

Le acque in montagna e nelle aree remote

Linee generali per l'utilizzo a scopo potabile

di Francesco Mantelli⁽¹⁾⁽²⁾

1. Comitato Scientifico Regionale Toscana "Fiorenzo Gei"

2. CAI - Sezione di Valdarno inferiore

Riassunto

Con questo lavoro si forniscono dei criteri, comunque di tipo generale, sulla possibilità di utilizzare acque a scopo potabile sia in ambienti di montagna che in aree remote. Vengono indicate le principali tipologie di composizione delle acque in relazione all'interazione acqua-roccia e riportati esempi di utilizzo di acque su alcune montagne e in particolari aree remote. Sono infine indicati i principali sistemi di potabilizzazione che possono essere utilizzati in questi ambienti.

Abstract: *Waters in the mountains and remote areas - General guidelines for use for drinking purposes*

This work provides criteria, however of a general nature, on the possibility of using water for drinking purposes both in mountain environments and in remote areas. The main types of water composition in relation to the interaction - water and rock are indicated and examples of water use on some mountains and in particular remote areas are reported. Finally, the main drinking water systems that can be used in these environments are reported.

Introduzione: definizione di acqua potabile

Il concetto di potabilità dell'acqua nasce da valutazioni molto antiche che hanno subito nel corso dei secoli notevoli modifiche in conseguenza dell'approfondirsi delle conoscenze scientifiche.

Gli antichi avevano elaborato, sulla base di conoscenze empiriche, vari criteri per valutare la potabilità dell'acqua e per preservare la sua salubrità.

Palladio, V secolo d.C., in *De re rustica* riporta: «*Aquae salubritas sic agnoscitur: primum ne a lacunis ne a palude ducatur, ne de metallis originem sumat*». Con questa affermazione l'autore individuava già alcune criticità che potevano rendere le acque non potabili: le acque stagnanti non sono mai salubri, quelle che sono venute in contatto con metalli sono contaminate.

Per molti secoli l'umanità ha cercato di preservare l'acqua da possibili contaminazioni, tuttavia senza conoscere le principali tipologie di inquinanti né i meccanismi di trasmissione delle malattie attraverso l'acqua. Occorre arrivare al XVII secolo quando Antoni van Leeuwenhoek, ottico e naturalista olandese, osservò per la prima volta i batteri; tuttavia, bisognerà attendere ancora a lungo per riconoscerli come microscopici agenti patogeni in grado di moltiplicarsi e generare infezioni. Furono i lavori sui batteri, di Pasteur, Koch e Cohn realizzati nella seconda metà dell'Ottocento, a gettare le basi per la moderna microbiologia.

In Italia, in seguito all'epidemia di colera del 1884-85, viene posta particolare attenzione sulla distribuzione delle acque potabili e sul sistema fognario, nel loro insieme ritenuti responsabili della diffusione delle malattie infettive. In quegli anni vengono definiti i criteri utilizzati per valutare la qualità chimica delle acque (prof. Giorgio Roster - *Dei Criteri per giudicare la potabilità di un'acqua*, 1893), si procede alle prime opere ingegneristiche con costruzione di dighe, si iniziano i primi processi di disinfezione delle acque. L'evoluzione della cultura inerente la potabilità delle acque si muove

comunque lentamente; tuttavia, a inizio Novecento viene emanata una serie di atti normativi che, giustamente, pongono prevalentemente l'attenzione sugli aspetti batteriologici dell'acqua.

I primi metodi "ufficiali" delle analisi chimiche, fisiche e anche microscopiche e microbiologiche sono del 1905, data di pubblicazione della prima edizione del *Report of the Committee on Standard Methods of Water Analysis to the Laboratory Section of the American Public Health Association*.

