova sempre più credito l'idea di non assegnare molta importanza alla loro presenza nelle acque potabili.

### **Coliformi fecali**

Sono un vero e proprio indice di contaminazione: l'acqua è stata oggetto di inquina-

mento fecale; sono batteri sempre presenti nell'intestino umano o animale e la loro presenza può essere associata a microrganismi patogeni. La presenza anche di un solo coliforme fecale per 100 mL di acqua destinata al consumo umano, fa scattare tutta una serie di provvedimenti igienici da parte della Autorità Sanitaria con dichiarazione di non potabilità e suggerimenti per l'eventuale impiego (uso dopo bollitura). Tra i più noti possiamo indicare l'*Escherichia coli* o colibacillo che ha la forma di un bastoncino lungo 2 µm. Di solito non è direttamente patogeno, al massimo è un opportunista, anche se ne esistono rare forme, geneticamente differenziate, che sono in grado di provocare gravi malattie in soggetti a rischio come neonati, immunodepressi. Si ritiene che vi siano elevate possibilità che in un'acqua, dove non siano presenti coliformi fecali in almeno 100 mL, non siano contenuti neppure enterovirus. La presenza del colibacillo è indice di inquinamento recentissimo o addirittura in atto.

### **Streptococchi fecali**

Sono ospiti sicuri dell'intestino umano: sono batteri meno resistenti quando si trovano nell'ambiente; vengono quindi facilmente utilizzati per stabilire quanto è recente la contaminazione. Sono sempre presenti nelle feci, pertanto se nell'acqua sono stati trovati coliformi, ma non il colibacillo, per avere una conferma fecale dell'inquinamento, la ricerca dello *Streptococcus faecalis* è indispensabile. Il rapporto tra streptococchi e colibacilli è di 1:100 (nelle feci). La presenza di questo batterio nelle acque è dovuta a immissione di scarichi. Poiché sono batteri poco resistenti, la loro presenza indica contaminazione in atto; la loro assenza assicura anche l'assenza dei germi patogeni, ma non dei virus.

### **Spore di Clostridi solfito riduttori**

I clostridi sono batteri sporigeni e pertanto sono molto resistenti anche all'azione di disinfettanti; permangono nell'acqua molto più a lungo dei coliformi e sono riconducibili, di solito, al *Clostridium perfringens* che è sempre presente nelle deiezioni animali. La presenza di *Clostridium perfringens* indica che l'inquinamento è di data non recente: sono spesso assenti gli indici di inquinamento fecale più deboli (coliformi) mentre sono rimaste le spore di questo microrganismo; si ritiene che questo batterio non sia patogeno, ma alimenti contaminati da tale microrganismo possono dare tossinfezioni alimentari. L'inattivazione dei clostridi fornisce una garanzia dell'efficacia della disinfezione, data la particolare resistenza ai trattamenti. La presenza di questi microrganismi viene notevolmente ridotta con la flocculazione e la filtrazione; l'eliminazione vera e propria si raggiunge con la disinfezione chimica (clorazione o ozonazione).

### **Carica batterica totale**

Il numero totale dei germi o carica batterica totale oppure numero totale delle colonie, è un esame quantitativo molto importante soprattutto per le acque profonde. Acque di falda con più di 10 colonie per mL si considerano "contaminate" perché generalmente a 7 - 8 m di profondità l'acqua dovrebbe risultare batteriologicamente pura. La presenza di microrganismi in acque profonde può essere attribuita ad un'insufficiente filtrazione da parte del terreno su acque contaminate, oppure causata da microrganismi ambientali del terreno che rag-

giungono la falda idrica.

Gli agenti patogeni si comportano nel terreno come sostanza inerte: se nessun microrganismo del terreno ha raggiunto la falda, a maggior ragione nessun patogeno può essere presente. Le acque superficiali invece possiedono spesso cariche batteriche altissime, dell'ordine di decine e anche di centinaia di migliaia di colonie ogni millilitro di acqua. Quando un acquedotto, a valle di un trattamento di disinfezione, è caratterizzato da un'elevata carica batterica, maggiore di 100 Unità Formanti Colonie per millilitro (CFU/mL) anche in assenza di coliformi fecali, sorge il sospetto che la disinfezione non sia stata sufficiente oppure che sia avvenuta una nuova contaminazione. In questi casi devono essere rapidamente prese le necessarie contromisure: ad esempio un trattamento più intenso e ulteriori indagini volte a verificare l'ampiezza del problema. Valori elevati della carica microbica in un'acqua indicano che questa risente di fattori ambientali (residui fogliari, terriccio, resti di radici ecc.), si tratta quindi di una risorsa poco protetta ed è quindi a rischio di contaminazione con alta probabilità di arrivo di batteri patogeni.

L'abbattimento della carica microbica si effettua con la flocculazione (in gran parte i microrganismi vengono inglobati dai fiocchi di precipitato); anche la filtrazione contribuisce ad una riduzione, ma in genere è utilizzata principalmente la disinfezione, che rappresenta la massima garanzia di abbattimento. Con la carica batterica a 22°C vengono evidenziati i batteri che comunemente vivono nell'ambiente (nelle acque, nel suolo ecc.). È un parametro utilizzato per controllare il contesto ambientale della risorsa e della rete di distribuzione. Con quella a 37°C si selezionano i batteri che hanno la maggiore possibilità di adattamento e di crescita in organismi a sangue caldo. Dal punto di vista analitico la ricerca è effettuata su quantità di acqua che oscillano da un millilitro per la carica batterica fino a cento millilitri per gli altri; in genere si procede ad una separazione cui segue una crescita su idoneo terreno di coltura: sono determinazioni così comuni che quasi tutti i laboratori sono in grado di eseguire.

### **Parametri accessori**

Esistono inoltre altri parametri biologici più specifici, quali le alghe, il batteriofago anti *E. coli*, gli elminti, gli enterobatteri patogeni, gli enterovirus, i funghi, i protozoi, la *Pseudomonas aeruginosa* e gli stafilococchi patogeni, classificati dal D.P.R. n° 236/88 come accessori, che permettono di valutare in modo più approfondito la qualità dell'acqua destinata al consumo umano.

La presenza di virus è stata accertata nei liquami domestici, in acque superficiali e spesso in risorse scarsamente protette; i virus provengono generalmente dalle defezioni nelle quali predominano gli enterovirus. I virus non si moltiplicano nell'acqua ma solo nelle cellule viventi. Essi possono essere presenti in un'acqua, anche quando sono assenti gli indicatori di contaminazione fecale, grazie alla loro maggiore resistenza rispetto ai batteri: i virus non possiedono sistemi enzimatici per cui sono molto più resistenti all'azione dei disinfettanti dei batteri, ma possono comunque essere resi inattivi dai più comuni agenti chimici. Ad esempio, il cloro e l'ozono più o meno nella stessa quantità, 0.5 e 0.4 mg/L, ma con un tempo di contatto notevolmente diverso, 1 ora contro 4 minuti, garantiscono la stessa efficacia. Dal punto di vista analitico la ricerca di virus è molto complessa: solo pochi laboratori specia-

lizzati sono capaci di condurla.

Il D.Lgs. 31/01 introduce modifiche anche sui parametri microbiologici. In particolare, i coliformi fecali sono stati sostituiti da *Escherichia coli* e streptococchi fecali da enterococchi, di significato analogo. In Tabella 5 sono riportati i parametri e relativi valori limite (*valori di parametro*) microbiologici e volumi di riferimento impiegati nella definizione dei requisiti minimi di qualità delle acque destinate al consumo umano secondo quanto indicato dall'articolo 4 D.Lgs. 31/01<sup>1</sup>.

Tabella 5 *Parametri e valori di parametro microbiologici e relativi volumi di riferimento impiegati nella definizione dei requisiti minimi di qualità delle acque destinate al consumo umano, secondo quanto indicato dall'articolo 4 D. Lgs. 31/01.*

Parametro	Valori parametrici
<i>Escherichia coli</i>	0/100 mL
Enterococchi	0/100 mL
<i>Per le acque messe in vendita in contenitori</i>	
<i>Escherichia coli</i>	0/250 mL
Enterococchi	0/250 mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 mL
Conteggio colonie a 22 °C	100/mL
Conteggio colonie a 37 °C	20/mL

<sup>1</sup> Per approfondimento sulle modifiche dei parametri chimici e microbiologici si veda anche: Mantelli *et al.* *Verso l'attuazione del D.Lgs 31/01: evoluzione dei parametri di controllo delle acque destinate al consumo umano*. Boll. Chim. Igien. Vol. 53, pag. 279-298, 2002.

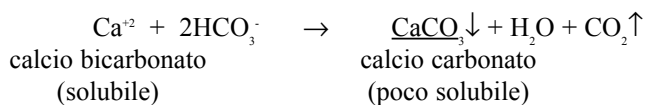
## ALCUNI ASPETTI PARTICOLARI DELLE ACQUE

### La durezza

Nonostante il progresso delle conoscenze scientifiche nel campo delle acque che sposta progressivamente attenzioni e ricerche sempre più verso i fenomeni di contaminazione, la durezza rimane uno dei parametri di interesse per i suoi effetti immediati e evidenti. Spesso il suo significato è enfatizzato, mentre talvolta vengono trascurati altri parametri la cui importanza ai fini della potabilità di un'acqua è superiore: fra questi si elencano soprattutto i metalli tossici, i composti organoalogenati e altri. Tanto interesse è comunque comprensibile perché la durezza costituisce un parametro facilmente "visibile": valori elevati determinano infatti effetti ben osservabili, tra questi il maggior consumo di saponi e detersivi nelle operazioni di lavaggio, la formazione di macchie biancastre lasciate dalle gocce d'acqua che evaporano, la deposizione di incrostazioni che talvolta possono arrivare perfino ad ostruire condutture ed apparecchiature, in particolare quelle per la produzione di acqua calda. Con l'utilizzo di acque ad elevata durezza tutti questi inconvenienti sono così ricorrenti da richiedere frequenti interventi di manutenzione o trattamenti aggiuntivi: i costi che ne derivano sono significativi e vanno ad aggiungersi a quello della bolletta dell'acqua. Quindi non a caso la durezza assume un'importanza primaria.

Cosa è realmente la durezza di un'acqua? È un parametro chimico con il quale si individua prevalentemente il contenuto dei cationi bivalenti: ciò si identifica quasi del tutto in quelli di calcio e magnesio. Ma la durezza non viene esaurientemente descritta in questo modo perché si hanno vari tipi di durezza: "temporanea", "permanente" e "totale". Ciò deriva dal diverso comportamento degli anioni associati al calcio e magnesio, quali cloruri, solfati, bicarbonati e nitrati.

La "durezza temporanea" si manifesta con evidenza quando si porta all'ebollizione dell'acqua in un recipiente: dopo un certo tempo si ha la formazione di un velo biancastro sulla superficie, seguito successivamente, con la progressiva evaporazione dell'acqua, dalla deposizione di una patina uniforme sulle pareti del recipiente. Questi depositi sono costituiti per la maggior parte da carbonato di calcio, sostanza insolubile in acqua che si forma secondo la seguente reazione:



Con l'ebollizione si libera anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ); questo gas si allontana dalla soluzione all'aumentare della temperatura o al diminuire della pressione: ciò favorisce la precipitazione del carbonato di calcio. Anche il magnesio può dare luogo alla formazione di un precipitato, costituito dal suo idrossido  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Tutto ciò determina una diminuzione del

contenuto in soluzione di ioni bivalenti e, in conseguenza, della durezza: da qui la definizione di “temporanea”.

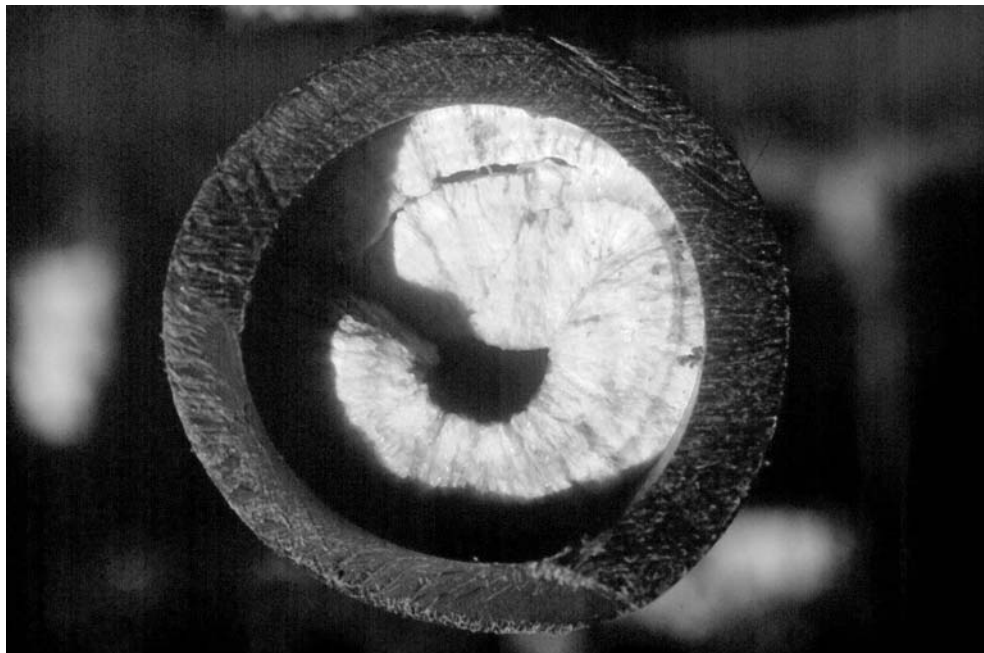


Figura 12 *Deposizione di carbonato di calcio in una tubazione di polietilene causata da un'acqua ad elevato potere incrostante.*

Dopo l'ebollizione nell'acqua è rimasta ancora una parte degli ioni calcio e magnesio insieme ad altri anioni, quali i solfati, i cloruri e i nitrati: questi sali, per la loro solubilità non si sono depositati con l'ebollizione e quindi costituiscono quella che è definita “durezza permanente”.

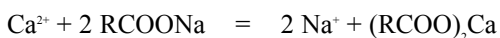
In genere quando si parla di durezza di un'acqua si intende quella “totale” dovuta, alla somma delle due frazioni: “permanente” e “temporanea”. Questa distinzione non è un'inutile complicazione: ad esempio, un'acqua con “durezza totale” anche non elevata, ma formata per gran parte da “durezza temporanea”, se sottoposta a riscaldamento, darà luogo più facilmente a incrostazioni nelle caldaie o negli elettrodomestici rispetto a un'acqua dotata di un tenore più consistente di “durezza totale”, ma costituita prevalentemente da quella di tipo “permanente”. La possibilità di formare depositi è detta potere incrostante.

La durezza delle acque determina, quindi, problemi soprattutto di tipo tecnico e non di tipo sanitario; un'acqua ad elevata durezza, in base alle conoscenze attuali, non presenta alcuna controindicazione per l'uso potabile. La Legge italiana, con il D.P.R. n° 236/88, in relazione alla durezza nelle acque non prevede una concentrazione massima ammissibile: non c'è quindi un valore al di sopra del quale la durezza possa costituire un rischio per la salute. Lo stesso decreto indica solo un intervallo di valori consigliati:  $15 \div 50$  gradi france-

si (°F). Un grado francese corrisponde a 10 milligrammi per litro di carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Per diminuire la durezza di un'acqua vi sono varie tecniche di trattamento che sono generalmente dette "addolcimento" o "deindurimento". Tra esse possiamo segnalare quelle classiche, di solito utilizzate più nel settore industriale che in quello della potabilizzazione, che prevedono in pratica una precipitazione del calcio. Queste tecniche sono sostituite più recentemente da quelle che prevedono l'impiego delle resine a scambio ionico o dall'osmosi inversa, di valenza più generale.

Un notevole impulso ai trattamenti di addolcimento si è avuto con l'introduzione delle resine a scambio cationico. Queste sostanze hanno la forma di piccole sfere, con un diametro di circa 0.5 mm; da un punto di vista chimico si tratta di polimeri organici sintetici contenenti gruppi solfonici o carbossilici, salificati con sodio. Questi gruppi reagiscono con gli ioni calcio e magnesio cedendo all'acqua una quantità equivalente di sodio, secondo lo schema successivo:



Durante la rigenerazione viene fatta passare in controcorrente una soluzione satura di cloruro di sodio ( $\text{NaCl}$ ), la cosiddetta salamoia, che produce la reazione inversa. Con questo sistema, per una quantità rimossa di durezza totale pari a 1 grado francese, si introducono 4.6 mg di sodio, oppure distinguendo tra i componenti: 40 mg di calcio o 24.3 mg di magnesio sono entrambi sostituiti da 46 mg di sodio. Il sodio, assunto dall'organismo umano, in quantità elevate determina fenomeni di ipertensione: per questo motivo è regolamentato dal D.P.R. n° 236/88 con una CMA che è compresa nell'intervallo tra 150 - 175 mg/L (200 mg/L con l'entrata in vigore del D. Lgs. 31/01). Ciò rappresenta uno dei limiti principali alla possibilità di addolcimento per scambio ionico ed è necessario tenere ben presente anche quale è il contenuto naturale di sodio nell'acqua da trattare.

Un metodo classico, in genere non consigliato nel caso di acque potabili ma di largo impiego nel settore industriale, è quello che prevede l'impiego di composti contenenti polifosfati; queste sostanze svolgono un'azione complessante nei confronti del calcio e del magnesio evitando la loro precipitazione.

Il D.P.R. n° 236/88 stabilisce inoltre che l'acqua destinata al consumo umano non debba essere completamente addolcita, ma è indispensabile che abbia una durezza residua di almeno 15 °F per evitare problemi di aggressività (caratteristica cioè di particolari acque che presentano pH inferiore o poco superiore a 7, bassa durezza e bassa riserva alcalina). L'acqua con queste caratteristiche non solo riesce a sciogliere il carbonato di calcio ma può esercitare un'azione corrosiva sulle condotte metalliche; in questi casi la possibilità che il ferro o alcuni metalli tossici, presenti nelle tubature come elementi accessori (principalmente piombo e cadmio), vengano solubilizzati è reale e non deve essere sottovalutata. Acque aggressive si possono riscontrare in alcune zone della Toscana, in particolare sul monte Amiata e sulle Alpi Apuane, mentre in Valdelsa la maggior parte delle acque impiegate presenta caratteristiche incrostanti.

C'è un altro problema nel caso dell'addolcimento a scambio ionico: molto spesso le sostanze utilizzate nel trattamento non sempre presentano i requisiti necessari di purezza per questo impiego (le caratteristiche chimiche delle sostanze usate nella potabilizzazione delle acque costituiscono un argomento complesso che non è possibile discutere in questa sede). Ad esempio il cloruro di sodio, utilizzato per la rigenerazione delle resine, non sempre è di tipo alimentare, ma per uso tecnologico e pertanto non idoneo per la produzione di acqua potabile. Un trattamento capace non soltanto di ridurre il contenuto di calcio e magnesio ma di uso più generale nel senso che permette di eliminare tutte le sostanze disciolte nell'acqua (dagli ioni alle molecole organiche per finire ai batteri e ai virus), è quello ad "osmosi inversa".



Figura 13 *Deposizioni di carbonato di calcio, lasciate dalle acque provenienti da una grande sorgente, sommergono lentamente la necropoli di Hierapolis, presso Pamukkale in Turchia. Questa acqua, con durezza di oltre 100 °F, con la progressiva perdita di anidride carbonica manifesta un elevato potere incrostante.*

### **L'amianto nelle acque**

L'amianto o asbesto è un minerale presente in natura in forma fibrosa. Con il termine amianto si indica un gruppo di sei minerali, prevalentemente costituiti da silicati idrati di magnesio, a forma di fibre del diametro medio di 0.1 micrometri ( $\mu\text{m}$ ) e di lunghezza assai variabile. I sei minerali principali sono la crisolite (asbesto bianco), crocidolite (asbesto blu),



antofillite, tremolite, actinolite e amosite (asbesto bruno). Conosciuto fino dall'antichità, l'amianto era estratto da alcune miniere sulle Alpi fino dal tempo dei romani che lo utilizzavano per avvolgere i corpi prima della cremazione. Dalla fine del XIX° secolo, con la scoperta di giacimenti di amianto in Canada, prese il via un ampio impiego tecnologico di questo materiale in moltissimi campi, poiché furono individuate le sue particolari proprietà (incombustibile, ottimo isolante termico e elettrico, non degradabile, possibilità di essere tessuto). Tra tutti questi innumerevoli usi, quelli più importanti da un punto di vista quantitativo erano relativi all'industria cantieristica, edile e ferroviaria. Tuttavia le stesse straordinarie proprietà dell'amianto lo rendono una sostanza che ha forti interazioni con gli esseri viventi. Oggi dopo lunghi studi e numerose ricerche, l'amianto è ritenuto un agente cancerogeno per l'uomo per la sua capacità di indurre alcuni tipi di tumore dell'apparato respiratorio. Mentre è ormai accertato che l'amianto induce patologia a livello respiratorio a causa delle sottilissime fibre inalate, che possono risiedere nei polmoni per anni, non è al momento chiarito il rischio che può derivare dall'ingestione di fibre di amianto veicolate dall'acqua potabile.



Figura 14 *Tubazioni in cemento - amianto utilizzate un tempo per il trasporto dell'acqua potabile.*

La IARC (International Agency of Research on the Cancer) nel 1989 non ha messo in evidenza alcuna associazione tra la presenza di fibre di amianto in acque potabili ed un evidente eccesso di tumori nella popolazione. L'Organizzazione Mondiale della Sanità non ha quindi definito un valore di linea guida relativo alla presenza di amianto nelle acque potabili.

li (WHO, 1993). Anche in Italia l'amianto non è incluso tra i parametri concernenti la qualità delle acque destinate al consumo umano; tuttavia in varie nazioni sono state promosse ricerche sulla presenza dell'amianto in questa tipologia di acque.

Nelle acque potabili l'amianto può essere originato da fenomeni naturali in funzione della tipologia di acqua utilizzata o per rilascio del materiale con cui sono state realizzate le condotte di distribuzione. Nel primo caso le fibre di amianto possono provenire dall'erosione, causata dalla circolazione sotterranea dell'acqua, dei minerali in cui esso è contenuto, e giungere negli acquiferi da cui viene estratta la risorsa destinata all'uso potabile. Anche le acque superficiali possono contenere concentrazioni elevate di amianto per rilasci di origine naturale. Rocce contenenti filoni con mineralizzazioni amiantifere sono molto diffuse nell'arco alpino centro-occidentale (Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia) e in varie zone della Toscana e della Liguria nelle ofioliti, tanto che fino al 1988 l'Italia era il primo produttore mondiale di questo materiale.



Figura 15 *Affioramenti di amianto entro rocce della serie ofiolitifera nel gruppo del monte Avic (Valle d'Aosta).*

Nel secondo caso le fibre possono essere originate dall'abrasione e dalla cessione del cemento-amianto, materiale utilizzato per la realizzazione di tubi per acquedotto, ancora molto diffuso nel nostro Paese. Come precedentemente riportato, pur essendo l'amianto una sostanza non considerata dalle normative italiana ed europea relative ai criteri di qualità delle acque potabili, una circolare del Ministero della Sanità (n° 42 del 1 luglio 1986) disciplina

l'uso del cemento-amianto nei sistemi di adduzione delle acque potabili, mettendolo in relazione alla aggressività delle acque condottate; le acque aggressive possono infatti disgregare la struttura cementizia e portare al rilascio di fibre di amianto.

Le acque della Valdelsa non manifestano tendenza a corrodere le tubazioni, anzi, nella maggior parte dei casi, producono incrostazioni, prevalentemente di carbonato di calcio, determinando così la formazione di uno strato protettivo all'interno delle tubazioni attraversate. Si ritiene che le condutture in cemento-amianto conservate in ottime condizioni non presentino immediati rischi di rilascio di fibre. I problemi possono sopraggiungere con l'invecchiamento delle tubazioni e la disgregazione del materiale costituente, in particolare se le acque trasportate hanno un alto grado di aggressività. Le concentrazioni di fibre di amianto riscontrate nelle acque di acquedotto della Valdelsa, sulla base dei dati attualmente disponibili, non determinano rischi per il loro utilizzo ai fini potabili.