In Italia occorre arrivare al 1950, quando Puntoni riporta nella sua trattazione alcuni metodi d'analisi abbastanza dettagliati e allargati alla ricerca degli streptococchi fecali, delle spore di *Bacillus perfringens*. Il percorso verso una legislazione evoluta sulle acque potabili è ancora lento: dal 1950 fino al termine del 1970 i controlli chimici e microbiologici delle acque potabili ricalcavano, in linea generale, la serie dei parametri del documento "Criteri di potabilità e norme di potabilizzazione delle acque" del 1936.

Dopo ulteriori passaggi normativi in cui progressivamente si individuano riferimenti avanzati di tipo chimico e microbiologico (DPCM 8 febbraio 1985), si giunge finalmente al 1988 quando si realizza il primo vero salto di qualità nella definizione di tali requisiti. In seguito al recepimento della Direttiva europea n. 80/778/CEE viene emanato il DPR 236/1988 che di fatto rappresenta la vera norma di attuazione della direttiva comunitaria e quindi non si limita solo a disciplinare gli aspetti sanitari, ma interviene anche sulla tutela delle risorse idriche destinate all'utilizzo potabile.

Sarà emanato negli anni seguenti il Decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 a cui seguirà l'attuale legislazione in materia, costituita dal Decreto legislativo del 23 febbraio 2023, n. 18, dal recepimento della Direttiva UE 2020/2184 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano.

Quindi un'acqua, sulla base della normativa vigente, per possedere i requisiti di potabilità deve soddisfare una serie molto numerosa di parametri di tipo chimico e microbiologico indicati nei numerosi allegati del citato Decreto.

In questo lavoro, per semplicità sono riportate solo le tabelle 1 e 2, dove sono indicati i parametri più significativi in relazione al contesto affrontato e i rispettivi valori di parametro, che in pratica rappresentano dei valori limite.

Qual è il significato di valore limite? Se un'acqua contiene una o più sostanze in quantità superiore al valore limite, tale acqua non presenta i requisiti di potabilità; è insomma un valore che non può essere superato.

Per esempio, per quanto riguarda il contenuto in nitrati, il valore limite è 50 milligrammi per litro (mg/L); pertanto, un'acqua con nitrati superiori a questo valore non ha i requisiti di potabilità. Occorre infine precisare che i valori limite sono calcolati supponendo un consumo giornaliero di due litri di acqua per l'intero arco della vita; ne consegue che brevi e temporanei superamenti di tali valori, pur determinando la non potabilità dell'acqua, non costituiscono pregiudizio per la salute, in particolare per le sostanze che non hanno caratteristiche di tossicità acuta.

Fu sulla base di questo assunto che in passato sono state date delle deroghe (previste anche nella normativa europea) a tali valori per alcuni parametri (boro, arsenico, nitrati, solfati e altri), limitate nel tempo, nell'attesa che i gestori degli acquedotti allestissero adeguati sistemi di trattamento al fine di risolvere quelle criticità.

Un discorso diverso deve essere fatto per la microbiologia delle acque: il superamento dei valori limite dei parametri microbiologici indica, nella maggior parte dei casi, che l'acqua ha subito una contaminazione e che pertanto può contenere microrganismi patogeni; il suo impiego a uso potabile può produrre un'infezione che può evolvere in malattia più o meno grave a seconda del tipo di microrganismo responsabile. Pertanto, in nessun caso è possibile derogare dai valori limite microbiologici.

Parametri	Unità di misura	Valore di parametro (Valore limite)
Antimonio	µg/L	10
Arsenico	µg/L	10
Benzene	µg/L	1,0
Benzo (a) pirene	µg/L	0,010
Boro (come B)	mg/L	1,5
Cadmio	µg/L	5,0
Cromo	µg/L	50 - 25*
Rame	mg/L	2,0
Fluoruro	mg/L	1,50
Piombo	µg/L	10*
Mercurio	µg/L	1,0
Nickel	µg/L	20
Nitrato	mg/L NO ₃	50
Nitrito	mg/L NO ₂	0,50
Selenio	µg/L	20
Vanadio	µg/L	140
Uranio	µg/L	30

Tabella 1 – Parametri chimici indicati nella parte B allegato 1 D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 (µg/L: microgrammi/litro; mg/L: milligrammi/litro). *Per il Cromo il valore limite 25 andrà in vigore nel 2026, per il Piombo il valore si abbasserà a 5 dal 2036.