## I PROCESSI DI POTABILIZZAZIONE

A questo punto si è compreso che le acque potabili in natura costituiscono una *categoria di acque con valore superiore rispetto a tutte le altre*; esse sono molto rare e sono una quota ridottissima della totalità di quelle presenti sulla Terra. Molte acque che scorrono in limpidi ruscelli di montagna, ma talvolta anche quelle sotterranee, non hanno i requisiti di potabilità. I grandi fiumi della Terra non sfuggono a questa regola, tuttavia costituiscono riserve idriche potenziali ed irrinunciabili che possono essere utilizzate per la produzione di



Figura 16 *Parte di un impianto per la potabilizzazione di acque superficiali.*

acqua potabile. Infatti le acque potabili “devono nascere” da altre acque, prevalentemente da quelle dolci, cioè a basso e medio contenuto salino; queste possono essere superficiali e sotterranee: le prime provengono per lo più dai fiumi e dai laghi, mentre le seconde sono confinate nelle falde del sottosuolo e quando non emergono spontaneamente (sorgenti) vengono realizzati sistemi di estrazione (pozzi).

In genere è quasi sempre necessario un processo di potabilizzazione: ciò consiste nell’impiego di impianti più o meno complessi allo scopo di rimuovere i contaminanti chimici e microbiologici comunemente presenti.

Le acque sotterranee sono spesso considerate *di valore superiore per la produzione di acqua potabile rispetto a quelle superficiali* perché sono generalmente più protette dall’inquinamento. Infatti, uno sversamento accidentale di sostanze contaminanti in una qualunque zona di un territorio ha elevate probabilità di raggiungere prima o poi un corso d’acqua, mentre più difficile, ma certamente non impossibile, è la penetrazione in una falda; tuttavia, quando ciò si verifica, il ritorno alla normalità è lungo: sono necessari decenni o forse tempi ancora maggiori. Le acque sotterranee sono sfruttate ai fini dell’approvvigionamento potabile, per processi industriali e anche per l’agricoltura, anche se per quest’ultimo uso si pre-



Figura 17 *L'Elsa costituisce un fiume difficile per un possibile impiego delle sue acque a scopo potabile. Il regime torrentizio, i grandi carichi di sedimenti durante le piene (forte erosione dei terreni agricoli presenti nel bacino imbrifero) e la salinità elevata nei momenti di magra (solfati fino a 800 mg/L) rendono al momento poco conveniente il trattamento di queste acque*

ferisce ricorrere più spesso ad acqua superficiale, quando disponibile.

L'acqua del sottosuolo è stata esposta in molti paesi, tra cui il nostro, a prelievi eccessivi. La falda è simile ad un fiume sotterraneo che si muove lentamente negli interstizi delle rocce presenti nel sottosuolo. Emungimenti eccessivi hanno prodotto in molte zone un abbassamento del livello delle falde: se alcuni anni fa per attingere acqua potabile dai pozzi in alcune zone del nostro Paese era sufficiente raggiungere modeste profondità, attualmente in alcune aree occorre spingersi a profondità molto maggiori, con il rischio di trovare acque con caratteristiche chimiche peggiori.

Per la produzione di acqua potabile vale un'importante regola: quanto più le fonti primarie sono di buona qualità, tanto migliore e più economica sarà l'acqua potabile prodotta, tanto peggiori sono queste, più costoso e complesso sarà il trattamento necessario. Le acque ad elevato contenuto salino (acque salmastre o di mare) solo raramente vengono sfruttate per produrre acqua potabile; di solito si ricorre a queste fonti in mancanza di alternative: infatti, i processi di dissalazione sono piuttosto complessi e soprattutto onerosi dal lato finanziario.

Spesso è la torbidità elevata a rendere l'acqua non idonea: le acque dei grandi fiumi del mondo (ad es. il Gange, il Rio delle Amazzoni, il Nilo ecc.), oltre che per la presenza di microrganismi patogeni, devono essere sempre sottoposte a trattamento almeno per rimuovere l'elevato quantitativo di materiale in sospensione. In genere, disponendo sia di acque superficiali, pur di buona qualità, sia di acque sotterranee, che generalmente sono più pulite, un trattamento di potabilizzazione è sempre necessario. Per le acque superficiali la fase di disinfezione è un passaggio obbligatorio, ed è meglio se realizzata in più stadi; normalmente si procede con un primo trattamento più blando, cui segue la disinfezione vera e propria e infine si effettua un trattamento di copertura per evitare contaminazioni lungo la rete di distribuzione. Quest'ultima fase è di solito impiegata anche per le acque di falda protette, quelle cioè che non presentano all'origine indici di contaminazione microbiologica.

Per la disinfezione vengono utilizzati prodotti chimici che hanno la capacità di distruggere o inattivare, ad una certa concentrazione e in un certo tempo, i microrganismi patogeni. I disinfettanti principali sono il cloro, l'ipoclorito, il biossido di cloro e l'ozono, ognuno dei quali ha pregi e difetti diversi (tecnico, economico, di uso). La scelta relativa alla sostanza da utilizzare e la quantità da impiegare sono legate alle caratteristiche di qualità dell'acqua da trattare e al reale rischio di contaminazione della risorsa; si deve anche tenere conto del fatto che queste sostanze, essendo dei veri e propri reagenti chimici, formano dei sottoprodotti organici ed inorganici, alcuni dei quali non proprio desiderati. Quindi, una semplice fase di trattamento come la disinfezione per via chimica, all'apparenza semplice ma in realtà molto complessa, deve essere accuratamente prima progettata e poi gestita, per evitare che i rischi eventualmente indotti superino i benefici. Per la disinfezione sono note ed usate anche tecniche diverse dal trattamento con reattivi chimici, tra cui possiamo segnalare, come specifico, l'impiego di radiazioni ultraviolette.

Le acque superficiali, principalmente a causa della torbidità, necessitano di una chiarificazione: è questa la fase di trattamento in cui il materiale in sospensione viene rimosso con l'impiego di flocculanti. Questi prodotti sono generalmente soluzioni acquose a base di sali di alluminio, talvolta di ferro, che in condizioni opportune, a contatto con l'acqua formano

flocchi solidi, costituiti prevalentemente dall'idrossido corrispondente: essi hanno la proprietà di inglobare il materiale in sospensione (generalmente costituito da particelle colloidali finissime di argilla associata a sostanza organica che è impossibile eliminare per semplice filtrazione) e trascinarlo a fondo. Per realizzare tutto ciò occorre disporre di impianti veri e propri: grandi vasche e depositi di forma opportuna (decantatori), seguiti sempre da filtri riempiti con sabbia di quarzo per evitare che piccole particelle solide, costituite dai fiocchi e dal materiale inglobato e sfuggite alla decantazione, permangano nell'acqua potabile. Il flusso idraulico nei decantatori è dal basso verso l'alto e, in quelli circolari, dal centro verso la periferia della struttura; la velocità, detta anche carico idraulico superficiale, è calcolata in modo tale che le particelle solide sotto l'azione della forza di gravità si raccolgano sul fondo.

Esistono molti tipi di decantatori: ci sono quelli che scaricano immediatamente il “fango idrossido” formatosi, mentre altri lo utilizzano più a lungo; alcuni si adattano benissimo a improvvise variazioni di torbidità che invece altre strutture prediligono meno. Anche per la fase di filtrazione, la realizzazione presenta molte tipologie: filtri lenti, veloci, a letto fisso, a letto fluido, monostrato, doppiostrato. Anche per questa fase di trattamento la progettazione e la gestione devono essere molto accurati.

Con i processi sin qui descritti, sono stati eliminati i microrganismi e le particelle sospe-



Figura 18 *Grandi quantità di materiali in sospensione sono veicolate dalle acque del fiume Mackenzie, in Canada, un'imponente riserva di acqua dolce di possibile uso potabile.*

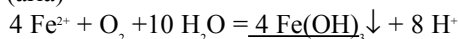
se mentre restano inalterate tutte le sostanze disciolte. Tra queste possono destare preoccupazione quelle organiche, siano esse di origine naturale o derivate da inquinamento. Il trattamento con carbone attivo, nella potabilizzazione delle acque, è la tecnica più adatta per limitare o eliminare questi composti. Il carbone attivo è un termine generico con il quale viene indicata un'ampia gamma di materiali di varia origine, ricchi di carbonio, che assumono particolari proprietà dopo essere stati oggetto di opportuni trattamenti. Questi processi iniziano con la deidratazione, proseguono con una carbonizzazione per terminare infine con l'attivazione. Quest'ultima parte è la più importante ed è in pratica un'ossidazione, per lo più eseguita per via termica in condizioni controllate, ad una temperatura compresa tra 800 e 1000 °C. Si ottiene così un materiale estremamente poroso dotato di un'elevata area superficiale: un grammo di carbone attivo di buona qualità raggiunge una superficie superiore a 1000 m<sup>2</sup>. La principale proprietà di questo materiale è l'adsorbimento: si tratta di un fenomeno chimico-fisico che permette al carbone di legare sulla sua superficie le molecole, specie quelle delle sostanze organiche, in modo reversibile (legame di tipo fisico) o irreversibile (legame di tipo chimico). Il carbone attivo è prodotto, commercializzato ed usato sia sotto forma di polvere, materiale in cui le dimensioni delle particelle sono comprese tra 5 e 100 micrometri (µm), oppure di granuli, la cui pezzatura è tra 0.25 e 4.0 millimetri (mm). Il carbone attivo in polvere (PAC) è utilizzato di norma nella decantazione, cioè all'inizio del processo di potabilizzazione, ed è eliminato, dopo avere svolto la sua azione, con i fanghi idrossidi. Viene dosato attraverso una sospensione acquosa in quantità variabile. Il carbone attivo granulare (GAC) è invece utilizzato come un vero e proprio filtro, su acqua già limpida, alla fine del trattamento di potabilizzazione. In quest'ultimo caso, ai classici meccanismi chimico-fisici di adsorbimento, si possono associare altri fenomeni di natura biologica che aumentano l'efficacia del trattamento.

Le acque sotterranee, generalmente limpide, sono più semplici da trasformare in acque potabili: se è accertata l'assenza di contaminazioni chimiche (solventi organoalogenati, anti-parassitari, metalli ecc.) e microbiologiche, esse sono già adatte al consumo - al massimo è necessaria una lieve disinfezione di copertura - e possono essere immesse in rete. Purtroppo la natura si ingegna nel complicare le cose, così che ottime acque sotterranee (cioè senza solventi o inquinanti chimici e senza alterazioni da un punto di vista microbiologico) presentano alcune sostanze disciolte, come il ferro, il manganese e l'ammonio, che devono essere eliminate.

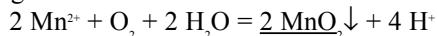
Il processo di rimozione del ferro e del manganese in acque di falda è di solito costituito da un'ossidazione, in pressione o in atmosfera aperta; l'ossidante utilizzato per il ferro è solitamente l'ossigeno dell'aria, mentre per il manganese devono essere impiegati reagenti più energici, come l'ozono, il cloro, il biossido di cloro o il permanganato. Si forma così del materiale solido (precipitato): il trattamento prosegue allora con una filtrazione, a uno o due stadi; il materiale di riempimento del filtro è vario: sabbia, quarzo, carbone, utilizzati da soli o in combinazione. Le condizioni di funzionamento dell'impianto, i reagenti da impiegare e il tipo di letto filtrante sono scelti in base alle caratteristiche generali dell'acqua grezza e alla concentrazione delle sostanze da eliminare. Questi processi di potabilizzazione, conosciuti anche con il termine deferrizzazione e/o demanganizzazione, sono di tipo chimico o chimico-fisico. Le principali reazioni chimiche di ossidazione e precipitazione di questi due ioni, ferroso e manganoso, sono così schematizzate:



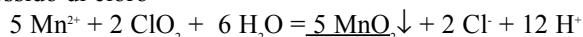
Ferro con ossigeno (aria)



Manganese con ossigeno



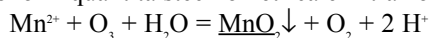
Manganese con biossido di cloro



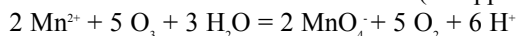
Manganese con permanganato



Manganese con ozono in quantità stechiometrica e filtrazione su sabbia



Manganese con ozono in eccesso e filtrazione su carbone (o doppio strato)



Il permanganato,  $\text{MnO}_4^-$ , è ridotto nel filtro a biossido di manganese,  $\text{MnO}_2$ .

Recentemente sono stati messi a punto trattamenti di tipo biologico per la rimozione di ferro e manganese: nelle acque di falda, dove l'ambiente è chimicamente allo stato ridotto e non c'è presenza di ossigeno disciolto, possono esistere, allo stato latente, alcuni batteri; già semplicemente aerando l'acqua grezza si favorisce il loro sviluppo e l'insediamento all'interno dei filtri. A questi batteri è stato genericamente assegnato il nome di "ferrobatteri" o "manganobatteri" e tra essi possiamo citarne alcuni: *Crenothrix polyspora*, *Gallionella ferruginea*, *Metallogenium*, *Pseudomonas manganoxidans*, *Siderocapsa*, *Sphaerotilus*, *Leptothrix ochracea* ecc. Questi batteri, attraverso meccanismi di tipo enzimatico e catalitico, possono influenzare, direttamente o indirettamente, la cinetica e/o la catalisi della reazione tra lo ione metallico allo stato ridotto e l'ossigeno, favorendo l'ossidazione. Da un punto di vista stechiometrico, gli schemi di reazione interessati sono esattamente quelli visti in precedenza tra lo ione metallico e l'ossigeno, ma la presenza dei batteri permette di poter operare in condizioni che risulterebbero critiche con i meccanismi chimici e chimico-fisici, ed inoltre i prodotti ottenuti (precipitati di ferro e manganese) sono molto più compatti e densi. Ciò da un punto di vista impiantistico rappresenta un notevole vantaggio poiché consente di poter lavorare con flusso più elevato e con un tempo di contatto minore, oltre a diminuire la frequenza dei controlavaggi, senza considerare il fatto che per il manganese non è più necessario dosare alcun prodotto.

La stabilità di temperatura dell'acqua di falda durante tutto l'arco dell'anno, nel nostro caso intorno a 15 - 16 °C, favorisce l'andamento di tutto il processo. Il tempo di incubazione del processo è vario e dipende da molte condizioni, tra cui il tipo di impianto e le caratteristiche qualitative dell'acqua, comunque in generale questo è molto veloce per il ferro e più lento per il manganese; per quest'ultimo occorrono circa due mesi.

Come visto in precedenza, la presenza dello ione ammonio nelle acque è originata da più fattori, ma in quelle superficiali è quasi sempre associata a contaminazione da reflui civili urbani. In questo caso l'eliminazione di questa sostanza deve essere accompagnata da un'energica disinfezione: in genere si ricorre al dosaggio di cloro che ha la doppia funzione di assicurare la scomparsa dello ione ammonio, per reazione chimica diretta, e la distruzione dei microrganismi patogeni, ma come controindicazione forma composti organoalogenati,

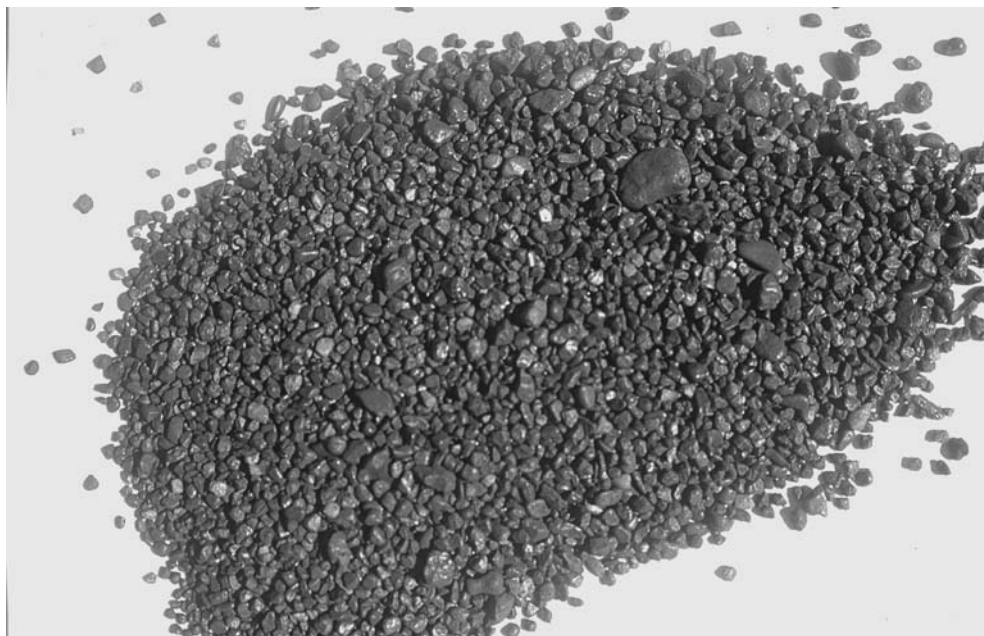


Figura 19 Granuli di quarzo con sopra depositato ossido di manganese proveniente da un impianto di potabilizzazione con rimozione biologica di ferro e manganese.

tra cui i noti trihalometani. In acqua di falda, in assenza di contaminazione batterica, per il trattamento dello ione ammonio, non solo la disinfezione non è necessaria, ma essa è addirittura sconsigliata poiché può facilmente innescarsi il meccanismo biologico, con formazione di *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, già indicato in precedenza, che porta l'ammonio fino a nitrato, utilizzando l'ossigeno disciolto. In pratica la trasformazione biologica si realizza nei filtri installati per la rimozione di ferro e manganese dato che l'ammonio in acqua di falda è spesso associato a questi metalli. L'andamento abbastanza costante della temperatura dell'acqua sotterranea già ricordato è un vantaggio. Il tempo di innesco del meccanismo biologico è dell'ordine di 15 - 20 giorni.

Esistono poi altri trattamenti che stanno incontrando un progressivo interesse: tra essi è opportuno segnalare "l'osmosi inversa". Con questa tecnica è possibile eliminare dall'acqua tutte le sostanze disciolte, dagli ioni alle molecole organiche fino ai batteri e ai virus. L'osmosi è un fenomeno naturale basato sulla diffusione del solvente fra due soluzioni a diversa concentrazione separate da una particolare membrana che ha la capacità di essere attraversata dall'acqua ma non dalle sostanze disciolte, detta quindi "semipermeabile". L'acqua della soluzione a minore concentrazione di sostanze disciolte sotto la spinta di una forza naturale (pressione osmotica) attraversa la membrana e diffonde nell'altra a maggiore concentrazione, fino al raggiungimento di un'identica composizione. Applicando invece alla soluzione a maggiore concentrazione una pressione artificiale progressivamente crescente si otterrà prima un arresto di questa diffusione (pressioni bilanciate), quindi un'inversione di flusso (pressione

applicata maggiore di quella osmotica): è questo il principio su cui è basata la tecnica ad osmosi inversa. Mentre il fenomeno dell'osmosi era stato scoperto più di duecento anni fa, l'utilizzazione moderna del processo ad osmosi inversa è iniziata alla fine degli anni '50. Tuttavia solo nell'ultimo decennio questa tecnica di trattamento si è sviluppata per il notevole miglioramento tecnologico nella realizzazione delle membrane semipermeabili. Queste strutture sono fabbricate con vari tipi di materiale, principalmente acetato di cellulosa e poliammide, inoltre possono essere realizzate in forme tra loro assai diverse: si va addirittura da sottilissimi microtubi capillari (membrane a fibra cava) fino a grandi fogli rettangolari di ridottissimo spessore avvolti a spirale. Anche da un punto di vista chimico le membrane sono disponibili con varie caratteristiche, ad esempio possono essere cloro-resistenti o cloro-sensibili, dipendere o meno dal pH della soluzione, essere attaccate o meno dai batteri. Riguardo alle caratteristiche meccaniche, idrauliche e di resistenza, sono disponibili numerosi tipi di membrane. Al di là dei particolari costruttivi, una parte dell'acqua di alimentazione, sotto la spinta di una pressione adeguata, attraversa (permea) la membrana semipermeabile e viene dissalata (questa frazione è detta permeato) mentre la quota restante, molto concentrata, rappresenta il refluo del trattamento. Con questa tecnica, realizzata di solito con più moduli in serie, è possibile trattare acqua in un campo di temperature comprese tra 5 e 40 °C, in un vasto intervallo di pH (da 2 a 11), con salinità elevata come quella del mare o più. La pressione di esercizio deve essere maggiore di quella osmotica, in pratica è direttamente proporzionale alla quantità di sali disciolti ed è quindi compresa in un ampio intervallo di valori: da poche unità a molte decine di bar. La percentuale di permeato è funzione della salinità iniziale, della pressione applicata, del numero di stadi e della temperatura.

L'osmosi inversa ha trovato recentemente moltissimi impieghi nei più svariati settori: ad esempio la preparazione di acqua ultrapura per l'industria elettronica, oppure di acqua sterile ed apirogena per uso farmaceutico, ma anche per il recupero del concentrato (ad esempio zucchero da soluzioni zuccherine), oltre naturalmente al trattamento di scarichi e alla potabilizzazione di acqua con particolari problemi (inquinamento, eccessiva salinità ecc.).

L'impiego a scopo potabile del permeato è consentito solo dopo una remineralizzazione parziale, per aggiunta di sali o per miscelazione con altra acqua, in modo da ottenere un'acqua con un residuo fisso coerente con l'impiego potabile. In sintesi l'osmosi inversa è una tecnologia eccellente e di avanguardia che può essere utilizzata per numerosi scopi a patto che ogni applicazione sia attentamente studiata, in tutte le sue parti, non ultimo il necessario pretrattamento. Rispetto a tutti questi vantaggi esiste un problema non secondario: il costo di esercizio. Questa voce è al momento abbastanza elevata ed è legata principalmente alle forti pressioni cui deve essere sottoposta l'acqua: in caso di disponibilità energetica a basso prezzo l'osmosi inversa è senz'altro il migliore trattamento possibile.

La produzione di un'acqua ineccepibile da tutti i punti di vista passa attraverso un'approfondita conoscenza di tipo interdisciplinare della risorsa idrica; quindi vengono fissati gli obiettivi di qualità in funzione della disponibilità economica, dei costi di investimento e della gestione. La scelta e la realizzazione del migliore trattamento possibile è allora conseguente. Poi è necessaria un'azione concertata tra la gestione operativa e il laboratorio di controllo per garantire costantemente l'efficienza e la funzionalità dei vari stadi di trattamento.



*Figura 20 Ottima acqua potabile scorre in continuazione da una fontana pubblica in Valle d'Aosta. Le zone ad alta disponibilità idriche e con acque di elevata qualità sono sempre più rare sulla Terra.*

Tutto ciò non deve far dimenticare che il primo stadio del processo di potabilizzazione è la prevenzione: la salvaguardia delle risorse naturali per la produzione dell'acqua potabile ma anche, da un punto di vista più generale, per la tutela dell'ambiente è un obiettivo irrinunciabile. È infatti obbligatorio garantire alle future generazioni un mondo a misura d'uomo, migliorando i rapporti sociali, civili e politici, tra gli individui, i popoli e gli Stati, cercare delle possibilità di sviluppo in sintonia con l'ambiente, tutelare le risorse naturali, in particolare quelle non rinnovabili. In tutto questo quadro anche un'elementare considerazione economica: costa molto meno potabilizzare un'acqua buona piuttosto che una inquinata.

## IL TERRITORIO E IL CLIMA DELLA VALDELSA

La Valdelsa, localizzata nella Toscana centrale, è un territorio che coincide con il bacino idrografico del fiume Elsa, a sua volta sottobacino dell'Arno, ed occupa una superficie di circa 876 Km<sup>2</sup>. Dal punto di vista amministrativo appartiene, in prevalenza, alle province di Firenze e Siena; in misura nettamente minore è interessata anche quella di Pisa.