Il D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 riporta anche una serie di parametri definiti indicatori (parte C1 dell'allegato 1). Per questi è prevista la conformità ai rispettivi valori (Tabella 2).

Questi non sono veri e propri valori limite, ma quando si verificano dei superamenti, l'articolo 15 comma 1, lettera d, prevede l'adozione di provvedimenti correttivi, comunque subordinati all'evidenza di rischio per la salute umana.

Parametri	Unità di misura	Valore di parametro per cui è prevista la conformità
Alluminio	µg/L Al	200
Ammonio	mg/L NH ₄	0,50
Cloruro	mg/L Cl	250
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/100 mL	0
Conduttività	µS/cm a 20 °C	2500
pH	Unità pH	6,5 - 9,5
Ferro	µg/L Fe	200
Manganese	µg/L Mn	50
Solfato	mg/L SO ₄	250
Sodio	mg/L Na	10
Batteri coliformi	UFC/100 mL	0
Torbidità	NTU	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale
Residuo secco a 180 °C	mg/L	1500

Tabella 2 – Parametri indicatori riportati nel D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18.

In assenza di contaminazione di tipo chimico e microbiologico, il contenuto dei solidi disciolti (residuo secco a 180 °C, più frequentemente denominato residuo fisso, anche TDS: *total dissolved solids*) costituisce il fattore limitante nell'uso di un'acqua ai fini potabili: acque pochissimo mineralizzate (acque di pioggia e di fusione di neve e ghiaccio) non hanno i requisiti di potabilità, né le acque molto mineralizzate; il limite di legge (non tassativo) è 1500 mg/L (Tabella 2).

È possibile comunque bere acque con residuo fisso superiore (non troppo) per un tempo limitato senza incorrere in particolari rischi sanitari. Si ricorda che gli ioni prevalenti (componenti principali) che costituiscono il residuo fisso sono: sodio, potassio, calcio, magnesio, cloruro, solfato e idrogenocarbonato (o bicarbonato).

Per la valutazione delle caratteristiche microbiologiche il D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18, richiede la ricerca dei parametri riportati nell'allegato 1 parte A e parte C1: enterococchi intestinali, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* (devono essere assenti in 100 ml di campione di acqua) conteggio delle colonie a 22 °C (non devono verificarsi variazioni anomale), batteri coliformi (assenti in 100 ml di campione acqua).

La presenza di questi batteri nelle acque può essere associata a microrganismi patogeni e pertanto mette in evidenza una contaminazione da infiltrazioni di materiale fecale. Tra i batteri più noti possiamo indicare l'*Escherichia coli* o colibacillo. Di solito non è direttamente patogeno, anche se esistono rare forme, geneticamente differenziate, che sono in grado di provocare gravi malattie in soggetti a rischio come neonati e immunodepressi.

In sintesi, in relazione allo stato di potabilità delle acque, occorre quindi valutare sempre gli aspetti chimici e microbiologici.