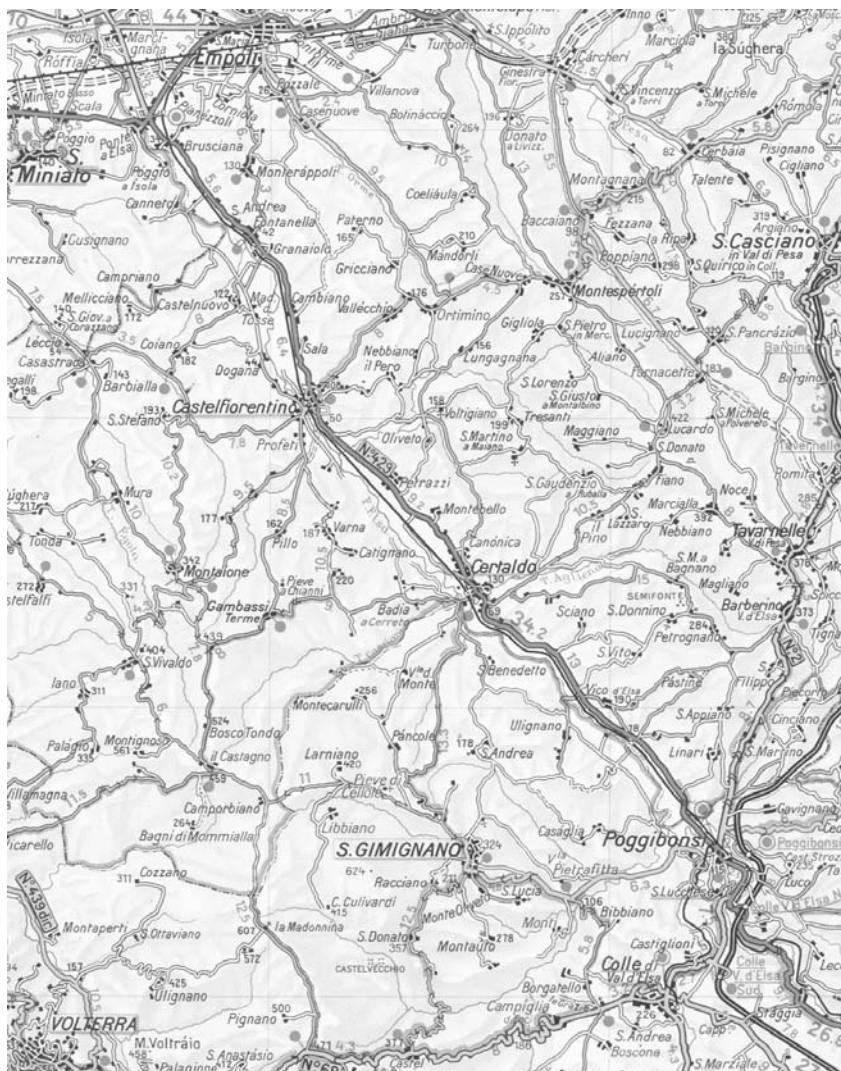


Figura 21 Carta della Valdelsa

La popolazione residente nel bacino idrografico, in base ai dati del censimento del 1991, è pari a 154208 unità. Da un punto di vista geografico il confine nord della Valdelsa è costituito dal fiume Arno, ad est e ad ovest è delimitato dagli spartiacque che segnano i bacini idrografici del fiume Pesa e del fiume Egola, mentre quello a sud è individuato dalle Colline Metallifere senesi, dove nasce l'Elsa, che ha una lunghezza di 72 Km. Dal punto di vista morfologico, a nord si individua un'area pianeggiante, la piana empolesse, mentre al centro e a sud si ha una zona tipicamente collinare che costituisce la caratteristica dominante del paesaggio: in particolare, si tratta di rilievi con altitudine compresa fra 40 e 500 metri sul livello del mare, con prevalenza della fascia altimetrica intermedia, quella racchiusa nell'intervallo 150 - 300 metri.

La Valdelsa appartiene al settore antiappenninico della Toscana, un territorio che fu ricoperto dal mare durante il Pliocene (Era terziaria). In quello che era il *paleo-bacino* dell'Elsa, sedimentarono diversi materiali quali sabbie, argille e conglomerati. In seguito all'emersione di queste terre, si formarono sistemi ondulati, con pendenze quasi sempre inferiori al 20%, fra loro differenziati morfologicamente in funzione della litologia: negli affioramenti prevalentemente argillosi sono bene incise le forme di erosione a calanchi, mentre i livelli sabbiosi determinano, in alcune zone, scarpate di erosione (balze) ed infine nella parte occidentale del bacino prevalgono i dossi argillosi, con forme che ricordano le argille senesi.



Figura 22 *Erosioni a calanchi nelle argille plioceniche delle colline della bassa Valdelsa (dintorni di Canneto, Granaioolo)*

Nei fondovalle, prevalentemente lungo il fiume Elsa, sono presenti i piani alluvionali, formatisi durante il Quaternario, la cui larghezza massima arriva fino a 2 Km.

La zona climatica di appartenenza è quella della Toscana centrale; il clima è caratterizzato da estati calde e aride, inverni miti e con i periodi di pioggia distribuiti prevalentemen-

te in primavera ed autunno. In Valdelsa si registra mediamente una quantità di pioggia di circa 850 mm all’anno.

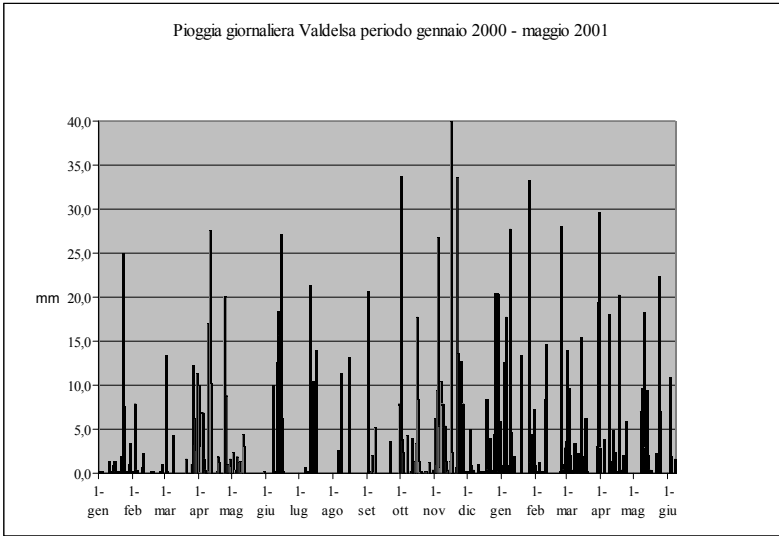


Figura 23 *Piovosità in alta Valdelsa (dati da pluviometro dell’invaso di Cepparello, Poggibonsi)*

I venti dominanti sono quelli occidentali e meridionali, mentre quelli provenienti da nord-est (tramontana) arrivano quasi sempre attenuati per l’effetto barriera operato dall’Alto Appennino toско-emiliano. La temperatura media annua è intorno a 15 °C. Il mese più freddo è gennaio con valore medio intorno a 4.5 °C. Nel gennaio del 1985 si sono registrate le temperature più basse dall’inizio del 1900, in particolare nella notte del giorno 12: mentre nell’area fiorentina (piana di Sesto Fiorentino) la colonna di mercurio scendeva fino a toccare il valore minimo di –22.2 °C, nei dintorni di Ponte a Elsa è stata misurata una temperatura di –19 °C.

Nella Tabella 6 sono riportati alcuni dati di temperatura registrati in occasione del “Grande freddo” del 1985.

Tabella 6 *Alcuni dati di temperatura registrati in occasione del “Grande freddo” del 1985 presso l’abitato di Brusiana. (43° 40’ 18” N - 10° 54’ 19” E)*

10 gennaio		11 gennaio		12 gennaio	
Ore	°C	Ore	°C	Ore	°C
16.30	-4.0	6.50	-18.5	7.00	-17,0
18.00	-10.0	17.00	-7.0	13.00	3,0
19.00	-12.0	19.30	-12.0	18.30	-10,0
21.30	-13.5	22.00	-13.0	19.30	-11.0
23.15	-16.0	-	-	21.30	-11.5



Figura 24 Un'immagine del "Grande freddo" del 1985 sulle colline della Valdelsa

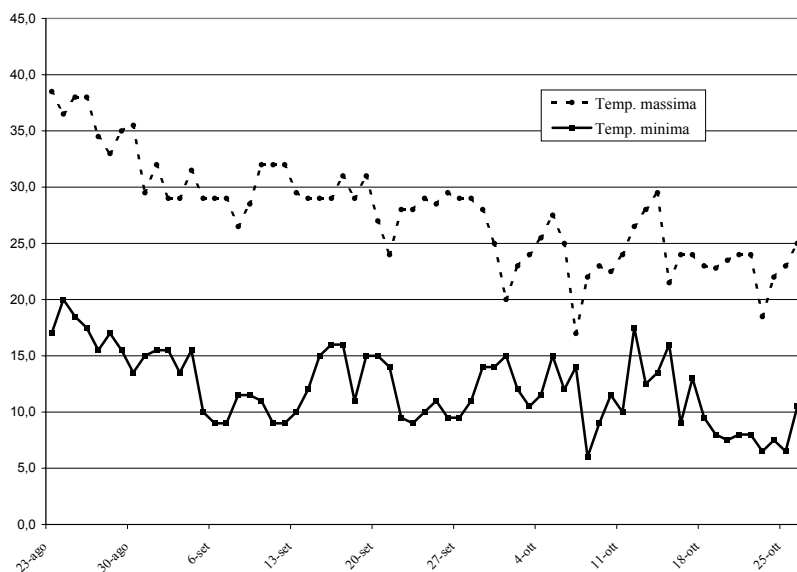


Figura 25 Arrivo dell'autunno in Toscana. Nel grafico è riportato l'andamento della temperatura minima e massima nel periodo fine agosto – ottobre 2000 nei pressi di Brusiana (Bassa Valdelsa). (Rilevamenti a cura degli autori)



Il mese più caldo è generalmente quello di luglio, con una media di 24 °C e con punte massime oltre i 35 °C. L'escursione media delle temperature è di circa 20 °C. Nella Figura 25 è riportato l'andamento della temperatura minima e massima nel periodo fine agosto – ottobre 2000 nei dintorni di Brusiana (Bassa Valdesa): si osserva il lento passaggio dalla fase estiva a quella autunnale.

## **Caratteristiche chimiche delle piogge in Valdelsa**

*Le deposizioni atmosferiche umide (pioggia, neve), oltre a svolgere un ruolo essenziale nel ciclo idrogeologico, veicolano al suolo composti chimici di grande significato ecologico, quali ad esempio, composti dell'azoto (ammonio e nitrati), potassio e altri cationi basici, che costituiscono importanti nutrienti per la vegetazione. [...] A partire dalla seconda metà di questo secolo si evidenziò un altro aspetto, questa volta di segno negativo, collegato alle precipitazioni atmosferiche: la rideposizione al suolo di inquinanti acidi e di un eccesso di composti azotati, emessi in atmosfera dalle attività antropiche. In particolare fu colto dapprima l'aspetto dell'acidità delle deposizioni, che era in grado di alterare l'equilibrio acido-base di acque superficiali collocate in bacini imbriferi costituiti da graniti, gneiss e altre rocce poco dilavabili.*

*Rosario Mosello et al., 2000 – Lo studio delle acque interne nel prossimo millennio. Problemi e prospettive*

Le poche righe sopra riportate costituiscono una buona sintesi sul significato e l'importanza delle piogge, in particolare della loro influenza su quelle acque che non hanno una sufficiente riserva alcalina, cioè sostanze capaci di neutralizzare la presenza di acidità. Nel territorio di nostro interesse non vi dovrebbero essere timori su processi di acidificazione delle acque in quanto i terreni calcarei di buona parte della Valdelsa manifestano ottime capacità di neutralizzazione dell'eventuale acidità delle piogge.

Una breve nota si è resa necessaria su questo argomento dopo che a lungo si è parlato e si parla delle qualità delle piogge nel nostro Paese. Riflessioni non da poco, se si considera che le piogge costituiscono le principali fonti di alimentazione delle riserve idriche sotterranee da cui si estrae l'acqua che solitamente si presenta con migliori qualità ai fini potabili.

Per quanto riguarda le piogge, in Valdelsa non sembrano esservi al momento dati disponibili oltre a quelli ricavati in alcune campagne di campionamento a cura degli autori. I campioni sono stati prelevati con una tecnica successivamente messa a punto e principalmente adottata per i prelievi in aree montane.

Di un certo interesse può essere il confronto fra la composizione chimica delle piogge campionate nel 1991 in un punto della Bassa Valdelsa e in aree differenti della Toscana, tra l'altro ad altitudini diverse (Tabella 7).

Tabella 7 Valori medi ricavati in campioni raccolti nel corso del 1991 in alcune aree della Toscana. Si noti la similitudine di composizione fra i valori relativi alle piogge in Valdelsa (Brusciana, Empoli) e in aree a minore impatto antropico

Località	Unità di misura	Valdelsa Abitato di Brusciana (Empoli)	Montalbano (Faltognano, casa Paladini, Vinci)	Monte Rondinaio (Appennino, Lucca)	Monte Roccandagia (Apuane, Lucca)
Altitudine	m	32	330	1880	1700
Data installazione		28/05/1991	28/05/1991	26/05/1991	20/05/1991
Data ritiro prelevatore		28/10/1991	30/10/1991	02/11/1991	12/10/1991
Quantitativo pioggia caduta	mm	603	598	558	789
Conducibilità elettrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C	19.8	22.7	14.4	23.8
pH		5.5	4.7	4.6	5.9
Cloruro	mg/L Cl	2.2	2.1	1.1	3.0
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub>	0.7	1.3	0.4	1.0
Solfato	mg/L SO <sub>4</sub>	3.0	2.5	1.9	2.2
Sodio	mg/L Na	1.2	1.3	0.6	1.9
Potassio	mg/L K	0.2	0.1	0.1	0.1
Calcio	mg/L Ca	1.3	0.6	0.5	0.8
Magnesio	mg/L Mg	0.3	0.2	0.1	0.3
Ferro	$\mu\text{g}/\text{L}$	14.7	10.8	12.4	9.7
Manganese	$\mu\text{g}/\text{L}$	6	4	5	3
Cadmio	$\mu\text{g}/\text{L}$	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cromo	$\mu\text{g}/\text{L}$	1.7	< 1	< 1	< 1
Piombo	$\mu\text{g}/\text{L}$	1.3	1.2	1.1	1.6
Rame	$\mu\text{g}/\text{L}$	6	3	1	1
Alluminio	$\mu\text{g}/\text{L}$	20.0	30.5	24.9	23.1

I dati, presentati nella Tabella 7 sono certamente pochi e sono riferiti a quelli medi ricavati in campioni raccolti nel periodo maggio-ottobre 1991. Sono dati che forse appartengono al passato, ma intanto da un loro rapido esame, non sfugge la notevole similitudine di composizione fra i diversi campioni. Per quanto riguarda i componenti principali (sodio, potassio, calcio, nitrati, cloruri ecc.), si osserva che la pioggia della Valdelsa presenta la stessa composizione di quelle raccolte sia in zone collinari a più basso indice di antropizzazione (dintorni di Faltognano, Vinci), sia addirittura in aree a quote piuttosto elevate (Monti Rondinaio e Roccandagia) dove l'aria e la pioggia sono certamente migliori di quelle presenti nelle valli. Per quanto riguarda i metalli, è interessante la similitudine di composizione: i valori osservati indicano bassi livelli di contaminazione, anche se il piombo appare cer-

tamente un contaminante ubiquitario dato che è trasportato in alta quota dai moti dell'aria: il valore di circa 1  $\mu\text{g/L}$  di questo metallo nelle piogge in aree montane della Toscana è stato confermato anche in altri campioni raccolti negli anni successivi. Nelle piogge campionate in aree urbane questo metallo è in concentrazioni maggiori: i dati più recenti di cui si dispone (Indagine nell'area fiorentina, *La qualità dell'aria: deposizioni umide a Firenze e Vallombrosa* - Collaborazione Ist. Tecn. L. da Vinci – ARPAT, 2000) indicano quantità fra 2 e 20  $\mu\text{g/L}$ , valori mediamente più bassi del decennio precedente quando erano ancora poco diffuse le benzine senza piombo.



Figura 26 Aree collinari della Valdelsa dove sono stati localizzati i campionatori per le piogge (dintorni di S. Quintino - S. Miniato)

Dai dati presentati si può rilevare inoltre che nel corso del 1991, durante il periodo di campionamento, nella zona della Valdelsa dove era posta la stazione di prelievo era caduta pioggia, mediamente, con un'acidità nella norma (pH 5.5). Questa era dovuta principalmente al contenuto di anidride carbonica atmosferica e in misura molto minore ad acido solforico (proveniente dall'ossidazione dell'anidride solforosa prodotta dalla combustione dello zolfo presente negli idrocarburi, ma anche da fenomeni naturali come le eruzioni vulcaniche) e da acido nitrico (provenienti dalla sintesi degli ossidi di azoto in seguito alle combustioni prodotte dall'attività umana, ma anche dalle scariche elettriche dei fulmini).

Questi dati potrebbero indicare che l'aria della Valdelsa non determina influenze negative sulle piogge. Ciò è generalmente probabile, ma solo in aree poste ad una certa distanza dalla Strada Statale 429. Questa strada, che sopporta un carico eccessivo di automezzi, è fonte, almeno localmente, di forte inquinamento da polveri, idrocarburi, metalli e tutto quan-

to esce dai tubi di scappamento delle migliaia di camion e auto che vi transitano ogni giorno. I dati rassicuranti delle piogge raccolte in Valdelsa non hanno molte relazioni con l'inquinamento atmosferico indotto da quella strada, anche perché il campionatore era posto in una zona sufficientemente riparata dalle influenze della strada stessa, con venti dominanti da ovest, provenienti da aree a bassa contaminazione.

Nella Tabella 8 sono riportati recenti dati di composizione delle piogge campionate in alcune zone della Valdelsa e in un'area montana appenninica. I dati presentati, ugualmente relativi ad una serie costituita da mesi e non a periodi molto lunghi, per quanto riguarda i componenti principali, evidenziano una situazione un pò diversa da quella osservata 10 anni prima, che comunque non indica un peggioramento della composizione ma una serie di situazioni meteorologiche che hanno determinato un differente chimismo di quelle precipitazioni. Si osservano quindi acque di pioggia più mineralizzate (conducibilità elettrica da 46 a 63  $\mu\text{S}/\text{cm}$  25 °C) e con valori di pH più elevati: ciò può essere imputabile ad apporti di aerosol basici (polveri sahariane, ricche in carbonati, trasportate da intensi venti sciroccali). Una mineralizzazione ugualmente elevata, pur imputabile ad ioni diversi, (conducibilità elettrica 55  $\mu\text{S}/\text{cm}$  25 °C) si riscontra nel campione di pioggia raccolto sul M. Rondinaio. Ancora una volta i dati indicano una scarsa differenziazione fra la tipologia delle piogge campionate in Valdelsa e quelle in aree montane della Toscana.

Tabella 8 *Recenti dati di composizione delle piogge campionate in alcune zone della Valdelsa e in un'area montana appenninica*

		Valdelsa - Settore ovest abitato di Brusciaia (Empoli), m. 32 43° 40' 18'' N 10° 54' 19'' E		Colline di S. Quintino (S. Miniato, Pisa), m 178 43° 39' 01'' N 10° 53' 46'' E		M. Rondinaio - sperone SE, m. 1880 44° 06' 49'' N 10° 35' 41'' E
Data deposiz. prelevatore		29/09/2001	24/03/2002	29/09/2001	24/03/2002	13/05/2001
Data ritiro prelevatore		24/11/2001	24/05/2002	24/11/2001	24/05/2002	01/05/2002
Quantitativo pioggia	mm	209	183	184	168	672
Conducibilità elettrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C	46.0	55.2	47.7	63.8	55.0
pH		7.7	7.5	7.6	8.2	7.5
Cloruro	mg/L Cl	1.9	1.8	2.2	1.8	2.1
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub>	1.2	<0.5	1.4	<0.5	1.9
Solfato	mg/L SO <sub>4</sub>	2.3	2.5	2.6	2.1	3.6
Sodio	mg/L Na	5.0	4.6	5.6	6.8	1.4
Potassio	mg/L K	0.2	0.3	0.2	0.2	1.0
Calcio	mg/L Ca	4.8	6.2	5.1	5.9	1.8
Magnesio	mg/L Mg	1.1	1.1	1.2	1.3	0.4
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	0.09	0.06	0.04	<0.04	-

### Altre precipitazioni

Precipitazioni diverse dalla pioggia sono abbastanza rare in Valdelsa. La neve costituisce un evento quasi eccezionale (almeno nella Bassa Valdelsa) così come la grandine, relegata ad episodi che solo recentemente, forse, possono essere associati a quei segnali di cambiamento climatico che si manifestano con precipitazioni estremamente intense anche in aree non tropicali (si ricordi la grande tempesta che colpì Parigi a fine anno 1999). Nell'ambiente, pur circoscritto e di limitate dimensioni della Valdelsa, ci si riferisce all'episodio della grandinata del 27 aprile 2002, quando in pochi minuti una fascia di questa valle è stata duramente colpita da una grandinata intensa che ha prodotto ingenti danni. In Valdelsa, un episodio con questa tipologia, caratterizzato da così forte intensità e da chicchi di grandi dimensioni, non è ricordato, almeno nella memoria dei recenti 20 anni. In Tabella 9 sono riportati i dati di composizione della grandine caduta in occasione di quel particolare evento. I valori indicano concentrazioni molto basse dei componenti principali, come è da attendersi per una meteora che si forma a notevoli altezze, e una sostanziale similitudine di composizione fra i chicchi raccolti in differenti località, comunque distanti fra loro pochi chilometri. Si nota la presenza di ammonio e nitrato, in concentrazioni che individuano i valori del fondo naturale.

Tabella 9 *Dati di composizione della grandine caduta in alcune zone della Valdelsa il 27 aprile 2002*

Località	Colline di Ponte a Elsa	Abitato di Brusiana
Altitudine in m	120	35
Conducibilità elettrica	15.7	15.1
pH	7.6	7.5
Ammonio	0.21	0.11
Cloruro	0.83	0.49
Nitrato	0.84	0.52
Solfato	0.83	1.05
Sodio	0.37	0.23
Potassio	0.15	0.17
Calcio	1.10	1.25
Magnesio	0.11	0.08



Figura 27 *Dimensioni della grandine raccolta in Valdelsa in seguito all'episodio del 27 aprile 2002.*

### ***La rete idrografica e l'Ambito Territoriale Ottimale***

La rete idrografica della Valdelsa è formata da vari corsi d'acqua (Agliona, Foci, Casciani ecc.) a regime tipicamente torrentizio che confluiscono nell'Elsa. La stessa portata di questo fiume, fortemente influenzata dalla distribuzione stagionale delle piogge, presenta un regime molto variabile con piene fino a 450 m<sup>3</sup>/s (questo valore rappresenta la massima portata smaltibile) e tempi di ritorno, su base statistica dell'intero secolo, di 17-20 anni. Le alluvioni più importanti causate dal fiume Elsa, limitate al ventesimo secolo, sono quelle degli anni 1907, 1928, 1949, 1966, 1991, 1992. Queste esondazioni sono legate a fenomeni naturali, ma certamente aggravate dal dissesto idrogeologico. Le colline plioceniche presentano suoli facilmente erodibili specialmente nelle zone disboscate e messe a coltura. L'impermeabilità e la scarsa copertura vegetale dei terreni argillosi determinano un'elevata velocità di scorrimento delle acque di pioggia: da una parte si registra un incremento di frane, l'approfondimento delle strutture a calanchi e dei soliflussi, e dall'altra l'arrivo di ingenti masse d'acqua nel fondovalle in tempi sempre più brevi.



Figura 28 *Esondazione del fiume Elsa nei dintorni della frazione di Ponte a Elsa (novembre 1991)*

La modifica delle coltivazioni agricole verso forme improntate al massimo rendimento con trascuratezza delle opere di regimazione delle acque pluviali (eliminazione dei vecchi terrazzamenti, spianamenti delle “scoline” che drenavano i campi e che costituivano la prima ramificazione di tutto il sistema di scolo collinare, interrimento ed abbandono dei fossi maestri) ha contribuito ad aggravare l'intensità delle inondazioni di fondovalle. In particolare, l'Elsa riceve una quantità sempre più elevata di sedimenti che pongono difficoltà insormontabili nelle opere di ripulitura dell'alveo del fiume.

La rete idrografica dell'Elsa è compresa nel bacino idrografico dell'Arno: è proprio questo concetto geografico il criterio adottato per definire l'area gestionale del “servizio idrico integrato”.

La Legge n° 36 “Disposizioni in materia di risorse idriche”, approvata il 5 gennaio 1994, si prefigge l'obiettivo di fornire un servizio efficiente ed accettabile non solo per la distribuzione delle acque potabili, ma anche per la depurazione di quelle usate, cioè “il servizio idrico integrato”. In pratica questa legge promuove la tutela e l'uso razionale delle acque al fine di evitarne lo spreco, prevede la riorganizzazione del sistema gestionale (sinora in Italia generalmente molto frammentato e parcellizzato) all'interno di un *Ambito Territoriale Ottimale*, la cui individuazione è di competenza regionale. Le Regioni definiscono tali Ambiti sulla base di varie caratteristiche, tra cui l'estensione territoriale, del bacino o sub-bacino idrografico e della localizzazione delle risorse, in modo da conseguire una dimensione gestionale accettabile sia dal punto di vista tecnico che per entità di popolazione servita. Su questa base la



Regione Toscana ha definito sei ambiti territoriali: tra essi, quello denominato Basso Valdarno, comprende il tratto finale dell'Arno, in pratica dall'inizio del Comune di Montelupo sino alla foce, e tutti i suoi affluenti, tra cui il fiume Elsa. L'intero territorio della Valdelsa, dal punto di vista dell'uso delle risorse idriche, è dunque compreso in questo ambito.