Per quanto riguarda i parametri chimici, la legislazione attuale prevede l'analisi di centinaia di sostanze fra le centinaia di migliaia che l'uomo ha immesso, e continua a immettere, nell'ambiente, spesso non degradabili e quindi ad alta persistenza. Oltre ai derivati clorurati come percloretilene e tricloroetilene, si pensi alle numerose e differenti famiglie degli antiparassitari, ai PCB (Policlorobifenili) e alle sostanze perfluoroalchiliche (PFAS, PFOS), composti questi ultimi recentemente divenuti quasi ubiquitari. Fra questi l'acido trifluoroacetico è il derivato fluorurato più abbondante nelle acque della Terra per l'elevato impiego e per la sua elevata solubilità; attualmente si ritiene che questa molecola sia quella presente in maggiore quantità anche nei mari, nei campioni di ghiaccio, nelle piogge e nell'aria, quindi con trasporto anche in aree lontane dai luoghi di produzione e utilizzo. Poiché si presume che al momento sulle montagne e nelle aree remote tali composti abbiano bassa probabilità di essere presenti nelle relative acque in concentrazioni significative (tuttavia non assente), per semplicità sono state omesse le tabelle relative a questi contaminanti i cui valori limite sono dell'ordine dei microgrammi e nanogrammi/litro (per esempio, antiparassitari aldrin, dieldrin e altri, valore limite 30 ng/L); quindi, per ulteriori approfondimenti, si deve fare riferimento alle tabelle complete riportate nel D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18.

Ai fini della valutazione, pur sommaria e certamente incompleta, della potabilità dell'acqua restano ancora come "macroindicatori" di contaminazione le forme di azoto: ammonio, nitriti e nitrati. Su nitriti e i nitrati nell'acqua potabile viene posta molta attenzione poiché nell'organismo umano queste forme di azoto possono combinarsi con le ammine derivate dai processi degradativi delle proteine, originate dai cibi, che avvengono nello stomaco e possono produrre le nitrosammine, sicuri agenti cancerogeni, nitriti e nitrati inoltre possono produrre metaemoglobinemia nei neonati.

Le acque in montagna

Acque superficiali - L'acqua in montagna è sia allo stato liquido, sia in forma di neve e ghiaccio. Sulle montagne dove l'acqua è liquida, questa può fuoriuscire da sorgenti, fluire nei torrenti o essere presente in pozze e laghi. Le acque dei torrenti e dei ruscelli di montagna, anche quando scorrono a quote elevate e appaiono limpide, sono sempre a rischio dal punto di vista microbiologico. Anche in zone apparentemente disabitate, vi possono essere presenze animali o umane che danno luogo a dispersione nel terreno di deiezioni e altri reflui con conseguente contaminazione microbica; pertanto, per i corsi superficiali non c'è garanzia di sicurezza.

Sono ritenute relativamente a minor rischio sotto il profilo microbiologico le acque superficiali che provengono da territori dove è nota l'assenza di insediamenti umani, allevamenti di animali o significativa presenza di selvaggina, che possiedono inoltre una notevole portata, con materiale sospeso assente, cioè limpide, e che sono ben ossigenate in modo da consentire la degradazione in tempi brevi delle sostanze organiche eventualmente presenti; sono queste le acque di montagne in alta quota, acque che scorrono in ambiente di praterie e in aree prevalentemente rocciose; tuttavia anche in questi ambienti le

L'ammonio è in relazione a processi di decomposizione di sostanze proteiche ed è spesso in relazione con acque reflue, fenomeno generalmente, ma non sempre, da escludere in un'area montuosa o remota; pertanto, la sua presenza può avere relazione con la decomposizione di selvaggina morta e quindi con una possibile contaminazione microbiologica. Tuttavia, occorre ricordare che in alcune acque sotterranee l'ammoniaca può avere origine geologica, in particolare negli acquiferi che sono in contatto con terreni e sedimenti di origine palustre o con torbiere, talvolta con valori fino a 10 mg/L. Il nitrito costituisce un successivo passaggio ossidativo dell'ammonio, così come il nitrato che costituisce l'ossidazione finale dell'azoto. La presenza di nitrato in concentrazione elevata (il limite di legge è 50 mg/L) è molto rara nelle acque delle aree montuose e in aree remote, dove si presume l'assenza di fertilizzanti chimici azotati e altri fonti di diffusione di azoto nitrico. In realtà i nitrati possono provenire da passaggi successivi di ossidazione dell'ammonio, come una volta si è verificato nell'acqua di un pozzo in un'area semidesertica della Mongolia: l'intorno del pozzo era luogo di stazzo di numerose pecore che avevano inquinato il suolo attorno; i nitrati in concentrazioni elevate riscontrati nell'acqua di quel pozzo erano riconducibili all'ossidazione (batteri nitrificatori) dell'ammonio contenuto nelle deiezioni animali.