### ***La litologia del territorio della Valdelsa e la sua influenza sulla tipologia delle acque***

Fino da tempi molto antichi erano note le influenze dei terreni sulla composizione delle acque che li attraversano. Il naturalista romano Plinio aveva scritto una celebre frase a tale proposito, frase che si evita di riportare perché abusata; nonostante le conoscenze scientifiche sulle acque in quei tempi più modeste di quelle attuali, egli aveva compreso l'influenza della natura del terreno attraversato dalle acque nel determinare la loro composizione. Plinio era probabilmente giunto a queste conclusioni, sia con una formidabile intuizione che con una serie di osservazioni: si può presumere che egli, pur non conoscendo la composizione chimica delle acque, abbia notato che queste manifestano una notevole differenza di comportamento; ad esempio, egli può avere osservato che tra gli acquedotti del vasto Impero Romano c'erano quelli in cui le tubature tendevano ad ostruirsi, mentre avrà notato che altre acque scorrevano da secoli in condotte senza lasciare traccia alcuna, infine avrà conosciuto le diverse tipologie delle acque termali osservando opposti fenomeni di incrostazione e aggressività, capace quest'ultima di corrodere perfino i tubi metallici.

Allo stesso modo la tipologia delle acque in Valdelsa è determinata dalla natura dei terreni attraversati: avremo così acque con elevato contenuto in solfati se queste hanno percorso terreni ricchi di livelli gessosi (il gesso è composto da solfato di calcio), saranno presenti acque caratterizzate da cloruri se queste hanno attraversato antichi depositi salini di origine marina e acque infine con alta concentrazione di ammonio se saranno venute a contatto con i resti di antiche paludi trasformate in torbiere, successivamente ricoperte da sedimenti.

La tipologia delle acque, quando non è influenzata da fattori antropici, è quindi in diretta relazione con la natura del suolo e del sottosuolo. Per capire la qualità delle acque naturali di un certo territorio è importante disporre delle informazioni sulla geologia del bacino interessato.



Figura 29 *L'Appennino tosco-emiliano dalle colline della Valdelsa (gruppo monte Gennaio – Corno alle Scale)*

## GEOLOGIA DELLA VALDELSA - LINEE GENERALI

*La conoscenza geologica di un territorio non rappresenta solo un punto di arrivo del “sapere” scientifico, bensì uno strumento basilare per la risoluzione di problemi concreti che il singolo cittadino e, ancor più, le varie amministrazioni devono quotidianamente affrontare.*

*(Bossio A. et al., L'Alta Val d'Elsa: nascita ed evoluzione geologica, 1999)*

Se si osserva una carta geologica della Valdelsa, l'area compresa fra la sua confluenza in quella dell'Arno fino alle zone intorno a Poggibonsi (un territorio con una superficie di almeno 2/3 della valle), si rimane colpiti dall'uniformità dei colori, fatto che indica anche una similitudine geologica: i litotipi affioranti sono principalmente sabbie e argille, fra loro mescolate o sovrapposte le une alle altre. Queste rocce appartengono a quello che è chiamato il *Complesso neoautoctono*, cioè un insieme di rocce di età terziaria (recente in termini geologici) depositate là dove ora si trovano (autoctono). Nel dettaglio, a questo complesso appartengono principalmente argille marine, sabbie e conglomerati marini (Pliocene); in misura minore, come entità dell'affioramento, si osservano: calcari lacustri (Pleistocene), argille lacustri (Miocene superiore), arenarie (arenaria di Ponsano, Miocene medio) ed altre formazioni di tipo sedimentario.

La natura geologica dei terreni determina anche la morfologia, con una similitudine di paesaggio sul margine destro e sinistro della valle: la lunga e pittoresca serie delle colline toscane ornate da casolari, campi coltivati, boschi e filari di cipressi. Nella parte inferiore del bacino dell'Elsa prevalgono i litotipi argillosi, mentre nella parte medio-alta prevale la facies sabbiosa. I depositi argillosi danno luogo a lunghe *groppe* ondulate, talvolta incise da profondi calanchi come nei dintorni di Casale (Certaldo). Gli affioramenti di sabbie e di conglomerati, sviluppati nella parte più elevata delle colline, determinano un aumento di pendenza rispetto alla disposizione poco acclive dei pendii argillosi. Nella Figura 30 è riportata una sezione stratigrafica (dalla *Carta geologica d'Italia*, foglio n 112, Volterra) della valle dell'Elsa all'altezza dell'abitato di Granaiole. In questa figura si osserva sia l'alternanza di sabbie e argille lungo le dorsali prospicienti il fiume, sia una sostanziale omogeneità di questi sedimenti anche in profondità.

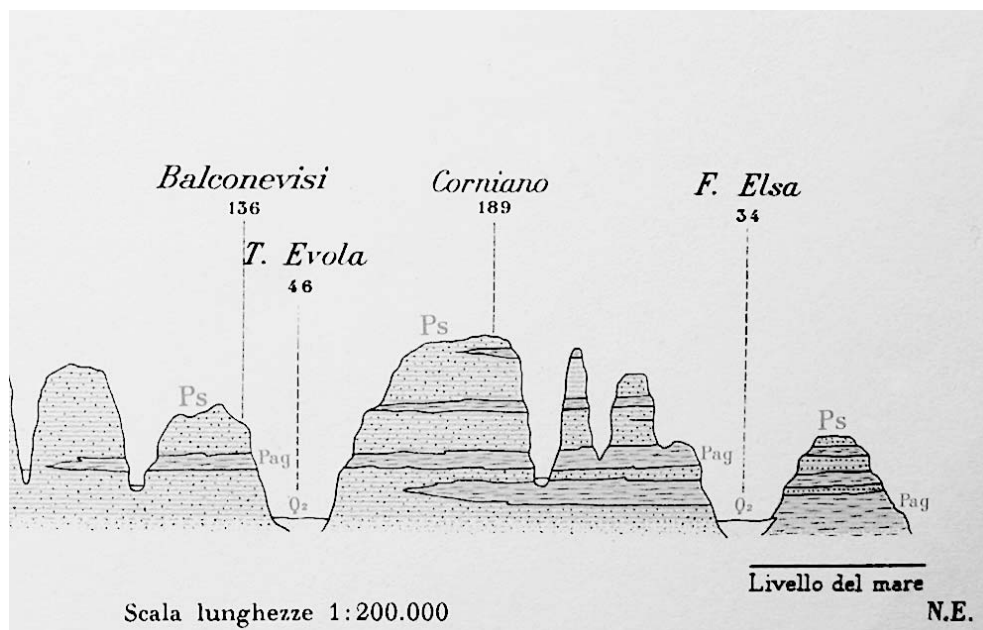


Figura 30 Sezione stratigrafica della valle dell'Elsa all'altezza di Granaiolo. Ps: sabbie gialle e arenarie (Pliocene); Pag: argille azzurre e cenerine (Pliocene), Q: depositi alluvionali recenti e attuali (Quaternario)

Le argille e sabbie si sono depositate in ambiente marino: talvolta profondo (argille azzurre), ma spesso litoraneo, in un antico mare del Pliocene (tra 5 e 3 milioni di anni fa). In questi sedimenti sono rinvenuti frequenti fossili di numerosi organismi marini: per la loro bellezza e per l'ottimo livello di conservazione hanno alimentato numerose collezioni paleontologiche private e musei pubblici (Museo di Paleontologia di Empoli).



Figura 31 “*Fusinus clavatus*”, Pliocene di Casale (Certaldo, 1982)

Proseguendo le osservazioni sulla carta geologica, in direzione sud, compare un litotipo particolare: il travertino, roccia formata per precipitazione di carbonato di calcio da acque calde. Il travertino si presenta in forma di rocce compatte o spugnose, di colore biancastro, poste sul fondovalle o in terrazze che si elevano per circa 70 - 80 metri sul fondovalle. La loro età va dall'Olocene (circa diecimila anni) al Pleistocene (1 milione di anni). Il fiume Elsa nasce in parte da sorgenti localizzate in questi banchi rocciosi. Il travertino, quando è di colore chiaro e abbastanza compatto viene estratto per essere impiegato come pietra per costruzione.

Ma la rappresentazione che fino ad ora si è data della litologia della Valdelsa è molto semplificata: per osservare qualcosa di diverso occorre volgersi in direzione sud-ovest dove diversi e particolari litotipi che complicano il sistema, affiorano al margine occidentale e verso sud. Fra il torrente Staggia e l'Elsa e lungo un sistema allineato che va da Iano (Montaione), al sistema montuoso a ovest di S. Gimignano (Poggio del Comune) fino alla Montagnola senese, affiora quello che è definito il *Complesso della serie toscana ridotta*: vi appartengono le breccie calcaree contenenti anidrite (solfato di calcio anidro), calcari e calcari dolomitici. Nell'insieme sono rocce piuttosto antiche, appartenenti all'era mesozoica (Triassico e Giurassico, da 230 a 160 milioni di anni). L'area carsica della Montagnola senese appartiene in parte al bacino del fiume Elsa e in parte a quello della Merse (bacini principali Arno e Ombrone). Il limite dei due bacini non è delineato in modo netto.

In direzione sud-ovest vi sono piccoli lembi di sedimenti che appartengono al Miocene, periodo geologico di età compresa fra 22 e 5 milioni di anni, con sedimenti lacustri costituiti prevalentemente da sabbie, argille e conglomerati con affioramenti intorno a Casole d'Elsa. Vi sono poi rocce che appartengono alla serie miocenica salmastra calcareo-gessifera.

Rocce molto particolari affiorano infine nei dintorni di Iano, nel Comune di Montaione: sono argilloscisti neri e strati di arenarie grigie a grana fine attribuite al carbonifero superiore, sicuramente il termine più antico affiorante in Valdelsa e fra più antichi in Toscana. A queste rocce, appartenenti all'era paleozoica, si attribuisce un'età di circa 280 milioni di anni. In questi strati, in particolare negli argilloscisti e più raramente nelle arenarie, si trovano resti fossili, prevalentemente di felci.

Nei dintorni di Iano affiorano inoltre ofioliti, costituite soprattutto da serpentino, poi calcari dolomitici neri stratificati, calcari "cavernosi", dolomie e anidrite (gesso): vedremo in seguito quanto questa litologia complicata, con rocce molto eterogenee, determina anche particolari composizioni delle acque che vi circolano.

Infine, nella carta geologica non "brilla", sia per il colore sia per la modesta entità dell'affioramento, un litotipo fino ad ora trascurato nelle varie descrizioni: questo è costituito da depositi fluviali formati da sabbie, argille sabbiose e ciottoli depositati nel Quaternario lungo il corso dell'Elsa e dei principali affluenti; sono sedimenti di notevole interesse per l'approvvigionamento idrico.

La carta geologica indica soprattutto ciò che affiora. Ma sotto cosa c'è? Ai fini della conoscenza della circolazione e della natura delle acque, questa è una parte importante. Alcune informazioni su quella che è la geologia del sottosuolo (litologia, stratigrafia ecc.) provengono da perforazioni effettuate per gli scopi più diversi: da prospezioni minerarie,



Figura 32 *Flora fossile nei sedimenti del carbonifero superiore (Paleozoico); dintorni di Iano (Montaione)*

all'apertura di cave e miniere, alla semplice escavazione di un pozzo. Nelle carte geologiche sono spesso riportate delle sezioni che danno frequentemente valide indicazioni sulla natura delle rocce affioranti e su quelle localizzate in profondità. Il quadro quindi si complica molto. Ad esempio, alcune perforazioni di profondità in una zona sulle colline intorno a Certaldo ci dicono che i depositi costituiti da argille e sabbie plioceniche arrivano ad alcune centinaia di metri, con progressiva presenza di acque salmastre man mano che si scende in profondità. In conclusione, molto si sa della geologia di superficie, poco di quella di profondità, con conseguenti difficoltà nella conoscenza delle acque sotterranee.

### ***I processi di formazione delle acque in Valdelsa***

I principali componenti delle acque (sodio, potassio, calcio, magnesio, idrogenocarbonato, solfato, cloruro) provengono da interazioni con le rocce presenti nel suolo e sottosuolo. Per la particolare tessitura dei terreni presenti in Valdelsa (fine granulometria), a parte il corpo roccioso della Montagnola senese dove sono presenti fenomeni carsici, i processi di interazione determinano un'intensa solubilizzazione sia delle rocce che dei loro prodotti di alterazione.

Fra le rocce che determinano il chimismo delle acque sotterranee in Valdelsa si riscontra la presenza di rocce carbonatiche, rocce evaporitiche, argille e marne, sabbie e ghiaie, rocce ofiolitiche, rocce cristalline.

## Rocce carbonatiche

Mentre nelle montagne di natura calcarea, la circolazione delle acque nelle rocce avviene soprattutto attraverso fratture e condotti di origine carsica ben localizzati, con limitate superfici di contatto, nei terreni molto sciolti si determina una maggiore superficie e tempi lunghi di movimento della falda; ciò incrementa l'interazione tra acqua - roccia e quindi il passaggio di ioni in soluzione. Questo è ciò che avviene per gran parte delle acque della Valdelsa: la lenta circolazione attraverso sedimenti a fine granulometria, determina la formazione di acque ricche di sali, spesso acque "dure" per l'elevato contenuto di calcio e magnesio. La notevole durezza è da imputarsi alla lenta dissoluzione di incrostazioni e depositi di carbonato di calcio ad opera delle acque di alimentazione: esse, provenendo per infiltrazione dalla superficie, sono ancora ricche in anidride carbonica ed hanno quindi una notevole capacità di solubilizzare il carbonato di calcio, con formazione di ioni calcio e bicarbonato.

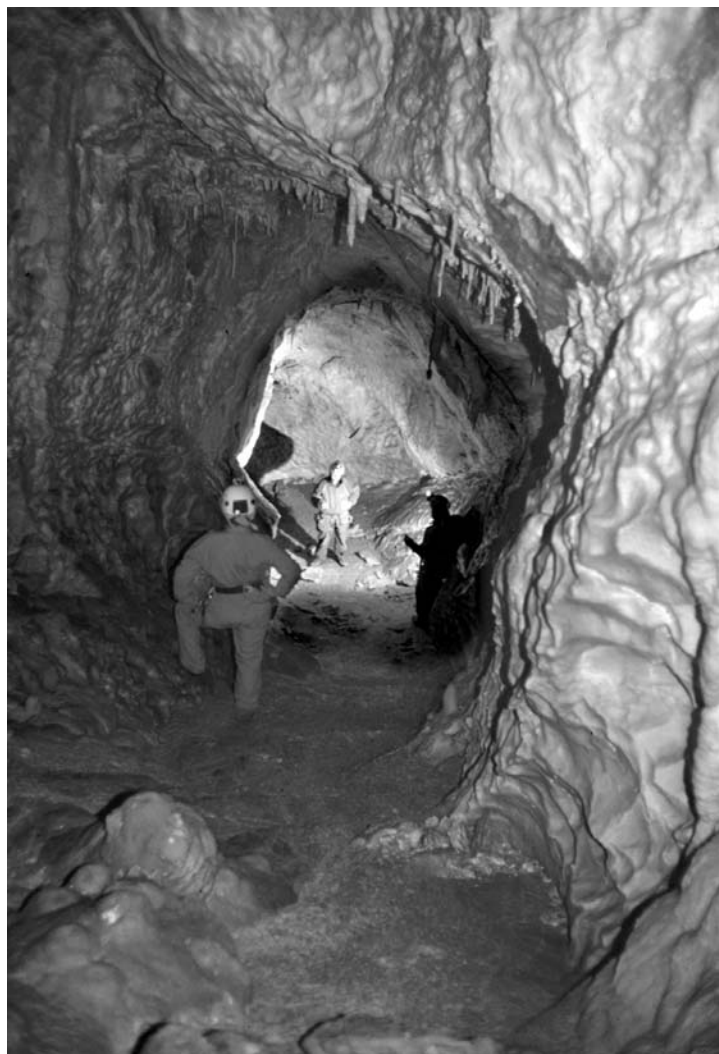


Figura 33 *Effetti dell'erosione carsica prodotta dall'acqua in una grotta localizzata entro rocce carbonatiche (Antro del Corchia, Alpi Apuane)*

Un fenomeno simile è osservabile in superficie: le acque piovane, molto ricche in anidride carbonica, attaccano le rocce calcaree e portano in soluzione il calcio: questa attività, in alcuni casi molto intensa e nota con la definizione “carsismo”, determina la formazione di vistose erosioni superficiali sulle rocce ed è la principale causa di escavazione delle grotte all’interno dei sistemi montuosi calcarei.

### **Rocce evaporitiche**

Le evaporiti sono rocce saline composte prevalentemente da solfati e cloruri di calcio, sodio e magnesio che si sono formate per evaporazione sia di acqua marina, sia di acqua contenuta in bacini endoreici; questi sono depressioni generalmente occupate da sistemi lacustri con bilancio evaporazione-precipitazione deficitario. Generalmente in un bacino endoreico situato in una zona a clima secco si verifica frequentemente una forte concentrazione dei sali disciolti fino alla precipitazione di questi e la formazione di estesi affioramenti salini. Rocce di questa natura, sono frequentemente disperse nei terreni sabbiosi e argillosi, talvolta in veri propri depositi e strati rocciosi. In particolare, le acque che vengono a contatto con rocce contenenti gesso si arricchiscono rapidamente in solfati grazie alla elevata solubilità di questo minerale. Anche il salgemma (cloruro di sodio), ancora più solubile, fa sì che acque che attraversano queste rocce ne sciolgano grandi quantità arricchendosi in misura considerevole di ioni cloruro e sodio. Se si percorrono le vecchie cave di argilla di Ponte a Elsa o le aree calanchive nelle argille plioceniche dei dintorni di Castelfiorentino e Certaldo, ci si imbatte spesso in cristalli di gesso, anche di grandi dimensioni. Questi sono i minerali che determinano le elevate concentrazioni di solfati nelle acque sia superficiali che sotterranee.



Figura 34 *Affioramento di argille nei pressi di una cava dismessa (dintorni di Ponte a Elsa)*



## Argille e marne

I terreni ricchi di argilla sono caratterizzati da una permeabilità bassissima, pertanto le acque che si trovano in acquiferi contenenti argille e marne hanno moti molto lenti e quindi hanno tutto il tempo di arricchirsi di ioni. Le acque contenute nei terreni argillosi sono dunque caratterizzate da elevate concentrazioni di tutti gli ioni principali, anche in ragione del fatto che queste rocce, quando recenti e di origine marina, possono contenere acque che mantengono ancora parte dell'originale salinità. Nel caso si tratti di marne (roccia formata da calcare e argilla in percentuale variabile) assume rilevanza il contenuto di calcio e magnesio. Le acque provenienti da argille, quando queste si sono formate in ambienti riducenti, contengono talvolta ammonio.

## Sabbie e ghiaie

Gli acquiferi formati da queste rocce sono quelli di maggiore interesse in Valdelsa perché immagazzino la maggiore quantità di acqua. Le acque che vi circolano presentano comunque basse velocità di flusso; si ha inoltre un elevato sviluppo della superficie di contatto acqua-roccia che determina un contenuto di solidi disciolti ancora elevato. Quando la componente calcarea dei clasti è rilevante, si avranno alti tenori di calcio disciolto (ad es. acque ad elevata durezza come quelle nei dintorni di Castelfiorentino, fino a 82 °F). In alcuni casi il carbonato di calcio è fornito dalla dissoluzione dei gusci degli organismi fossili, molto diffusi nei livelli sabbiosi della Valdelsa. Vere e proprie sabbie a coralli affiorano durante le opere di aratura in molte aree collinari, mentre i livelli fossiliferi intersecano i grandi banchi sabbiosi dove questi sono messi a nudo dall'erosione.



Figura 35 *Affioramenti di coralli nelle sabbie plioceniche delle colline della Valdelsa. La diffusa presenza di questi fossili costituisce in alcuni casi una significativa componente calcarea dei sedimenti costituenti gli acquiferi*

## **Rocce ofiolitiche**

Le ofioliti sono rocce vulcaniche ultrabasiche depositatesi in ambiente marino profondo. Queste rocce costituivano in origine lembi di crosta oceanica e di mantello sovrascorsi su aree continentali durante la subduzione di un braccio oceanico. I movimenti orogenetici che hanno formato l'Appennino hanno spostato e dislocato le masse rocciose ofiolitifere in varie zone della Toscana. Sono rocce ricche in silicati di ferro, alluminio e magnesio, elementi accompagnati da concentrazioni minori di manganese e titanio. L'alterazione dei minerali delle rocce ofiolitiche porta in soluzione principalmente ferro, alluminio, calcio e magnesio. Mentre ferro e alluminio, una volta in soluzione possono di nuovo venire immobilizzati sotto forma di idrossidi, in soluzione restano calcio e magnesio. Le ofioliti sono in origine rocce a bassa porosità, con circolazione idrica limitatissima. Le azioni tettoniche di compressione e di distensione subite da queste masse rocciose durante le varie fasi dell'orogenesi appenninica, hanno dato luogo ad un reticolo di fratture che conferisce loro una buona capacità di immagazzinare e trasmettere acqua: rocce di questo tipo sono quindi sedi, talvolta, di acquiferi di una certa importanza.

Rocce ofiolitiche affiorano nei dintorni di Gambassi e Montaione.

## **Rocce cristalline**

Le rocce cristalline (graniti, gneiss, filladi ecc.) sono costituite per lo più da minerali a bassa solubilità e pertanto le acque che vengono a contatto con questi tipi di rocce si arricchiscono assai poco di minerali. Sono rocce poco frequenti in Valdelsa, tuttavia un affioramento di aplite si osserva a sud di Gambassi Terme, nei pressi di Camporbiano. Queste rocce, in filoni di colore chiaro e di modeste dimensioni, sono prevalentemente formate da quarzo, feldspato (ortoclasio), plagioclasio e piccole quantità di mica. I pochi ioni in soluzione sono costituiti prevalentemente da sodio e potassio.

Nelle acque sotterranee, in funzione delle specifiche caratteristiche degli acquiferi, le principali sostanze disciolte sono talvolta accompagnati da elementi e altri composti in concentrazioni significative. Fra questi si riscontrano ferro, manganese e ammonio, in concentrazioni dell'ordine dei mg/L, presenti per fenomeni del tutto naturali, ma capaci di condizionare in modo negativo le acque quando queste vengono impiegate per uso potabile (e talvolta per altri impieghi).

Il ferro è uno dei componenti essenziali della crosta terrestre. Presente in numerosi minerali, circola nei suoli in seguito all'alterazione di numerosi minerali primari (miche, anfiboli ecc.). Con la distruzione della struttura cristallina di questi minerali in seguito alla loro alterazione per ossidazione (ad esempio, da parte di acque contenenti ossigeno), il ferro migra nei suoli dove può accumularsi in alcuni orizzonti formando concrezioni e altri depositi. Divenendo questi suoli parte di strutture sedimentarie all'interno degli acquiferi, il ferro può venire lentamente rimosso mediante la circolazione delle acque e raggiungere anche concentrazioni elevate.

I composti azotati (nitriti e nitrati), quando presenti in concentrazioni elevate, sono conseguenti a pressioni antropiche sul territorio. Valori di nitrati già superiori a 10 mg/l indicano, nella maggior parte dei casi, che l'acqua sotterranea è venuta in contatto con fertilizzanti sparsi sul suolo o con prodotti della trasformazione di sostanze organiche azotate (vecchi

Oltre alle sostanze prima indicate, spesso troviamo nelle acque anche molti altri componenti in quantità estremamente bassa, di solito dell'ordine dei microgrammi per litro ( $\mu\text{g/L}$ ) e dei nanogrammi per litro ( $\text{ng/L}$ ) che vengono definiti "elementi in traccia"; fra questi si trovano i metalli pesanti ed altri elementi, generalmente di natura tossica (arsenico, antimonio, cadmio, mercurio, piombo, cromo, nichel). La presenza degli elementi in traccia nelle acque è riconducibile sia a processi naturali (cessione da filoni mineralizzati), sia da pressioni antropiche (sversamento di fluidi contaminati nel suolo). Nella acque sotterranee della Valdelsa, dopo molti anni di controlli, non si è rilevata presenza significativa di metalli pesanti come piombo, cadmio, cromo e altri elementi tossici come arsenico e selenio; anche altri elementi (alluminio, litio, stronzio) sono presenti in basse concentrazioni, con valori che sono tipici delle acque naturali. A grandi linee si può affermare che in questo territorio le rocce non contengono filoni minerari che interagiscono con le acque, né ci sono attualmente o ci sono state attività industriali che abbiano contaminato le falde sotterranee.

La mineralizzazione delle acque è prodotta da vari meccanismi, tra cui ha effetto prevalente l'azione dell'anidride carbonica disciolta nelle acque di pioggia (ma anche quella prodotta nel suolo attraverso reazioni metaboliche da parte della flora microbica) che attacca le rocce determinando la formazione di un'acqua ricca principalmente in bicarbonato, calcio e magnesio secondo le reazioni che seguono. Si verifica anche un attacco, di minore entità, da parte di soluzioni acide prodotte dalla solubilizzazione di gas acidi come ossidi zolfo e ossidi di azoto prodotti da fonti naturali e antropiche.

$$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{+2} + 2 \text{HCO}_3^-$$

carbonato di calcio                      ione bicarbonato

$$2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4$$

albite silicato di alluminio idrato

Gesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} + 2\text{H}_2\text{O}$
Salgemma	$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^{+} + \text{Cl}^{-}$

## GLI ACQUIFERI DI ALCUNI COMUNI DELLA VALDELSA

### **Castelfiorentino**

L'abitato di Castelfiorentino è situato nella media valle del fiume Elsa, parte nella zona pianeggiante costituita da depositi alluvionali recenti e attuali (Quaternario) e parte sui rilievi collinari costituiti da argille, spesso sottoposte ad opere di cava per la produzione di laterizi.

Ai fini della produttività idrica sono di interesse i depositi alluvionali del Quaternario: questi sono costituiti da un'alternanza di livelli di sabbie, ghiaie, limi e argille. I clasti (frammenti di roccia) che costituiscono questo materiale sedimentario provengono dalle rocce che erano (e in parte lo sono attualmente) i sistemi montuosi ai margini dell'antico bacino dell'Elsa e dall'erosione dei rilievi pliocenici dei dintorni. Il fondovalle, principalmente formato dalle alluvioni terrazzate antiche e da depositi alluvionali attuali, è sede di una falda acquifera negli orizzonti ciottolosi e sabbiosi di origine fluviale attualmente sfruttata a fini idropotabili.

La successione stratigrafica, partendo dal piano di campagna e scendendo verso il basso è approssimativamente la seguente:

- 1) al tetto vi sono prevalentemente sedimenti limo-argillosi (argille gialle e turchine, argille sabbiose) di spessore variabile che al massimo arrivano a una profondità di circa 20 m;
- 2) a quote inferiori, intorno a 20 - 25 m, si incontrano i livelli di sabbie e ghiaie: sono questi gli acquiferi produttivi perché tra questi sedimenti vi sono molti spazi vuoti che possono essere riempiti dall'acqua;
- 3) più in basso di questi livelli si incontrano i depositi costituiti da argille turchine, spesso compatte, di scarso interesse ai fini della produttività idrica. È questa la base impermeabile costituita da depositi marini pliocenici. A profondità molto maggiore, a circa 250 m, erano stati individuati i livelli acquiferi produttivi con acque caratterizzate, purtroppo, da elevata salinità che, al momento, è impossibile utilizzare.

L'acqua è quindi prevalentemente contenuta nei livelli di ghiaie e sabbie, sedimenti caratterizzati da notevoli variazioni granulometriche e geochimiche che determinano il particolare chimismo delle acque; ad esempio, la presenza di livelli evaporitici a gessi determina nelle acque circolanti un elevato contenuto in calcio e solfati; l'elevata durezza e l'alta concentrazione in magnesio sono dovute alla dissoluzione dei clasti provenienti dalla frammentazione del calcare cavernoso che un tempo era appartenuto alla Montagnola senese. Dal disfacimento di queste rocce, formate prevalentemente da carbonato di calcio e in parte da dolomite (contenuta in quantità variabile tra il 10 ed il 50%) e da cellette contenente gessi, è originato il materiale litoide che ha contribuito a colmare il bacino pliocenico della valle dell'Elsa. La presenza di ferro nelle acque di Castelfiorentino è probabilmente imputabile alla presenza di paleosuoli.



Figura 36 *Nei sistemi collinari ad est di Castelfiorentino vari fattori concorrono alla difficile situazione delle acque sotterranee: imponenti depositi argillosi lasciano ben poche possibilità all'immagazzinamento e alla circolazione delle acque sotterranee; nei fondovalle gli acquiferi in sabbie e ghiaie sono spesso caratterizzati da ridotte dimensioni e le acque contenute presentano un elevato contenuto salino.*

## **Certaldo**

Le acque di questo territorio presentano una tipologia abbastanza differenziata: si va da quelle bicarbonate alcalino-terrose (ricche cioè in bicarbonato, calcio e magnesio, elementi, questi ultimi, appunto definiti metalli alcalino-terrosi), a quelle solfato alcalino-terrose, a quelle salse, generalmente caratterizzate da un'elevata quantità di cloruro di sodio. La maggior parte di queste acque circola nella serie permeabile del pliocene marino formato in quella zona da sabbie e ghiaie con struttura abbastanza eterogenea, sia come granulometria che come composizione. Vi sono probabilmente dei livelli di rocce evaporitiche a salgemma e a gessi. Dalla dissoluzione di queste rocce si verifica un notevole arricchimento delle acque in solfati, cloruri, sodio e calcio.

La litostratigrafia delle zone di pianura è costituita, partendo dal piano di campagna, dalle seguenti formazioni:

- tetto impermeabile formato da sedimenti (limi e argille) con spessore variabile da 2 a 7 metri;
- deposito permeabile formato da depositi sabbiosi con spessore di 11 ÷ 14 metri;
- basamento impermeabile costituito da depositi marini di età pliocenica formato da limi argillosi. Sulla sommità di quest'ultimo deposito è appoggiata la falda freatica ed è contenuta negli strati di sabbie e ghiaie: è questo l'acquifero più produttivo.

Nei rilievi collinari si hanno vari acquiferi localizzati nelle zone formate da ghiaie e sabbie, in livelli più profondi di natura sabbio-ciottolosa inseriti nei banchi argillosi.

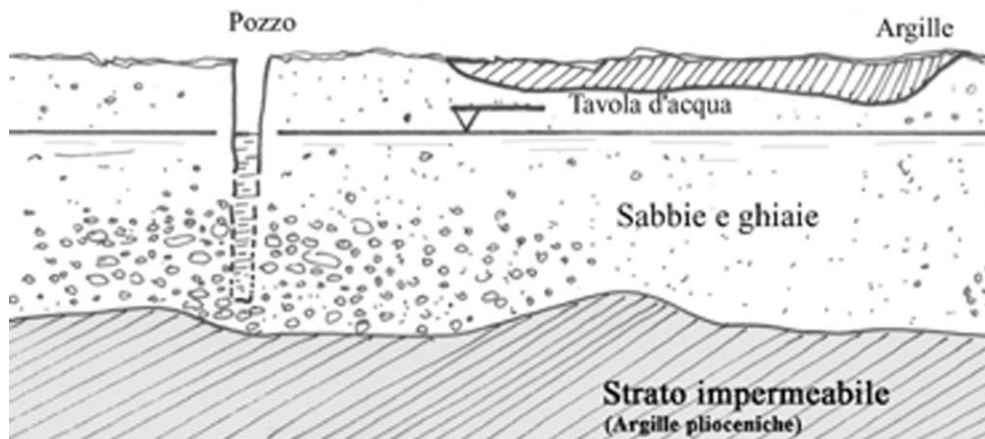


Figura 37 *Tipico acquifero nelle sabbie e ghiaie delle aree di pianura della Valdelsa*

### **Gambassi Terme**

Nei dintorni di Gambassi Terme affiorano strutture geologiche piuttosto complesse che si distinguono nettamente dai sistemi collinari pliocenici dei dintorni. Sono caratteristici in queste zone gli affioramenti di corpi rocciosi costituiti da ofioliti. Le acque erogate dall'acquedotto di Ponte agli Olmi, provenienti dall'alterazione delle rocce della serie ofiolitifera sono caratterizzate da un contenuto relativamente elevato di magnesio, ferro e manganese. La serie ofiolitifera è coperta dal *flysh di Montaione* (Cretacico, circa 140 milioni di anni), strati sedimentari costituiti da calcareniti, marne, arenarie, conglomerati e breccie con elementi di ofioliti. Le acque che circolano in questi terreni sono ricche di ferro, proveniente dalla decomposizione della pirite, minerale accessorio sia del flysh che della serie ofiolitifera. I solfati provengono dai sedimenti evaporitici di natura gessosa.

L'acqua dell'acquedotto della Striscia (zona del Castagno) è ricca di magnesio; queste acque provengono da un pozzo ubicato in una zona di grande complessità geologica, in cui l'area di alimentazione è prevalentemente costituita da serpentine e diabase, rocce appartenenti al complesso roccioso delle ofioliti, che si presentano molto alterate e fratturate.

## Montaione

Anche nel territorio del Comune di Montaione, la cui collocazione ricade in parte nel bacino idrografico del fiume Era, le acque estratte dai pozzi presentano concentrazioni elevate in magnesio, solfati, manganese e ferro; questo fenomeno è in relazione con la situazione geologica locale delimitata dall'area Iano, Pian della Querce e Montignoso. È questo il territorio *dell'alto tettonico* di Iano, un'area sollevata che si congiunge fino alla Montagnola senese. Come riportato precedentemente, in questa zona vi sono formazioni rocciose molto antiche, in confronto a quelle dei rilievi collinari circostanti, che in parte interessano gli acquiferi, entro cui sono perforati i pozzi per l'approvvigionamento idropotabile. Nei dintorni di Montaione compaiono gli argilloscisti di Iano del Carbonifero superiore: al di là dell'interesse geologico, queste formazioni non contribuiscono in modo significativo alla produttività degli acquiferi. I pozzi da cui viene estratta acqua destinata agli acquedotti, sono stati scavati in formazioni geologiche, prevalentemente di età triassica, formate da anidrite, calcare cavernoso e verrucano, un conglomerato di quarzite e scisti micacei.

La situazione è ulteriormente complicata dalla presenza di formazioni di un complesso ofiolitifero fra Iano e Montignoso. Le ofioliti sono qui costituite soprattutto da serpentino, un silicato idrato di magnesio. I quantitativi relativamente elevati in magnesio presenti in alcune sorgenti (Le Carbonaie e Poggetti Rossi con una concentrazione rispettivamente di circa 75 e 108 mg/L di Mg) derivano dalla dissoluzione del serpentino; minerali accessori, tra cui la magnetite (un ossido di ferro), contribuiscono ad arricchire le acque circolanti in ferro. I pozzi di Iano sono localizzati soprattutto nel calcare cavernoso, una formazione intensamente brecciata, formatasi in un antico mare poco profondo, con aspetto "cariato" per la presenza di numerose cellette mineralizzate a dolomia e ad ossidi di ferro. Il calcare cavernoso passa in profondità ad una serie di depositi alternati di dolomite e anidrite. Ogni formazione rocciosa contribuisce quindi con la propria specificità a tipizzare chimicamente quelle acque: dalla dissoluzione della dolomite (carbonato doppio di calcio e magnesio) si ha un arricchimento in magnesio e calcio, dalla anidrite, minerale tra l'altro molto solubile, si ha un elevato contributo in solfati e calcio; infine l'alterazione dei minerali di ferro e manganese contenuti nelle cellette del calcare cavernoso, determina un arricchimento delle acque in tali metalli. Nei pozzi di Iano si riscontra così una concentrazione di solfati compresa fra 100 e 800 mg/L, una presenza di magnesio che va da 50 a 100 mg/L, il manganese che va da 20 a 180 µg/L e il ferro che va da 50 a 8000 µg/L. I valori più elevati sono spesso molto superiori a quanto previsto dalla normativa per l'acqua destinata al consumo umano.

## LE ACQUE DELLA VALDELSA

In Valdelsa si dispone di acque superficiali e sotterranee. Quelle superficiali sono prevalentemente le acque del fiume Elsa e il modesto apporto dei suoi affluenti, quelle sotterranee per la maggior parte sono reperibili principalmente nel fondovalle, in particolare nelle alluvioni recenti e attuali. Sono i termini più recenti della serie sedimentaria quelli utilizzati in prevalenza per lo sfruttamento idrico: in questi terreni vengono spesso perforati i pozzi per l'approvvigionamento a scopo potabile. Le acque naturali impiegate per questo uso in questa area della Toscana, provengono in massima parte dal sottosuolo; fanno eccezione gli impianti di Pian delle Querce (Montaione) e Cepparello (Poggibonsi); il primo potabilizza l'acqua di due piccoli laghetti (Defizio e Cipressini) mentre il secondo utilizza quella dell'omonimo invaso artificiale, riempito con gli apporti del *borro* Cepparello e del *borro* Granaio, suoi tributari naturali, e, tramite un sistema di sollevamento, con quella che scorre nei due rami dei torrenti Drove, Cinciano e Tattera. A causa della diminuzione di portata di questi ultimi, che in genere si verifica durante la stagione estiva, nell'invaso di Cepparello viene pompata anche l'acqua dell'Elsa. A parte questi impieghi, altre acque superficiali in Valdelsa non sono sfruttate a scopo potabile.

Come di seguito riportato, le acque dell'Elsa, per l'elevato contenuto di alcune sostanze (prevalentemente ione solfato) non sono facilmente utilizzabili ai fini della potabilizzazione, anche se da un punto di vista quantitativo, rappresentano una risorsa interessante: i prelievi effettuati da questo fiume e dai suoi affluenti per gli altri usi (irriguo e industriale), sono stati stimati, da uno studio del 1993, pari a circa il 16% della disponibilità idrica (Franchini *et al.*).

### ***Le acque superficiali***

Il regime del fiume Elsa è a carattere torrentizio ma, diversamente da realtà limitrofe come altri affluenti dell'Arno (torrenti Greve e Pesa), non si sono registrati momenti con portata nulla e il minimo valore, rilevato a Castelfiorentino, è stato intorno a 900 L/s. La maggior parte dell'acqua (la stima arriva al 95%) che scorre nell'Elsa durante i periodi di magra, proviene da un gruppo di sorgenti localizzate nelle immediate vicinanze della frazione di Gracciano nel Comune di Colle Valdelsa: le sorgenti di *Onci*, localmente più conosciute con il nome *Le Vene*. L'Elsa, in realtà, nasce più a sud, sulla Montagnola senese, ma senza l'apporto di questa sorgente nell'alveo, questo fiume avrebbe soltanto un corso d'acqua di scarso significato.

Il gruppo delle sorgenti di *Onci* è situato sulla sinistra orografica dell'Elsa, nel letto del *borro* degli Strulli, che si presenta inciso nei travertini e nei sedimenti pliocenici marini. Poiché la portata di queste sorgenti è molto elevata, se messa in relazione al loro bacino imbrifero, è verosimile pensare che l'acqua provenga anche dalle formazioni calcaree di Buliciano e Poggio del Comune, come messo in evidenza da ricerche idrogeologiche (Canuti e Tacconi, 1975). La portata media di questo gruppo di sorgenti è valutata intorno a 1100 L/s.

Un'altra emergenza locale di una certa importanza è la sorgente *San Marziale*, cono-



sciuta anche con il nome di *Caldane*; questa è vicinissima ad *Onci*, situata dalla parte opposta del fiume Elsa: si suppone che essa sia in corrispondenza di un vecchio alveo fluviale impostato su una frattura. Nel punto in cui l'acqua arriva in superficie ci sono delle vetuste opere in muratura una delle quali costituisce un parziale sbarramento all'acqua e consente di utilizzare l'invaso come una piccola piscina; la temperatura dell'acqua, abbastanza costante nell'arco dell'anno, intorno ai 22 °C (da questa caratteristica verosimilmente è derivato il nome), favorisce la presenza di bagnanti, specie nella buona stagione. Le *Caldane* erano un vero e proprio stabilimento per bagni termali nell'antichità con il nome *Bagno del Piano di San Marziale*; questo complesso fu distrutto nel 1260 e successivamente ricostruito nel 1440 dal Comune di Colle Valdelsa. L'aspetto attuale è dovuto ad un intervento di restauro voluto da un medico di Colle, il dr. Passeri, nel 1822 (Rosetti e Valenti, 1997). La portata media delle *Caldane* è intorno a 80 L/s.

Nella Tabella 10 sono riportati i risultati delle analisi chimiche e microbiologiche relative ai campioni prelevati alle due sorgenti la mattina del 13 giugno 2001 alle ore 10 circa.

I risultati analitici indicano una sostanziale similitudine di composizione dell'acqua proveniente dalle due sorgenti, inoltre non sono rilevabili contaminazioni da sostanze organiche e da scarichi di tipo civile; per questi ultimi è sufficiente sottolineare l'assenza dei principali indicatori chimici utilizzati per valutare questo tipo di inquinamento: l'ammonio, i nitriti ed i tensioattivi. Gli indicatori microbiologici confermano la buona qualità dell'acqua, nonostante la sorgente di *Caldane* sia saltuariamente utilizzata per la balneazione e che intorno all'altra, *Le Vene*, vi sia un'area adiacente destinata all'allevamento di bestiame e a vari coltivi. Le concentrazioni elevate degli ioni solfato, bicarbonato, calcio e magnesio (con valori intorno a 700, 500, 300 e 80 mg/L, rispettivamente per le varie specie) sono in relazione alla litologia e quindi imputabili a cause del tutto naturali; la presenza di queste sostanze in concentrazioni così elevate non consente un uso potabile di queste acque perché i soli trattamenti convenzionali di potabilizzazione non sarebbero efficaci. Le portate e le caratteristiche chimiche di queste sorgenti condizionano sia la quantità che la qualità delle acque dell'Elsa, come è dimostrato dai risultati analitici di alcuni prelievi effettuati a monte di Castelfiorentino dove non ci sono più apporti significativi di nuovi affluenti. I campionamenti riportati nella successiva Tabella 11 sono stati eseguiti nel periodo compreso tra novembre 2000 e giugno 2001: nonostante l'apporto delle piogge sia stato abbastanza elevato (nel periodo di tempo considerato ne sono caduti 786 mm) l'acqua è ancora caratterizzata dalle stesse sostanze, anche se in concentrazioni più contenute. Campagne analitiche successive, eseguite in particolare durante periodi di minore apporto piovoso, hanno mostrato una maggiore incidenza dell'acqua della sorgente *Le Vene* sul fiume.

La composizione delle acque del fiume Elsa, rispetto ad altri corsi idrici a carattere torrentizio, è maggiormente influenzata dalle precipitazioni: l'elevata concentrazione dello ione solfato viene drasticamente ridotta durante le piene primaverili e autunnali mentre presenta valori molto elevati durante i periodi di magra, quando l'acqua che scorre è per la quasi totalità quella che fuoriesce dalle sorgenti. In questi casi i solfati arrivano fino a 750 mg/L, mentre nei periodi di piena, il contenuto si abbassa notevolmente e arriva fino a valori inferiori

Tabella 10 *Fiume Elsa – caratteristiche delle maggiori sorgenti (13/06/01)*

PARAMETRI	Unità di misura	San Marziale	Onci (Le Vene)
Temperatura acqua	°C	22.6	21.0
Temperatura aria	°C	26.3	26.0
Attività ione idrogeno	pH	6.8	6.7
Torbidità	NTU	0.1	0.1
Conducibilità	μS/cm a 20°C	1657	1757
Residuo fisso calcolato	mg/L	1521	1606
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	9.8	9.3
Durezza totale	°F	110	120
Calcio	mg/L Ca	303	339
Magnesio	mg/L Mg	82.7	86.3
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	< 0.10	< 0.10
Sodio	mg/L Na	36.9	31.7
Potassio	mg/L K	3.1	3.2
Fluoruri	mg/L F	0.70	0.66
Cloruri	mg/L Cl	46.4	38.8
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	3.0	3.4
Fosfati	μg/L HPO <sub>2</sub>	< 500	< 500
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	690	690
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	< 0.02	< 0.02
Idrogeno carbonato	mg/L HCO <sub>3</sub>	418	546
Carbonio organico	mg/L C	0.2	0.3
Organoalogenati	μg/L	< 0.1	< 0.1
Tensioattivi anionici	mg/L MBAS	< 0.05	< 0.05
Ferro	μg/L Fe	12	< 10
Manganese	μg/L Mn	< 5	< 5
Cadmio	μg/L Cd	< 0.5	< 0.5
Cromo	μg/L Cr	< 1	< 1
Piombo	μg/L Pb	< 2	< 2
Colonie su agar 36 °C	n°/1mL	7	11
Colonie su agar 22 °C	n°/1mL	4	20
Coliformi totali	MPN/100 mL	43	93
Coliformi fecali	MPN/100 mL	43	9
Streptococchi fecali	MPN/100 mL	< 3	< 3
Clostridi solfito riduttori	n°/100 mL	21	1

alla C.M.A. di 250 mg/L. Questa elevata variabilità dei parametri di composizione certamente non favorisce i processi di potabilizzazione: ad esempio, se durante i periodi di piena non ci fosse la necessità di rimuovere lo ione solfato, semplificando il relativo trattamento, l'elevato contenuto di materiale sospeso trascinato dalle piene potrebbe portare a gravi complicazioni della fase di chiari-flocculazione. L'andamento del contenuto dei solidi disciolti, evidenziabile mediante la conducibilità elettrica, e dei solfati nel corso di un anno e mezzo, nelle acque del fiume Elsa prelevati a valle di Certaldo, è riportato nella Figura 38.

Osservando i parametri microbiologici, si può dedurre un certo grado di inquinamento da reflui civili urbani: in realtà la contaminazione non è così marcata come lasciano supporre questi dati. Infatti, le concentrazioni contenute delle specie ammonio, nitriti e tensioattivi, indicatori chimici di inquinamento da scarichi civili, e la quantità non elevata di carbonio organico disciolto, segnalano che nel fiume Elsa il problema dell'inquinamento legato agli scarichi civili è in via di superamento; ulteriore conferma è data dall'ossigeno disciolto presente in quantità significativa.

Rispetto alla fine degli anni Settanta, quando è iniziata la realizzazione del sistema depurativo per le acque reflue civili e industriali dei maggiori centri della Valdelsa, la qualità dell'acqua del fiume è significativamente migliorata: alcuni studi (1983, 1989, 1991 e 1993) hanno già evidenziato questo fatto, classificando l'acqua di questo fiume come scarsamente o lievemente inquinata. I risultati qui riportati sono in linea con quelle indagini e confermano il miglioramento intervenuto, ma indicano anche che, pur essendo le strutture depurative in gran parte funzionanti, c'è ancora da lavorare per migliorare il trattamento dei reflui di tutta l'area.

In particolare, possiamo segnalare la necessità di concludere quanto prima la costruzione di alcuni tratti di fognatura, in modo da collettare i liquami di zone sinora escluse, ampliare la capacità depurativa di qualche impianto e, infine, realizzare i cosiddetti trattamenti terziari, peraltro non previsti al momento della stesura dei progetti delle strutture oggi funzionanti.

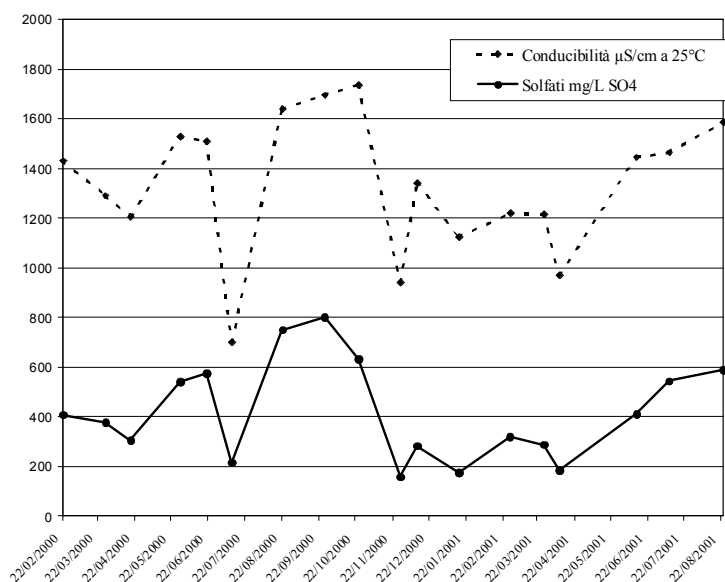


Figura 38 Andamento del contenuto dei solidi disciolti, stimati attraverso la conducibilità elettrica, e dei solfati nelle acque del fiume Elsa (Campioni prelevati a valle di Certaldo)



Figura 39 Impianto di potabilizzazione di Cepparello (Poggibonsi)

Tabella 11 *Fiume Elsa - caratteristiche chimiche e microbiologiche a Castelfiorentino*

PARAMETRI	Unità di misura	1°	2°	3°	4°
Data prelievo		14/11/00	13/2/01	3/4/01	13/6/01
Ossigeno disciolto	mg/L O <sub>2</sub>	9.6	11.7	-	6.2
Ossigeno disciolto	% saturazione	91.5	99.5	-	70.7
Att. ione idrogeno	pH	8.1	8.0	8.2	7.9
Conducibilità	µS/cm 20 °C	1316	1076	990	1299
Torbidità	NTU	80	-	190	31
Durezza	° F	75.3	57.0	53.5	76.4
Calcio	mg/L Ca	217	162	147	213
Magnesio	mg/L Mg	51.0	40.1	40.6	56.4
Fluoruri	mg/L F	0.7	0.7	0.6	0.4
Cloruri	mg/L Cl	64.3	47.4	43.2	56.1
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	11.5	14.1	11.7	10.2
Fosfati	µg/L HPO <sub>2</sub>	<500	<500	<500	<500
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	356	230	197	408
Bicarbonato	mg/L HCO <sub>3</sub>	429	395	378	397
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	0.10	0.14	0.15	0.16
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	0.4	0.3	0.2	0.2
Tensioattivi anionici	mg/L MBAS	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	µg/L	1.7	1.1	1.0	0.1
Ferro	µg/L Fe	200	173	< 10	356
Manganese	µg/L Mn	47	57	<5	85
Rame	µg/L Cu	<20	<20	<20	<20
Arsenico	µg/L As	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	µg/L Cd	<1	<1	<1	<1
Cromo	µg/L Cr	<5	<5	<5	<5
Mercurio	µg/L Hg	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel	µg/L Ni	<5	<5	<5	<5
Piombo	µg/L Pb	<5	<5	<5	<5
Antimonio	µg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Policielici aromatici	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	MPN/100 mL	24000	46000	15000	11000
Coliformi fecali	MPN/100 mL	24000	46000	15000	4600
Streptococchi fecali	MPN/100 mL	230	1500	1500	390
Clostridi solf. rid.	n°/100 mL	0	10	15	0
Colonie su agar 37°C	n°/ 1mL	8500	3200	6700	6800
Colonie su agar 22°C	n°/ 1 mL	17900	8600	11300	6200

## ACQUE TERMALI IN VALDELSA

*[...] due miglia avanti di arrivare a Castelfiorentino a mano destra, in una valletta scaturisce una sorgente non perenne, di Acqua Salsa quanto quella del Tettuccio, e forse più, chiamata Pillo (nome comune all'Osteria vicina ed alla Parrocchia) famosa in queste paesi, per l'uso che ne fanno in vece d'Acqua del Tettuccio, principalmente nei mesi di Maggio e Giugno.*

*Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali e gli antichi monumenti di essa.*  
Dottor Gio. Targioni Tozzetti, edizione seconda, con copiose giunte, Tomo ottavo, pag. 73, Firenze MDCCLXXV.

Le acque termali sono diffuse in alcune aree della Valdelsa: numerose sono le emergenze di acque termali fredde o ipotermali, caratterizzate cioè da una temperatura inferiore a 20 o 30 °C rispettivamente. In genere, le sorgenti sono particolarmente interessanti dal lato qualitativo tanto che l'acqua può essere efficacemente usata per un ampio numero di applicazioni terapeutiche, mentre, sotto il profilo quantitativo, sono per lo più caratterizzate da basse portate, tanto che oggi, nella maggior parte dei casi, non rendono economicamente conveniente il loro utilizzo. Alcune di esse sono state impiegate in vario modo nei tempi passati: ad esempio esistevano veri e propri stabilimenti termali per la balneazione terapeutica e ricreativa (Bagni di Mommialla a Gambassi Terme e San Marziale a Colle Valdelsa) oppure degli impianti di imbottigliamento (Luiano a Gambassi Terme) o semplici impieghi direttamente alla sorgente senza la realizzazione di apposite opere (Bollori a Gambassi Terme), per l'applicazione dei fanghi.

La più nota di queste acque minerali termali è comunque quella di Pillo che sgorga spontaneamente dalla roccia in una valle nell'omonima località nel Comune di Gambassi Terme ed è denominata *Acqua salsa di Pillo*. Questa acqua ha un contenuto di sali disciolti intorno a 16 g/L, è classificata come cloruro-bicarbonato-solfato-sodico-magnesiaca ed è attualmente utilizzata a scopo terapeutico per cure idropiniche ed inalatorie.

Le proprietà dell'Acqua salsa di Pillo erano note fin dall'antichità; la prima memoria scritta risale al 1588 nel trattato *De Thermis* di Andrea Bacci; successivamente è stata dettagliatamente descritta nel 1745 da G. Targioni Tozzetti nel suo volume *Relazione d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali, [...]*. Nella seconda edizione (1775) di questa pubblicazione viene riportato anche *L'esame dell'acqua* eseguito dal dr. Anton Niccola Branchi della Torre, professore di chimica all'Università di Pisa. Non si tratta di un risultato di un'analisi chimica così come è intesa oggi, ma di una accurata descrizione del luogo, dei fanghi e sedimenti formati dall'acqua stessa, degli esperimenti condotti per determinarne la composizione, per terminare infine con l'indicazione delle proprietà dell'acqua, basandosi principalmente sull'esperienza popolare.

Successivamente, sull'Acqua salsa di Pillo sono state compiute a più riprese indagini di tipo chimico, fisico, geologico e naturalmente farmacologico. È interessante notare che nell'analisi chimica eseguita dal prof. Giuli nel 1834 risulta un contenuto totale di solidi disciolti pari a 15.64 g/L, del tutto simile ai circa 16 g/L delle analisi odierne: ciò indica una sostanziale stabilità nella composizione di quest'acqua in un lungo periodo di tempo. Nella Tabella 12 sono riportati i valori medi ricavati da analisi relative ai controlli annuali dal 1994 al 1999 (analisi effettuate presso il Dipartimento ARPAT di Firenze su campioni prelevati alla sorgente).



*Figura 40 Opera di protezione della sorgente dell'Acqua salsa di Pillo, Gambassi Terme. Da questa struttura una tubazione di 3,5 km porta l'acqua allo stabilimento termale.*

Tabella 12 *Caratteristiche chimiche e chimico-fisiche dei componenti principali dell'Acqua salsa di Pillo.*

Colore		Da incolore a giallo
Odore		Inodore
Torbidità	N.T.U.	13 ± 4
Durezza totale in gradi francesi	°F	107 ± 5
Conducibilità elettrica specifica a 25 °C	µS/cm	23400 ± 100
Attività ione H <sup>+</sup>	pH a 20 °C	6.7 ± 0.1
Residuo fisso determinato a 180 °C	g/L	16.1 ± 0.2
Temperatura dell'acqua alla sorgente	°C	13.8 ± 0.7
Anidride carbonica libera disciolta	mg/L	1500 ± 200
Ione litio Li <sup>+</sup>	mg/L	3.0 ± 1.5
Ione sodio Na <sup>+</sup>	mg/L	5980 ± 100
Ione potassio K <sup>+</sup>	mg/L	50 ± 5
Ione calcio Ca <sup>+2</sup>	mg/L	115 ± 6
Ione magnesio Mg <sup>+2</sup>	mg/L	194 ± 10
Ione stronzio Sr <sup>+2</sup>	mg/L	5 ± 2
Ione ammonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	5 ± 3
Ione manganese Mn <sup>+2</sup>	mg/L	0.13 ± 0.1
Ione ferro Fe <sup>+2</sup>	mg/L	1.9 ± 0.2
Ione alluminio Al <sup>+3</sup>	mg/L	< 0.01
Ione fluoruro F <sup>-</sup>	mg/L	0.5 ± 0.2
Ione bromuro Br <sup>-</sup>	mg/L	5 ± 1
Ione cloruro Cl <sup>-</sup>	mg/L	5400 ± 100
Ione nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	< 5
Ione nitrito NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0.1 ± 0.1
Ione solfato SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	1800 ± 70
Ione idrogenocarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	5780 ± 60
Silice SiO <sub>2</sub>	mg/L	18 ± 2
Cianuri CN <sup>-</sup>	mg/L	< 0.05
Arsenico	µg/L As	36
Bario	mg/L Ba	< 0.5
Borati	mg/L B	18.6
Cadmio	µg/L Cd	< 0.5
Cromo	µg/L Cr	< 1
Mercurio	µg/L Hg	< 1
Piombo	µg/L Pb	< 1
Rame	µg/L Cu	30
Idrogeno solforato	µg/L H <sub>2</sub> S	< 50
Fosfati	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 50



Dell'Acqua di Luiano, un'antica acqua minerale che veniva imbottigliata negli anni 20, resta solo la composizione depositata in qualche archivio e niente altro. È perfino difficile riconoscere il luogo dove un tempo sorgeva lo stabilimento. Da un'etichetta in nostro possesso si è ricavata la composizione riportata in Tabella 13. L'acqua aveva una composizione bicarbonato-cloruro-sodica, con mineralizzazione molto elevata (11.8 g/L di residuo fisso). Si legge infine nell'etichetta: *L'acqua di Luiano, bicarbonato-alcalina, leggermente lassativa è di indubbia efficacia nelle malattie del ricambio (Gotta, ecc.) ed in molte affezioni gastriche ed intestinali.* Dr. Poli – Uff. Sanitario.

Tabella 13 *Analisi chimica effettuata dal prof. Bonamartini della R. Università di Firenze sull'Acqua di Luiano (Comune di Gambassi) (Cert. 23.12.1926 e nuova analisi 1929 cert. 26 dicembre Laboratorio Chimico Provinciale di Firenze). Vengono mantenute le dizioni nel lavoro originale (cloro e non cloruro, solforico e non solfato, così come gr. e non g).*

Residuo fisso e costanti chimico-fisiche			
Residuo fisso a 180 °C	gr.		11,8198
Peso specifico	D + 15 + 4°		1,0118
Abbassamento punto di congelamento	$\Delta$		0,650
Pressione osmotica	Po		7, 953 atm
Conducibilità elettrica specifica	K <sub>25°</sub>		0,01460
Gas disciolti nell'acqua della fonte di Luiano alla sorgente			
Acido carbonico (CO <sub>2</sub> ) p. litro a 0° C e 760 mm	cc		281,9
Ossigeno (O) a 0 °C e 760 mm	cc		8,4
Azoto (N) a 0 °C e 760 mm	cc		15,1
Sostanze disciolte in un litro di acqua di Luiano espresse in ioni (gr.)			
Jone	Sodio	Na <sup>+</sup>	2,9501
“	Potassio	K <sup>+</sup>	0,0264
“	Litio	Li <sup>+</sup>	0,00809
“	Calcio	Ca <sup>++</sup>	0,2496
“	Stronzio	Sr <sup>++</sup>	0,0029
“	Magnesio	Mg <sup>++</sup>	1,0058
“	Cloro	Cl <sup>-</sup>	2,3960
“	Jodio	J <sup>-</sup>	0,000255
“	Bromo	Br <sup>-</sup>	0,000401
“	Solforico	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,9918
“	Monocarbonico	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8,208
Silice		SiO <sub>2</sub>	0,0765

## L'ACQUA POTABILE IN VALDELSA - LA QUALITÀ E GLI IMPIANTI

### ***Le acque sotterranee***

Le acque utilizzate a scopo potabile in Valdelsa sono prevalentemente di origine sotterranea. La maggior parte di esse è prelevata nel fondovalle, dove la risorsa idrica è più abbondante. I principali pozzi utilizzati per approvvigionare i Comuni di Castelfiorentino, Certaldo, Gambassi Terme e San Gimignano, sono stati perforati nelle immediate vicinanze dell'Elsa, in particolare lungo la sua riva sinistra.

Mentre tutte le acque sotterranee estratte in questa area sono quasi sempre di buona qualità microbiologica, le caratteristiche chimiche sono generalmente scadenti a causa dell'elevata mineralizzazione. Esistono tuttavia differenze anche notevoli nei livelli di concentrazione di alcuni parametri, in particolare ferro, manganese, ammonio e solfati. Si presume che la variazione di composizione fra le varie acque sotterranee, (tra l'altro notevole, tanto che alcune acque sono distribuite senza alcun trattamento mentre altre devono essere sottoposte a potabilizzazione), sia dovuta al diverso grado di influenza sulla falda dei vari corsi d'acqua interessati: il fiume Elsa, il rio Petroso e il torrente Casciani.



Figura 41 *Le Alpi Apuane appaiono oltre le colline della Valdelsa. Due differenti “mondi” idrogeologici si osservano: le Apuane con acque a bassa mineralizzazione (circa 100 mg/L di residuo fisso) provenienti dagli acquiferi carsici, le colline della Valdelsa con acque ben più mineralizzate di non facile impiego potabile.*

Tabella 14 *Qualità acque sotterranee nel fondovalle della Valdelsa - Valori medi anno 2000*

Comune		Castelfiorentino		Certaldo
Centrale		Profeti	Roosevelt	Baccana
Attività ione idrogeno	pH	7.2	7.2	7.2
Conducibilità	$\mu\text{S}/\text{cm } 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	1543	1442	1245
Solfato	$\text{mg}/\text{L SO}_4$	312	314	259
Calcio	$\text{mg}/\text{L Ca}$	218	211	177
Magnesio	$\text{mg}/\text{L Mg}$	68.2	71.2	56.5
Durezza	$^{\circ}\text{F}$	82.5	82.2	67.5
Idrogeno carbonato	$\text{mg}/\text{L HCO}_3$	630	620	508
Ammonio	$\text{mg}/\text{L NH}_4$	1.44	1.91	0.19
Ferro	$\text{mg}/\text{L Fe}$	3.54	3.57	0.08
Manganese	$\text{mg}/\text{L Mn}$	1.49	1.38	0.57

Tabella 15 *Qualità acque sotterranee nel fondovalle della Valdelsa - Valori medi anno 2000*

Comune		Gambassi Terme		S. Gimignano
Centrale		Badia a Cerreto	Ponte agli Olmi	Badia a Elmi
Attività ione idrogeno	pH	7.4	7.2	7.1
Conducibilità	$\mu\text{S}/\text{cm } 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	1070	1166	974
Solfato	$\text{mg}/\text{L SO}_4$	178	224	144
Calcio	$\text{mg}/\text{L Ca}$	138	161	120
Magnesio	$\text{mg}/\text{L Mg}$	53.4	55.1	42.3
Durezza	$^{\circ}\text{F}$	56.6	63.0	47.4
Idrogeno carbonato	$\text{mg}/\text{L HCO}_3$	466	510	410
Ammonio	$\text{mg}/\text{L NH}_4$	0.04	0.43	<0.02
Ferro	$\text{mg}/\text{L Fe}$	0.02	0.07	<0.01
Manganese	$\text{mg}/\text{L Mn}$	0.01	1.77	<0.01

La situazione geo-litologica della Valdelsa, come abbiamo visto nel precedente capitolo, è tale, frequentemente, da determinare circolazione di acque caratterizzate da elevate concentrazioni di calcio, magnesio, solfato, ferro, manganese e ammonio. Queste acque presentano quindi, per cause del tutto naturali, alcune caratteristiche chimiche che abbassano notevolmente il loro valore ai fini idropotabili: ad esempio la durezza determina incrostazioni nelle tubature e negli elettrodomestici, il ferro e il manganese possono dar luogo a colorazioni dell'acqua e alla formazione di depositi solidi giallastri (dovuti in prevalenza a idrossidi di ferro) e neri (precipitato di biossido di manganese). Il magnesio, come riportato in precedenza, non ha significato sanitario tanto che nel D. Lgs. n° 31/01 non vi è un limite per questo elemento e pertanto concentrazioni elevate non richiedono alcun intervento di trattamento.

Tra questi parametri, il ferro, il manganese e l'ammonio, sono riconducibili nei limiti previsti dai trattamenti di potabilizzazione di tipo convenzionale, per la riduzione dei solfati sono richiesti processi tecnologicamente avanzati, più complessi e di maggiore impatto economico.

### ***Acquedotto di Castelfiorentino***

Il rifornimento di acqua potabile al Comune di Castelfiorentino viene garantito da due impianti di trattamento situati nel capoluogo lungo la riva sinistra dell'Elsa: il primo, con produzione media di circa 18 L/s, è localizzato in via Profeti e utilizza l'acqua proveniente da 9 pozzi, mediamente profondi circa trenta metri; l'altro, posto in viale Roosevelt, è alimentato da 6 pozzi del tutto simili ai precedenti e fornisce in media 21 L/s. In tutto il territorio comunale di Castelfiorentino, nel corso del 1999, sono stati erogati ogni giorno circa 3300 m<sup>3</sup> di acqua. Da un punto di vista qualitativo, l'acqua emunta dai 15 pozzi presenta una sostanziale similitudine di composizione ed è caratterizzata da elevate concentrazioni di calcio, magnesio e solfati (Tabella 16), sostanze che non possono essere eliminate con i trattamenti convenzionali. Nell'acqua non trattata sono inoltre presenti altre specie chimiche in quantità più alta rispetto ai valori consentiti: il ferro è circa 3.5 mg/L, mentre il manganese è compreso nell'intervallo 0.9 ÷ 1.7 mg/L e l'ammonio oscilla tra 1.0 ÷ 1.5 mg/L. Per rendere potabile quest'acqua è stato quindi necessario adottare un trattamento, identico in entrambe le centrali, che consente l'eliminazione del ferro e del manganese per precipitazione, mentre lo ione ammonio viene convertito in nitrato. Il processo inizia con un'ossidazione che permette la trasformazione di queste sostanze: in pratica, mediante un compressore, si immette nell'acqua una certa quantità di aria fino alla completa saturazione, mantenendo tutto il sistema sotto pressione. Il trattamento prosegue con una filtrazione a doppio stadio su sabbia silicea che, oltre a trattenere le particelle solide di ferro e manganese, è un supporto ideale per le specie microbiche implicate nel processo (batteri nitrificanti, ferro e mangano batteri). Per la disinfezione di copertura della rete, prima della distribuzione, all'acqua è aggiunto il biossido di cloro all'impianto di via dei Profeti e l'ipoclorito alla centrale di viale Roosevelt. I due impianti spingono l'acqua direttamente in rete e al serbatoio della Pieve, che funziona da compenso e distribuzione; le altre frazioni del Comune, Dogana, Castelnuovo, Cambiano e Petrazzi, sono collegate direttamente alla rete idrica del capoluogo, mentre Vallecchio è alimentato dal serbatoio della Pieve.



Figura 42 *I sistemi collinari che dalla Bassa Valdesa arrivano fino alle colline di S. Gimignano sono caratterizzati da imponenti depositi di sabbie argille. Gli acquiferi, non molto produttivi, contengono spesso acque ricche in solfati e ammonio. Per quanto possibile, ai fini acquedottistici vengono utilizzate le acque a più basso contenuto di queste sostanze.*

Inoltre la rete di distribuzione è collegata alla frazione di Casenuove nel Comune di Gambassi Terme: durante il normale funzionamento, mediante una valvola vengono mantenute separate le due reti di distribuzione, ma in caso di necessità la sua apertura consente il trasferimento di una certa quantità di acqua nei due sensi. La qualità delle acque distribuite in questo Comune è in Tabella 16.

I progetti di sviluppo dell'acquedotto di Castelfiorentino sono legati, a breve termine, per quanto riguarda la quantità dell'acqua distribuita, ad un'ottimizzazione dell'uso della risorsa sotterranea, anche con la realizzazione di nuovi pozzi. Dal punto di vista della qualità, in questa area della Valdelsa la previsione si sposta sul medio termine dovendo ricorrere all'importazione di acqua, con la realizzazione dell'interconnessione Empoli - Poggibonsi. È inoltre allo studio la possibilità di utilizzare risorsa locale superficiale introducendo alla fine di un trattamento classico una delle cosiddette tecnologie emergenti: l'osmosi inversa.



Figura 43 *Fondovalle e sistemi collinari della Valdelsa a ovest di Castelfiorentino*

Tabella 16 *Qualità delle acque potabili distribuite a Castelfiorentino. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Profeti	Roosevelt
Colore	scala Pt/Co	<5	<5
Torbidità	NTU	0.19	0.22
Temperatura	°C	16.3	16.5
Attività ione idrogeno	pH	7.2	7.3
Conducibilità	µS/cm a 20° C	1517	1431
Cloruri	mg/L Cl	103	80.3
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	312	314
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	13.8	14.4
Calcio	mg/L Ca	218	211
Magnesio	mg/L Mg	68.2	71.7
Sodio	mg/L Na	81.2	62.0
Potassio	mg/L K	3.6	3.6
Alluminio	µg/L Al	6	6
Durezza	°F	82.6	82.2
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	1157	1133
Idrogeno carbonato	mg/L HCO <sub>3</sub>	613	608
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	5.3	6.6
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	0.03	0.03
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	1.4	1.6
Carbonio organico	mg/L C	1.5	1.6
Tensioattivi anionici	µg/L LAS	<50	<50
Tensioattivi non ionici	µg/L nonil-fenolo	<50	<50
Organoalogenati	µg/L	<0.1	10.8
Ferro	µg/L Fe	20	31
Manganese	µg/L Mn	9	9
Rame	µg/L Cu	2	4
Fosforo	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<500	<500
Fluoruro	µg/L F	210	220
Arsenico	µg/L As	<0.2	<0.2
Cadmio	µg/L Cd	0.2	0.2
Cromo	µg/L Cr	<1	<1
Mercurio	µg/L Hg	<0.5	<0.5
Nichel	µg/L Ni	<5	<5
Piombo	µg/L Pb	<2	<2
Antimonio	µg/L Sb	<0.2	<0.2
Antiparassitari	µg/L	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	µg/L	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/1 mL	1	1
Colonie su agar 22°C	n°/1 mL	2	1

## ***Acquedotto di Certaldo***

La risorsa idrica che assicura l'acqua potabile nel Comune di Certaldo proviene integralmente dal sottosuolo. Quella più importante, a servizio di tutto il capoluogo e delle frazioni Montebello, Belvedere, Piano di Sotto, Avanella, Bassetti, Sciano, Monte ai Lotti, Busacchi, Pino, San Lazzaro e, talvolta, San Gaudenzio e Maggiano, è situata lungo la sponda sinistra dell'Elsa, nelle immediate vicinanze della foce del torrente Casciani, dove sono collocati anche i pozzi che alimentano in parte gli acquedotti dei comuni confinanti, quelli di Gambassi Terme e San Gimignano. Queste acque sotterranee risentono dell'influenza di quelle superficiali, in quanto sia l'acqua che scorre nell'Elsa che quella del Casciani sono in stretta relazione con quella che circola nel sottosuolo. Poiché le acque dei due fiumi hanno un diverso grado di mineralizzazione, (l'Elsa ha un maggiore contenuto di solidi disciolti), le acque sotterranee evidenziano nel corso dell'anno variazioni qualitative in base al diverso apporto delle acque dei due corsi idrici. Più in dettaglio, l'acqua prodotta nella centrale di Baccana ha una maggiore mineralizzazione in estate ed autunno, quando è l'Elsa che esercita una maggiore influenza, mentre in inverno e primavera la sua salinità diminuisce, perché è il Casciani che contribuisce in misura superiore con l'infiltrazione nel sottosuolo di acque con minore contenuto di solidi disciolti.

Per reperire la quantità di acqua necessaria a soddisfare i bisogni della popolazione, sono stati perforati undici pozzi con i quali è alimentata la Centrale Baccana che, da un punto di vista amministrativo, è collocata nel territorio del Comune di San Gimignano. Il trattamento di potabilizzazione è assicurato da un'ossidazione chimica con ipoclorito di sodio, dosato in leggero eccesso in modo da avere un cloro residuo libero nell'acqua in uscita dall'impianto intorno a 0.3 mg/L, e da una filtrazione su sabbia di quarzo. Questo processo è necessario poiché l'acqua "grezza" contiene ammonio, manganese e ferro in concentrazioni superiori ai valori limite previsti dalla normativa vigente. La portata media di questa centrale, calcolata su base annua, è pari a circa 28 L/s. Il sistema di distribuzione, data la vastità del territorio e la sua orografia, prevede tutta una serie di sollevamenti, distribuzione in vari serbatoi ed un nuovo punto intermedio per il dosaggio dell'ipoclorito presso la centrale "Acquabona".

Nel territorio di Certaldo vi sono poi altri acquedotti: il primo serve la frazione di Fiano e distribuisce mediamente circa 2 L/s su base annua; è alimentato da due pozzi, collocati nel territorio comunale di Montespertoli lungo il corso del torrente Virgignolo, dai quali viene estratta acqua a 180 m di profondità. Anche in questo caso è necessario un trattamento di potabilizzazione che prevede un'ossidazione chimica con soluzioni di ipoclorito di sodio e permanganato di potassio seguita da una doppia filtrazione in serie, prima su un letto di sabbia di quarzo misto a zeolite e quindi un passaggio su carbone attivo granulare. Il secondo acquedotto è alimentato da una piccola sorgente situata nei pressi della Cappella di San Donnino che assicura il rifornimento all'omonimo abitato. Questa risorsa non è sufficiente per soddisfare il fabbisogno, tanto che è in corso la progettazione di un collegamento con l'acquedotto alimentato dalla centrale Baccana. Nel 1999 la sorgente San Donnino ha distribuito mediamente circa 0.5 L/s. Le frazioni di Marcialla e Pogni invece utilizzano acqua potabile proveniente dalla centrale Migliorini dell'acquedotto di Barberino Valdelsa a cui è collegata.

In tutto il Comune, nel corso del 1999, sono stati erogati ogni giorno circa 3700 m<sup>3</sup> di acqua; la qualità delle acque distribuite in rete nel Comune di Certaldo è riportata in Tabella 17.

I progetti di sviluppo dell'acquedotto di Certaldo sono legati, a breve termine, per quan-



to riguarda la quantità, ad un'ottimizzazione dell'uso della risorsa sotterranea, anche con la realizzazione di nuovi pozzi. Dal punto di vista della qualità la previsione si sposta sul medio termine dovendo importare acqua in Valdelsa, con la realizzazione dell'interconnessione Empoli - Poggibonsi. È inoltre allo studio la possibilità di utilizzare risorsa locale superficiale, utilizzando tra l'altro nel ciclo di potabilizzazione l'osmosi inversa.

Tabella 17 *Qualità delle acque potabili distribuite a Certaldo. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Baccana	Fiano	S. Donnino
Colore	scala Pt/Co	<5	<5	<5
Torbidità	NTU	0.1	2.2	0.5
Temperatura	°C	15.3	22.5	22.0
Attività ione idrogeno	pH	7.4	7.9	7.8
Conducibilità	µS/cm a 25°C	1498	1140	611
Cloruri	mg/L Cl	78.9	242	21.3
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	341	25.2	47.7
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	13.4	8.7	7.7
Calcio	mg/L Ca	195	40.1	113
Magnesio	mg/L Mg	59.8	2.4	15.7
Sodio	mg/L Na	48.4	148	15.8
Potassio	mg/L K	3.8	2.2	0.5
Alluminio	µg/L Al	<3	27	<3
Durezza	°F	73.3	11.0	34.7
Residuo fisso	mg/L	1004	593	393
Idrogeno carbonato	mg/L HCO <sub>3</sub>	510	308	356
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	3.5	2.5	6.8
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	<0.02	0.14	<0.02
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	1.5	2.9	0.7
Carbonio organico	mg/L C	1.1	1.2	1.4
Tensioattivi anionici	µg/L LAS	<50	<50	<50
Organoalogenati	µg/L	4.5	18.9	13.4
Ferro	µg/L Fe	15	46	15
Manganese	µg/L Mn	<5	6	5
Rame	µg/L Cu	2	4	2
Fosforo	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<500	<500	<500
Fluoruro	µg/L F	310	275	500
Arsenico	µg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	µg/L Cd	0.2	0.9	<0.2
Cromo	µg/L Cr	<1	<1	<1
Mercurio	µg/L Hg	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel	µg/L Ni	6	<5	<5
Piombo	µg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	µg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	4	8	4
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	3	12	8

## ***Acquedotto di Gambassi Terme***

L'approvvigionamento idrico del Comune di Gambassi Terme è garantito da alcuni sistemi acquedottistici, indipendenti fra loro nel normale funzionamento; in caso di necessità è possibile una parziale interconnessione fra alcuni rami. L'acquedotto più importante è quello di Badia a Cerreto, situato in un'area compresa tra il torrente Casciani e l'Elsa; in questa zona è prelevata acqua anche per i Comuni di Certaldo (centrale Baccana) e San Gimignano (centrale di Badia a Elmi). L'impianto di Badia a Cerreto, che rifornisce anche il capoluogo del Comune, utilizza l'acqua di tre pozzi che assicurano una produzione di circa 12 L/s. In realtà, la portata di questi pozzi subisce notevoli variazioni stagionali, tanto che nei periodi di maggiore siccità almeno il 50% dell'acqua è assicurata dalla centrale Baccana. Attraverso un sistema di sollevamenti e di serbatoi in serie (Casa al Bosco, Leccione, Sandrini, Latino) l'acqua è trasportata fino ad una quota di 445 m e distribuita per gravità nelle varie zone. In diramazione dal Leccione, attraverso il serbatoio di San Pancrazio, sempre per gravità, sono servite anche le frazioni di Catignano e Varna. Lo stesso tipo di alimentazione riguarda la frazione di Borgoforte con acqua proveniente dal deposito di Po.

Sono in esercizio inoltre gli impianti di Ponte agli Olmi e La Striscia che hanno rispettivamente una portata media di 2.5 e 1.0 L/s; il primo, alimentato da due pozzi ubicati in prossimità all'alveo del rio Petroso, fornisce acqua alla zona di Pillo e Casenuove, la cui rete di distribuzione può essere collegata in caso di necessità a quella di Castelfiorentino. L'impianto di La Striscia serve la zona alta del Comune, le frazioni di Montignoso, Castagno e Boscotondo, località in cui può arrivare acqua dal serbatoio Latino. Questa centrale utilizza acqua sotterranea proveniente da un pozzo. Esiste poi un acquedotto nella zona di Vaiano che è approvvigionato da Montaione (Iano).

La quantità di acqua giornalmente distribuita nel Comune di Gambassi Terme oscilla intorno a 1300 m<sup>3</sup>. In genere essa è introdotta in rete solo dopo una disinfezione di copertura a base di ipoclorito di sodio; fa eccezione l'impianto di Ponte agli Olmi che dispone di un impianto per il trattamento del manganese (la cui concentrazione nell'acqua grezza è circa 2.0 mg/L) e dell'ammonio (che è intorno a 1.4 mg/L). Il processo inizia dunque con un'ossidazione che permette la trasformazione delle sostanze prima dette: in pratica, mediante un compressore, si immette nell'acqua una certa quantità di aria fino alla completa saturazione, mantenendo tutto il sistema sotto pressione. Il trattamento prosegue con una filtrazione su sabbia silicea che, oltre a trattenere le particelle solide di ferro e manganese, è un supporto ideale per le specie microbiche implicate nel processo (batteri nitrificanti, ferro e mangano batteri).

La tipologia delle acque distribuite dagli acquedotti di Gambassi Terme sono riportate in Tabella 18.

I progetti di sviluppo dell'acquedotto di Gambassi Terme, sia sul versante della quantità che su quello della qualità, devono superare i limiti comunali: in questa visione il progetto di interconnessione, che consentirà di trasferire la risorsa idrica del Valdarno in Valdelsa, insieme all'impiego di tecniche di trattamento complesse, come l'osmosi inversa per la massima valorizzazione delle acque locali, rappresenta un passaggio obbligato e decisivo.

Tabella 18 *Qualità delle acque potabili a Gambassi Terme. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Badia a Cerreto	Ponte agli Olmi	La Striscia
Colore	scala Pt/Co	<5	<5	<5
Torbidità	NTU	0.5	0.2	0.2
Temperatura	°C	14.8	15.3	-
Attività ione idrogeno	pH	7.5	7.3	8.0
Conducibilità	µS/cm a 25°C	1095	1180	898
Cloruri	mg/L Cl	71.3	55.0	30.2
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	195	130	47.8
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	15.1	10.2	37.9
Calcio	mg/L Ca	145	164	39.6
Magnesio	mg/L Mg	56.1	54.5	96.2
Sodio	mg/L Na	50.4	40.3	13.5
Potassio	mg/L K	4.3	2.7	0.5
Alluminio	µg/L Al	<3	95	12
Durezza	°F	59.3	63.3	49.5
Residuo fisso	mg/L	715	866	494
Idrogeno carbonato	mg/L HCO <sub>3</sub>	501	514	532
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	7.2	17.2	2.2
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	0.05	<0.05	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	1.1	1.0	0.6
Carbonio organico	mg/L C	1.1	1.4	0.6
Tensioattivi anionici	µg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	µg/L	4.3	2.7	3.9
Ferro	µg/L Fe	21	25	10
Manganese	µg/L Mn	24	18	5
Rame	µg/L Cu	3	2	5
Fosforo	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<100	<100	<100
Fluoruro	µg/L F	110	140	<100
Arsenico	µg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	µg/L Cd	0.8	0.7	0.8
Cromo	µg/L Cr	1	< 1	11
Mercurio	µg/L Hg	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel	µg/L Ni	6	<5	7
Piombo	µg/L Pb	<2	<2	2
Antimonio	µg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/ 100 mL	0	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	8	4	5
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	2	8	12

## ***Acquedotto di Montaione***

Le acque utilizzabili a scopo potabile provengono sia dalla falda sotterranea che da risorse superficiali. Queste tipologie di acqua sono fra loro molto diverse: quelle del sottosuolo (sorgenti Carbonaie e Poggetti Rossi e pozzi Jano) in genere contengono alte concentrazioni di calcio, magnesio, solfati, manganese e ferro; le acque superficiali degli invasi Defizio e Cipressini, sono meno mineralizzate. In realtà l'acqua distribuita nel Comune di Montaione presenta caratteristiche intermedie tra le due situazioni descritte: la produzione avviene all'impianto di Pian delle Querce dove vengono convogliate le risorse; il livello di mineralizzazione dell'acqua prodotta è molto variabile essendo la risultante delle differenti risorse di volta in volta impiegate. L'uso delle varie risorse è dipendente dalla quantità di acqua disponibile: durante i periodi più umidi, le sole ad essere usate sono quelle superficiali, mentre nella stagione più secca la percentuale proveniente dal sottosuolo tende a crescere, con ovvie conseguenze sulla mineralizzazione. Gli abitati di Villamagna (nel Comune di Volterra), Vaiano (Gambassi Terme), Palagio e Iano sono approvvigionati con queste risorse.

L'impianto di Pian delle Querce è il principale di quest'area: nella figura 44 è riportato uno schema di potabilizzazione. Questo rappresenta un impianto classico per il trattamento di acque superficiali costituito dalle consuete fasi: preclorazione, flocculazione, sedimentazione, filtrazione su sabbia e su carbone attivo, clorazione di copertura.

L'acqua prodotta viene inviata poi al ripartitore di San Vivaldo da cui si diramano alcune direttrici che assicurano la distribuzione al Comune di Montaione, sia al capoluogo, attraverso i serbatoi Pozzolo e Rimessa, che alle varie frazioni, San Vivaldo, Castelfalfi, Sughera e Alberi. La massima capacità produttiva di questo impianto è 72 m<sup>3</sup>/h; mediamente sono introdotti in rete circa 12 L/s.

La quantità media di acqua ogni giorno prodotta nel Comune di Montaione è circa 1000 m<sup>3</sup>, parte dei quali sono distribuiti nei Comuni limitrofi, Volterra e Gambassi Terme.

La tipologia delle acque dell'acquedotto di Montaione è riportata nelle Tabelle 19 e 20.

Per lo sviluppo dell'acquedotto di Montaione valgono le stesse considerazioni fatte per quello di Gambassi Terme: la strategia deve essere di area ed è necessario un sistema distributivo integrato per la connessione delle reti, il pieno utilizzo delle risorse locali con un impiego ad hoc di tecniche di trattamento complesse (osmosi inversa) a causa dell'eccessiva mineralizzazione delle acque che dovrebbero essere trattate.

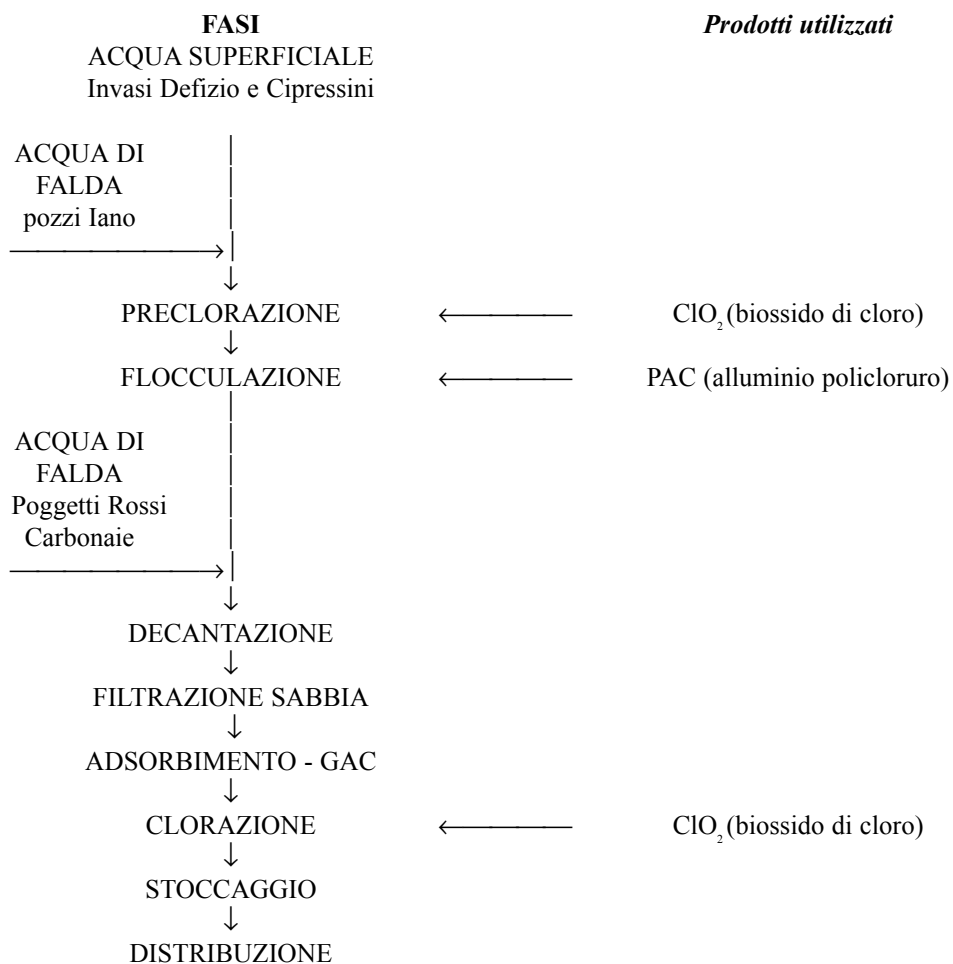


Figura 44 Schema del trattamento di Pian delle Querce, Montaione

Tabella 19 *Qualità delle acque grezze nel Comune di Montaione. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Pozzo Iano	Sorgente Pogg. Rossi	Sorgente Carbonaie
Torbidità	NTU	0.2	0.1	0.5
Attività ione idrogeno	pH	7.3	8.3	8.4
Conducibilità	μS/cm a 20°C	1454	867	837
Cloruri	mg/L Cl	26.8	27.5	26.1
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	488	34.9	33.3
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	8.3	29.9	42.8
Calcio	mg/L Ca	267	38.4	60.0
Magnesio	mg/L Mg	77.9	109	71.5
Sodio	mg/L Na	20.3	19.2	22.9
Potassio	mg/L K	1.6	0.5	1.1
Alluminio	μg/L Al	12	13	40
Durezza	°F	98.8	54.6	44.4
Residuo fisso calcolato	mg/L	1165	561	507
Bicarbonati	mg/L HCO <sub>3</sub>	557	469	210
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	0.7	3.0	1.4
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	<0.05	<0.05	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	0.72	0.98	0.54
Carbonio organico	mg/L C	0.6	1.2	1.5
Tensioattivi anionici	μg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	μg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Ferro	μg/L Fe	17	<10	<10
Manganese	μg/L Mn	<5	8	<5
Rame	μg/L Cu	1	2	2
Fosforo	μg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<500	<500	<500
Fluoruro	μg/L F	570	< 100	280
Arsenico	μg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	μg/L Cd	0.5	0.6	0.5
Cromo	μg/L Cr	1	11	7
Mercurio	μg/L Hg	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel	μg/L Ni	<5	<5	22
Piombo	μg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	μg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	μg /L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	μg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	0	ill.
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0	28
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0	112
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	13	11	38
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	2	44	44

Tabella 20 *Qualità delle acque grezze nel Comune di Montaione. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Pozzo Pian Querce	Invaso Defizio	Invaso Cipressini
Torbidità	NTU	0.2	5.3	10.5
Attività ione idrogeno	pH	7.5	8.7	8.2
Conducibilità	μS/cm a 20°C	858	512	185
Cloruri	mg/L Cl	37.9	20.5	9.9
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	54.5	29.1	14.1
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	23.9	13.8	9.7
Calcio	mg/L Ca	94.0	51.2	18.0
Magnesio	mg/L Mg	59.3	39.9	10.7
Sodio	mg/L Na	33.1	13.3	7.2
Potassio	mg/L K	1.1	1.2	1.4
Alluminio	μg/L Al	15	200	350
Durezza	°F	47.9	29.2	8.9
Residuo fisso calcolato	mg/L	560	326	124
Bicarbonati	mg/L HCO <sub>3</sub>	514	265	104
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	3.0	1.0	<0.1
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	<0.05	<0.05	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	0.47	6.89	>10
Carbonio organico	mg/L C	0.32	6.78	11.9
Tensioattivi anionici	μg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	μg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Ferro	μg/L Fe	20	140	1230
Manganese	μg/L Mn	<5	5	42
Rame	μg/L Cu	2	3	7
Fosforo	μg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<500	<500	<500
Fluoruri	μg/L F	120	120	60
Arsenico	μg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	μg/L Cd	0.5	0.5	<0.5
Cromo	μg/L Cr	3	5	14
Mercurio	μg/L Hg	<0.5	<0.5	<0.5
Nichel	μg/L Ni	18	12	7
Piombo	μg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	μg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	μg /L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	μg/L	< 0.1	< 0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	23	43
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	23	43
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	1	5
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	2
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	21	141	172
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	45	320	580



**Acquedotto di Poggibonsi**

Il principale approvvigionamento di acqua potabile del Comune di Poggibonsi utilizza una risorsa idrica superficiale: si tratta dell’acqua contenuta nell’invaso artificiale di Cepparello, la cui capacità è intorno a 500000 m³. Il progetto e la costruzione della diga risalgono alla fine degli anni ’50. Quando l’opera entrò in funzione (1963) fu utilizzata l’acqua dei suoi tributari naturali, i *borri* Cepparello e Granaio; successivamente, nel 1985, a causa dell’aumento dei consumi e del prolungarsi di alcune stagioni a bassa piovosità, l’apporto degli immissari non fu più sufficiente, tanto che è stato necessario realizzare un sistema di sollevamento per trasportare nell’invaso anche l’acqua captata nei torrenti Drove-Cinciano e Drove-Tattera. Il prelievo dell’acqua da questi corsi idrici avviene per otto o nove mesi l’anno, mentre nei restanti tre o quattro, a causa della loro siccità, viene prelevata anche acqua dal fiume Elsa. L’impianto di potabilizzazione, più volte ristrutturato, ha ottenuto la configurazione attuale nel 1996, di seguito schematizzata (Figura 45).

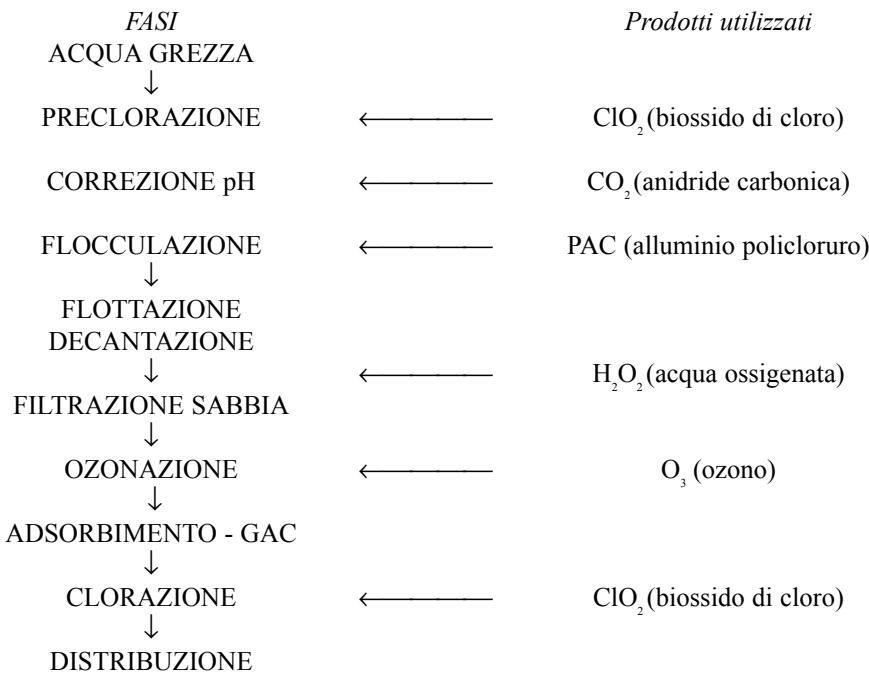


Figura 45 *Schema del trattamento di potabilizzazione di Cepparello*



Figura 46 *Acqua superficiale destinata alla produzione di acqua potabile (invaso di Cepparello, Poggibonsi, Siena). Le acque superficiali, per un loro utilizzo a scopo potabile, richiedono trattamenti di potabilizzazione differenziati in funzione delle diverse caratteristiche chimico-fisiche. È sempre necessario un trattamento di chiari-flocculazione per rimuovere il materiale in sospensione*

La massima capacità produttiva di questo impianto, in base al progetto, è pari a 300 m<sup>3</sup>/h; nel corso del 1999 in media sono stati immessi in rete circa 45 L/s di acqua prodotta da questo impianto. Questa struttura è attrezzata sufficientemente per produrre un'acqua potabile di buona qualità. Infatti il processo di flottazione, preceduto da una lieve immissione di biossido di cloro, serve per fronteggiare il problema legato alla presenza delle alghe, che periodicamente proliferano nell'acqua dell'invaso. L'azione di adsorbimento esercitata dal carbone attivo e il dosaggio combinato di acqua ossigenata ed ozono hanno già brillantemente risolto un'emergenza legata alla presenza di erbicidi nell'acqua grezza. L'uso in serie di biossido di cloro, ozono e, ancora, biossido di cloro, rappresenta una barriera multipla e insuperabile per i microrganismi, offrendo così un'ampia garanzia di una corretta disinfezione. Infine, i filtri a carbone attivo granulare rappresentano un ostacolo di adeguate dimensioni nei confronti delle sostanze organiche.

Le attuali fasi di trattamento non sono in grado di rimuovere solfati e magnesio: queste sostanze aumentano sensibilmente di concentrazione nell'invaso nel periodo in cui viene immessa l'acqua del fiume Elsa. L'acqua dell'impianto di Cepparello rifornisce attraverso una condotta una buona parte della rete di distribuzione del centro urbano di Poggibonsi prima di giungere al serbatoio di Galloria, dal quale è pompata fino a quello di San Lucchese. Entrambi i depositi funzionano da compenso e distribuzione. L'impianto di Bernino assicura acqua potabile a una parte del capoluogo e alle frazioni di Talciona, Poggiarello e Bellavista. La relativa risorsa idrica proviene dal sottosuolo, con pozzi perforati in un ridotto lembo pianeggiante del territorio formato dai depositi alluvionali dei torrenti Staggia e Carfini. L'acqua emunta attraverso i pozzi, tutti recentemente revisionati o di nuova realizzazione, può essere distribuita senza alcun trattamento ad esclusione della disinfezione di copertura. Tuttavia, in certi periodi dell'anno, ad esempio in seguito all'abbassamento del livello dell'acqua nella falda nei periodi estivi, il contenuto di ferro e manganese tende ad aumentare, creando talvolta fenomeni di intorbidamento. Il problema è stato superato con l'installazione di un impianto di trattamento: ossidazione con biossido di cloro, filtrazione su sabbia silicea e carbone attivo granulare.

La portata media, calcolata su base annua, dell'acquedotto di Bernino è circa 20 L/s. Questa centrale, attraverso il deposito di Poggiarello, rifornisce in parte anche la frazione di Staggia Senese, miscelata insieme ad acqua reperita localmente da un pozzo a largo raggio (Lisoia) e alcune piccole sorgenti (Fontana). Esistono poi nel Comune di Poggibonsi piccoli acquedotti locali che distribuiscono acqua a un ridotto numero di abitanti come Gavignano, Fosci e Castiglioni.

Nel Comune di Poggibonsi, nel corso del 1999, ogni giorno sono stati distribuiti mediamente, calcolando su base annua, 6300 m<sup>3</sup> di acqua. La tipologia delle acque dell'acquedotto di Poggibonsi è riportata nelle Tabelle 21 e 22.

Tabella 21 *Qualità delle acque potabili distribuite a Poggibonsi. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Bernino	Cepparello	Staggia
Colore	scala Pt/Co	<5	<5	<5
Torbidità	NTU	0.17	0.17	0.50
Temperatura	°C	17.4	-	-
Attività ione idrogeno	pH	7.2	7.4	7.5
Conducibilità	µS/cm a 20°C	1030	711	888
Cloruri	mg/L Cl	75.5	50.5	51.0
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	134	109	70.2
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	8.7	3.4	6.5
Calcio	mg/L Ca	161	106	135
Magnesio	mg/L Mg	26.3	28.4	12.5
Sodio	mg/L Na	45.0	19.9	46.2
Potassio	mg/L K	2.9	1.3	2.2
Alluminio	µg/L Al	-	80	35
Durezza	°F	51.1	38.2	39.0
Residuo fisso	mg/L	724	456	560
Bicarbonati	mg/L HCO <sub>3</sub>	437	276	403
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	23.4	5.1	27.0
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	<0.05	<0.05	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	0.98	1.14	0.79
Carbonio organico	mg/L C	1.04	1.50	0.64
Tensioattivi anionici	mg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	µg/L	<0.1	<0.1	5.1
Ferro	µg/L Fe	22	13	22
Manganese	µg/L Mn	<5	<5	<5
Rame	µg/L Cu	6	2	5
Fosforo	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<100	<100	<100
Fluoruri	µg/L F	300	170	<100
Arsenico	µg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	µg/L Cd	<0.2	<0.2	<0.2
Cromo	µg/L Cr	<1	<1	<1
Mercurio	µg/L Hg	<0.2	<0.2	<0.2
Nichel	µg/L Ni	<3	<3	<3
Piombo	µg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	µg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	2	1	4
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	9	7	8

Tabella 22 *Qualità delle acque potabili distribuite a Poggibonsi. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Castiglioni	Fosci	Gavignano
Colore	scala Pt/Co	<5	<5	<5
Torbidità	NTU	0.28	0.20	0.26
Attività ione idrogeno	pH	7.7	7.6	7.7
Conducibilità	μS/cm a 20°C	704	1069	763
Cloruri	mg/L Cl	24.2	69.8	50.8
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	47.2	94.8	54.5
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	7.1	11.6	10.1
Calcio	mg/L Ca	139	162	111
Magnesio	mg/L Mg	8.6	36.3	19.8
Sodio	mg/L Na	16.9	51.5	56.5
Potassio	mg/L K	1.4	1.5	1.4
Alluminio	μg/L Al	<3	5	16
Durezza	°F	38.3	55.4	35.9
Residuo fisso	mg/L	448	730	480
Bicarbonati	mg/L HCO <sub>3</sub>	398	563	396
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	18.6	1.1	7.8
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	<0.05	0.07	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	0.62	0.82	0.75
Carbonio organico	mg/L C	0.68	0.92	0.49
Tensioattivi anionici	mg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	μg/L	4.4	4.4	13.7
Ferro	μg/L Fe	28	30	18
Manganese	μg/L Mn	<5	16	7
Rame	μg/L Cu	4	<3	<3
Zinco	μg/L Zn	190	75	23
Fosforo	μg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<100	<100	<100
Fluoruri	μg/L F	160	290	<100
Arsenico	μg/L As	1	<0.2	1
Cadmio	μg/L Cd	<0.2	<0.2	0.5
Cromo	μg/L Cr	2	<1	4
Mercurio	μg/L Hg	< 0.2	<0.2	<0.2
Nichel	μg/L Ni	<3	<3	<3
Piombo	μg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	μg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	μg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	μg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	3	3	1
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	3	3	1

## ***Acquedotto di San Gimignano***

Il principale impianto per la distribuzione dell'acqua potabile situato nel Comune di San Gimignano è l'acquedotto Bottino, alimentato da una sorgente affiorante nel travertino che si trova nei pressi del torrente Fossa, e da due pozzi che si trovano in località Badia a Coneo (Comune di Colle Valdelsa). L'impianto serve il capoluogo e altri centri come Monte Oliveto, Castel San Gimignano, Montauto, San Donato, Racciano, San Biagio e Pancole. L'acqua proveniente dalla sorgente ha una portata assai variabile: gli estremi sono compresi nell'intervallo tra 10 - 60 L/s. L'acqua è immessa direttamente nelle condotte con il solo trattamento di disinfezione con ipoclorito di sodio per la copertura della rete di distribuzione. I pozzi, di cui uno di recente costruzione (2000), hanno una profondità intorno a 70 m e presentano una portata minore ma abbastanza costante nel tempo, ognuno di circa 5 L/s. Prima dell'introduzione in rete, l'acqua è sottoposta ad un classico trattamento di deferrizzazione, seguito dalla disinfezione con ipoclorito. Un complesso sistema di sollevamento trasporta l'acqua nei vari centri del Comune di San Gimignano.

L'acquedotto di Badia a Elmi attinge nei depositi alluvionali (ghiaie e sabbie) del torrente Casciani. È un'area molto utilizzata per l'approvvigionamento idropotabile, poiché nelle immediate vicinanze troviamo anche i pozzi che alimentano buona parte del Comune di Gambassi Terme (Badia a Cerreto) e quasi tutto quello di Certaldo (Baccana). L'acqua è prelevata ad una profondità di circa 16 m dal piano campagna e immessa in rete con il solo trattamento di disinfezione a base di ipoclorito di sodio per la copertura della rete. La portata non è molto elevata, circa 8 L/s, ma è sufficiente alle necessità degli abitanti delle frazioni Badia a Elmi, Villa del Monte, Casaccia, Ulignano, S. Andrea e S. Maria. Nell'area sono presenti altri pozzi che sono utilizzati solo saltuariamente.

La tipologia delle acque dell'acquedotto di San Gimignano è riportata in Tabella 23.

Tabella 23 *Qualità delle acque potabili distribuite a San Gimignano. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Badia a Coneo (*)	Bottino	Badia a Elmi
Torbidità	NTU	0.4	0.5	0.5
Temperatura	°C	16.2	17.4	-
Attività ione idrogeno	pH	7.3	7.2	7.5
Conducibilità	µS/cm a 20°C	651	984	824
Cloruri	mg/L Cl	29.6	58.9	51.0
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	26.9	128	62.7
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	5.3	7.9	11.7
Calcio	mg/L Ca	125	149	135
Magnesio	mg/L Mg	6.9	21.3	12.5
Sodio	mg/L Na	23.1	37.4	39.0
Potassio	mg/L K	2.5	3.2	3.3
Alluminio	µg/L Al	7	40	35
Durezza	°F	34.0	46.1	38.9
Residuo fisso calcolato	mg/L	445	643	559
Bicarbonati	mg/L HCO <sub>3</sub>	329	406	430
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	63.3	20.1	31.8
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	0.05	<0.05	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	1.2	0.8	0.8
Carbonio organico	mg/L C	0.5	1.3	0.6
Tensioattivi anionici	mg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	µg/L	<0.1	10.4	<0.1
Ferro	µg/L Fe	33	21	22
Manganese	µg/L Mn	<5	21	<5
Rame	µg/L Cu	1	6	<1
Fosforo	µg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<100	<100	<100
Fluoruri	µg/L F	160	280	120
Arsenico	µg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	µg/L Cd	0.5	<0.2	<0.2
Cromo	µg/L Cr	1	<1	<1
Mercurio	µg/L Hg	<0.2	<0.2	<0.2
Nichel	µg/L Ni	<5	<5	<5
Piombo	µg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	µg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	20	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	15	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	8	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	8	2	4
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	8	9	8

(\*acqua grezza)

## ***Acquedotto di Casole d'Elsa***

L'approvvigionamento idrico nel Comune di Casole d'Elsa è garantito dagli acquedotti di Casina, Mensano e Pievescola: l'acqua è distribuita con l'unico trattamento di potabilizzazione costituito dalla disinfezione con ipoclorito di sodio per la copertura della rete. Inoltre, nella zona della Montagnola Senese vicino al confine con il Comune di Sovicille, è stato realizzato un nuovo sistema distributivo capace di soddisfare la necessità di quest'area.

Il principale impianto idrico di Casole d'Elsa è l'acquedotto Casina che è collocato nel Comune di Colle Valdelsa. Il sistema di alimentazione è costituito da due pozzi profondi circa 130 - 140 m, che sono utilizzati per entrambi i Comuni, che dispongono autonomamente di un proprio sistema distributivo, formato da un gruppo di spinta e da una condotta. L'acqua è trasferita direttamente fino al deposito del capoluogo, attraverso il quale, per gravità, sono servite le abitazioni circostanti e quelle delle frazioni Corsina, Merlo, Cavallano e Lucciana. La parte bassa di quest'ultima frazione e l'adiacente zona industriale utilizzano acqua proveniente per gravità direttamente dai pozzi Casina. La quantità di acqua distribuita mediamente, su base annua, da questo impianto è circa 400 m<sup>3</sup> al giorno.

L'acquedotto di Mensano, oltre a servire direttamente l'omonima frazione e quella di Monteguidi, nei mesi invernali, essendo disponibile una maggiore quantità di acqua, rifornisce per gravità anche il capoluogo. Infatti, l'acquedotto di Mensano è alimentato da un pozzo (profondità dal piano campagna 30 m), situato in località Paradiso e da due sorgenti, Salaioli e Cetinaglia, che nei periodi più piovosi aumentano la portata consentendo un utilizzo maggiore. Tutte le risorse confluiscono nel serbatoio in località Doccia da cui, tramite un sistema di pompaggio, sono trasferite al deposito di Mensano dal quale, con la sola forza di gravità, si provvede sia alla distribuzione all'utenza che al trasferimento sino al serbatoio del capoluogo. La quantità media di acqua distribuita da questo impianto è valutabile in circa 120 m<sup>3</sup> al giorno. Le frazioni di Pievescola e Maggiano, assieme ad altri insediamenti limitrofi, compreso quello di Scorgiano parte del quale è situato nel Comune di Monteriggioni, sono invece servite da quattro pozzi locali che forniscono in media circa 110 m<sup>3</sup>/giorno.

La tipologia delle acque dell'acquedotto di Casole d'Elsa è riportata in Tabella 24.



Tabella 24 *Qualità delle acque potabili distribuite a Casole d'Elsa. Valori medi anno 2000*

Parametro	Unità di misura	Casina	Mensano	Pievescola
Colore	scala Pt/Co	<5	<5	<5
Torbidità	NTU	0.2	0.3	0.3
Temperatura	°C	16.5	15.6	16.2
Attività ione idrogeno	pH	7.4	7.9	8.1
Conducibilità	μS/cm a 20°C	899	659	695
Cloruri	mg/L Cl	24.1	26.2	19.4
Solfati	mg/L SO <sub>4</sub>	204	31.6	36.2
Silice	mg/L SiO <sub>2</sub>	6.0	6.2	34.5
Calcio	mg/L Ca	159	95.2	35.6
Magnesio	mg/L Mg	35.2	30.7	78.8
Sodio	mg/L Na	17.3	18.7	26.7
Potassio	mg/L K	1.7	6.0	0.7
Alluminio	μg/L Al	5	13	12
Durezza	°F	54.2	36.4	41.3
Residuo fisso	mg/L	693	406	441
Bicarbonati	mg/L HCO <sub>3</sub>	386	390	436
Nitrati	mg/L NO <sub>3</sub>	7.9	16.5	13.5
Nitriti	mg/L NO <sub>2</sub>	<0.02	<0.02	<0.02
Ammonio	mg/L NH <sub>4</sub>	<0.05	<0.05	<0.05
Ossidabilità	mg/L O <sub>2</sub>	0.6	0.5	0.9
Carbonio organico	mg/L C	1.3	1.9	0.6
Tensioattivi anionici	mg/L LAS	<0.05	<0.05	<0.05
Organoalogenati	μg/L	1.3	6.1	7.1
Ferro	μg/L Fe	22	21	27
Manganese	μg/L Mn	<5	5	10
Rame	μg/L Cu	1	2	<1
Fosforo	μg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<100	<100	<100
Fluoruri	μg/L F	260	170	<100
Arsenico	μg/L As	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmio	μg/L Cd	<0.2	<0.2	<0.2
Cromo	μg/L Cr	<1	<1	<1
Mercurio	μg/L Hg	<0.2	<0.2	<0.2
Nichel	μg/L Ni	<5	<5	<5
Piombo	μg/L Pb	<2	<2	<2
Antimonio	μg/L Sb	<0.2	<0.2	<0.2
Antiparassitari	μg/L	<0.05	<0.05	<0.05
Policiclici aromatici	μg/L	<0.1	<0.1	<0.1
Coliformi totali	n°/100 mL	0	0	0
Coliformi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Streptococchi fecali	n°/100 mL	0	0	0
Spore clostridi s.r.	n°/100 mL	0	0	0
Colonie su agar 36°C	n°/ mL	2	1	4
Colonie su agar 22°C	n°/ mL	6	5	8

## **Bibliografia**

- AA.VV. - *La qualità dell'aria: deposizioni umide a Firenze e Vallombrosa* - Collaborazione Istituto Tecnico Leonardo da Vinci di Rifredi (FI) – ARPAT, Dipartimento di Firenze, 2000.
- Balocchi L., Giaconi V., Ronca M. e Salutini A. - *Determinazione di composti organoalogenati negli acquedotti della Provincia di Pisa*. Boll. Chim. Igien., vol. 42 1991.
- Bianucci G. e Ribaldone Bianucci E. - *La chimica delle acque sotterranee*. Hoepli ed. Milano, 1985.
- Canuti P. e Tacconi P. - *Idrogeologia e risorse idriche del bacino del fiume Arno: sottobacini dei fiumi Greve, Pesa, Elsa*. Atti del Convegno “Risorse idriche e assetto del territorio” organizzato dalla Provincia di Firenze – Firenze, 13-14 Maggio 1975.
- Bossio A., Mazzei R., Salvatorini G., Sandrelli F. - *L'Alta Val d'Elsa: nascita ed evoluzione geologica*”. Elsa natura, n° 1, pag. 19-28, 1999.
- Celati R., Grassi S. and Calore C.- *Overflow thermal springs of Tuscany (Italy)*. Journ. of Hydrology, 118, 1990, pp. 191 - 207.
- Circolare 1 Luglio 1986 n. 42 del Ministero della Sanità - *Indicazioni esplicative dell'ordinanza ministeriale 26 giugno 1986 relativa alle restrizioni all'immissione sul mercato e all'uso della crocidolite e di taluni prodotti che la contengono*. (G.U. n. 157 del 9 -7-1986).
- Dallan L., Raggi G., Squarci P., Taffi L. e Trevisan L. - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, foglio 112 Volterra*, Servizio Geologico d' Italia, 1969.
- Decreto del Presidente della Repubblica del 24 maggio 1988 n° 236. *Attuazione della Direttiva CEE n° 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'articolo 15 della legge 16.4.1987, n° 183* (G.U. n° 152 del 30.6.1988).
- Decreto del 27 ottobre 1997 - *Disciplina concernente le deroghe alle caratteristiche di qualità delle acque destinate al consumo umano*. (G.U. 14.11.1997, Serie Generale n° 266).
- Decreto lgs. 4 agosto 1999 n. 339 - *Disciplina delle acque di sorgente e modificazioni al D. lgs. 25 gennaio 1992, n° 105, concernente le acque minerali naturali, in attuazione della direttiva 96/70/CE*. (G.U. n° 231 del 1.10.1999).
- Decreto lgs. 2 febbraio 2001, n. 31 - *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qua-*

- lità delle acque destinate al consumo umano.* (G.U. n.52 del 3 marzo 2001).
- Decreto lgs. 2 febbraio 2002, n. 27 – *Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 2 febbraio 2001, recante attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano.* (G.U. n.58 del 9 marzo 2002).
- Direttiva del Consiglio del 15 luglio 1980 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (80/778/CEE) (G.U.C.E. 30.08.1980 N.L.229/11)
- Direttiva 98/83/CE del Consiglio del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (G.U.C.E. L. 330/32 del 05.12.1998).
- Fornaciai G., Cherubini M., Mantelli F. - *Contaminazione da fibre di amianto nelle acque potabili in Toscana.* Atti del Convegno Nazionale “L’amianto: dall’ambiente di lavoro all’ambiente di vita. Nuovi indicatori per futuri effetti”, Torino, 23-25 settembre 1996). Tipografia PI-ME editrice, Pavia 1997.
- Fornaciai G., Cherubini M., Mantelli F., Chellini E. and Sacco C.- *Results of a survey on asbestos fibre contamination of drinking water in Tuscany, Italy.* J. Water SRT – Aqua, vol. 47, n° 1, pp.1-8, 1998.
- Franchini D., Bagatti M., Lazzerini G., Magnani M., Masi P., Massaini L., Scapigliati D. e Tabani P. - *Contabilità ambientale e gestione territoriale nei bacini idrografici dei fiumi Elsa ed Egola* Programma LIFE ‘93 - Publiser spa, Empoli, Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano.
- Franchini D., Lazzerini G. e Pettini L. - *Indicatori ambientali e programmazione regionale.* Il caso Toscana. Istituto di Ricerche Ambiente Italia - Oss. Toscana 1996 IRPET, Firenze
- Garuglieri A., Griffini O., Peruzzi P. e Pranzini G.- *L'inquinamento da organoalogenati nelle acque di falda della zona Nord-Ovest di Firenze.* Dipartimento di Scienza della Terra Università di Firenze, 1990.
- Gemiti F. - *Problemi igienici derivanti dall'impiego di materiali a base organica nelle reti di distribuzione di acque potabili.* Giornata di studio. “Acque per uso potabile - protezione e controllo della qualità” G.S.I.S.R. Milano, 20 febbraio 1987.
- Grassi S., Netti R. – *Contaminazione da mercurio di falde idriche in provincia di Grosseto.* Atti del 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13/15 ottobre 1999, in: Quaderni di geologia applicata, vol. 2, pp. 321-327, Pitagora Editrice, Bologna.
- Griffini O. and Peruzzi P. - *Atrazine in drinking water, bench scale GAC simulation test -*

*practical application, year 1986*. IWSA European Specialised Conference “Atrazine and other pesticides”. Water Supply, vol. 10, n° 2, 1992, pp 147 - 155.

Griffini O. e Peruzzi P. - *Sistemi di abbattimento e controllo degli inquinanti chimici nelle acque potabili*. Atti del Convegno Regionale “Acqua potabile & salute” Brescia 11 giugno 1993.

Legge 5 gennaio 1994, n° 36 - *Disposizione in materia di risorse idriche*. (G.U. n° 14 del 9 gennaio 1994).

Lotti C. - *Acqua: istanza irrisolta del sud del mondo* – L’Acqua, 5, 7-11, 2001.

Mantelli F. - *La torbidità delle acque potabili, nelle acque minerali e in quelle di piscina. Cause, tecniche di misura e valori limite*. Boll. Chim. Igien., vol 46, 1995.

Mantelli P., Fiorentino G., Bucci P., Ronchi A., Minoia C. – *Evoluzione delle conoscenze sulle caratteristiche chimiche e microbiologiche dell’acqua salsa di Pillo (Gambassi Terme, Firenze)*. Atti del 34° Congresso Internazionale SITH, 25-28 giugno 1999, S. Giuliano Terme, Pisa. Report non pubblicato.

Mantelli F., Montigiani A., Lotti L., Piccini L., Malcapì V. - *Le acque sotterranee del sistema carsico del M. Corchia: valorizzazione, salvaguardia e rischi di inquinamento*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13/15 ottobre 1999, in: Quaderni di geologia applicata, vol. 1, 115-125, Pitagora Editrice, Bologna.

Mantelli F., Salutini A., Grilli A., Bucci P., Carrozzino S., Iozzelli M. *et al.* - *Presenza di arsenico nelle acque di acquedotto e nelle fonti di approvvigionamento idrico in Toscana*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio. Parma 13/15 ottobre 1999, in: Quaderni di geologia applicata, vol. 2, pp. 271-281, Pitagora Editrice, Bologna.

Mantelli F., Gori R., Masini M., Bucci P., Sciuillo A. – *Cadmio, Cromo e Piombo nelle acque potabili in provincia di Firenze: indagini relative agli anni 1993-1996*. Boll. Chim. Igien., vol. 50, pp. 359-369, 1999.

Mantelli F., Ronchi A., Minoia C. – *Campionamento delle piogge in aree montane* Boll. Chim. Igien., vol. 51, 2000).

Mantelli F., Caldini G., Bucci P., Cioni F., Bartolucci G. - *Il controllo delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile in Provincia di Firenze in relazione al D. lgs. 11 maggio 1999 n.152*. Atti del XXVIII Congresso dell’Unione italiana dei Chimici Igienisti, Como, 17-19 maggio 2000. Boll. Chim. Igien., vol. 51, pp. 139-152, 2000.

- Mantelli F., Fiorentino P., Masini M., Cecconi E., Bucci P., Cioni F., Orsini P., Bertini G., Cresti M. - *Verso l'attuazione del D. lgs. 31/01: evoluzione dei parametri di controllo delle acque destinate al consumo umano*. Boll. Chim. Igien., Atti del XXX Congresso Nazionale dell'Unione Italiana dei Chimici Igienisti, Palermo, 5-7 giugno 2002, vol 53, pag. 279-298, 2002.
- Merla G. e Bortolotti V.- *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, foglio 113 Castelfiorentino*. Servizio Geologico d'Italia, 1967.
- Moore J.W. and Ramamoorthy S. - *Heavy Metals in Natural Waters. Applied Monitoring and Impact Assessment*. Springer-Verlang, New York, 1984.
- Nicolli H.B., Suriano J.M., Gomez Peral M.A., Ferpozzi L.H. and Baleani O.A. - *Groundwater contamination with arsenic and other trace elements in an area of the Pampa, province of Córdoba, Argentina*. Environ. Geol. Water Sci., vol. 14 n° 1, pp. 3 – 16, 1989
- Olori L., Cannavale V., Cucuzza e. e Servili G. - *Composti aromatici polinucleari nelle acque: aspetti chimici, microbiologici e degradativi*. Frigerio A., ed. "Acque per uso potabile" G.S.I.S.R., Milano, gennaio 1991.
- Olori L., Cannavale V., Servili G. e Mancini G. - *Materiali compositi a contatto con acque destinate al consumo umano: caratteristiche chimiche, chimico-fisiche, microbiologiche e tecnologiche*. Frigerio A. ed., Acque per uso potabile - Proposte per la tutela e il controllo della qualità", G.S.I.S.R., Milano, febbraio 1992.
- Pellegrini M., Canedoli S., Panini G., Voltolini C. - *Alcuni particolari aspetti idrochimici delle acque sotterranee in relazione alle caratteristiche geologiche dell'acquifero: esempi nella provincia di Reggio Emilia*. Atti del convegno nazionale "Acque per il consumo umano, problematiche relative alla risorsa idrica alla luce del D.P.R. 236/88", Reggio Emilia, 5 marzo 1992.
- Petrella R. - *L'oro blu del XXI secolo*. Sapere, Ed. Dedalo, anno 68, n.3, pp. 31, 37. (Giugno 2002).
- Rook J.J. - *Chlorination reactions of fulvic acid in natural water*. Env. Sci. & Technology - 11, 478-482, 1977.
- Rosetti E. e Valenti L. - *Terme & Sorgenti di Toscana*. Le Lettere, Firenze, 1997.
- Sabbioni E., Minoia C., Pietra R., Muntau H., Gatti A. e Manzo L. - *Il problema della speciazione nella definizione dei limiti di esposizione di elementi in traccia in acque destinate al consumo umano*. Atti del Convegno Nazionale "Acque per il Consumo Umano,

[...]”, pp. 85 - 100, 5 Marzo 1992 Reggio Emilia.

Targioni Tozzetti G. - *Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali e gli antichi monumenti di essa*, edizione seconda, con copie giunte, Tomo ottavo, pag. 73, Firenze MDCCLXXV.

Weeber K.W. - *Smog sull'Attica I problemi ecologici nell'antichità*, Garzanti, 1991.

W.H.O. - Guidelines for Drinking Water Quality, volume 1 “Recommendation” and volume 2 “Health Criteria and Other Supporting Information” (WHO, 1993).

W.H.O. Guidelines for drinking-water quality, second edition, volume 2, Geneva 1996.

Volterra L. e Dal Caro C.- *Gli indici microbiologici*. Biologi Italiani 10, 37-38, 1991.

Ziemacki G., Viviano G. and Merli F. - *Heavy metals: sources and environmental presence*. Ann. Sup. Sanità, 25, 1989.



**ARPAT**

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

Via Nicola Porpora, 22 - 50144 Firenze - tel. 055.32061