Vedremo nel corso di questo lavoro come in molte acque in montagna e nelle aree remote si riscontrino valori molto bassi delle varie forme di azoto, spesso non rilevabili dalla strumentazione analitica; per il nitrato si riscontrano valori spesso fra 0,1 e 5 mg/L, che costituiscono il fondo naturale di questa sostanza nelle acque, proveniente in larga parte da ossidi di azoto presenti nell'atmosfera, a loro volta prodotti per sintesi fra azoto e ossigeno in seguito a scariche elettriche e da altri processi naturali come incendi delle foreste ed emissioni vulcaniche.

Resta difficile analizzare sul posto le acque in relazione a questi tre importanti indicatori; solo in casi particolari si è potuto utilizzare un fotometro portatile, utile per misurare in tempo reale alcune forme di azoto nelle acque.

Acque superficiali mantengono comunque una certa possibilità di contaminazione di natura microbiologica: ad esempio, nei torrenti del Parco del Denali in Alaska ed in gran parte delle acque superficiali del Nord America, spesso aree remote e ambienti completamente naturali, la *Giardia intestinalis*, un protozoo patogeno, è diffusa a livello endemico ed è causata da una malattia detta giardiasi. Inoltre, l'elevata torbidità dovuta a materiale in sospensione proveniente dalla fusione della neve e ghiaccio, assieme alle frequenti piogge che immettono limo e argilla nei corsi idrici, può costituire un limite all'utilizzo di queste acque; l'impiego può essere effettuato attendendo la spontanea deposizione del materiale sospeso, processo generalmente molto lento, impossibile mentre si percorre quell'immenso territorio, o filtrando l'acqua attraverso cotone o un tessuto a maglie fitte; è comunque questo uno dei casi fra i più difficili per ricavare acqua potabile perché talvolta si può avere presenza di argilla dispersa allo stato colloidale, materiale non eliminabile con questo sistema. Può sorprendere che in un ambiente così ricco di acque ci si possa trovare in una situazione di carenza di acqua utilizzabile ai fini potabili.

Occorre inoltre fare attenzione alle acque superficiali di



Figura 1 – Piccolo corso d'acqua nella foresta del Monte Falterona (Provincia di Firenze). Le acque superficiali sono quelle più a rischio anche in aree montane: nonostante la freschezza e la trasparenza, in queste acque possono essere presenti batteri e parassiti - ph Francesco Mantelli



Figura 2 – Monte Denali, 6190 m, Alaska. Le acque di scorrimento superficiale nel Parco del Denali possono contenere, in relazione alla stagione, molto materiale sospeso (limo e argilla), perché proveniente dalla fusione glaciale e dalle acque di ruscellamento superficiale in seguito alle frequenti piogge; questa torbidità le rende di difficile utilizzo ai fini potabili - ph Francesco Mantelli

tipo stagnante che mostrano talvolta quelle che sono chiamate "fioriture algali"; si tratta in realtà di cianobatteri, organismi unicellulari, chiamati impropriamente un tempo alghe verdi per il loro colore.

Queste acque non solo non sono potabili per presenza di cianotossine prodotte da questi batteri, ma sono a rischio anche ai fini della balneazione, per contatto con la pelle e inalazione. Il Decreto 18/2023, ai fini della valutazione della potabilità, in relazione ai cianobatteri, prevede la ricerca della microcistina-LR, la più tossica fra decine di tossine prodotte da questi batteri, con un valore limite di 1 microgrammo per litro.

Acque di sorgente - Le acque di sorgente sono spesso ritenute quelle di maggior interesse ai fini potabili poiché si ritiene che un'acqua sotterranea che sgorga da una sorgente sia abbastanza pura, valutazione che si basa sul fatto che nell'ambiente sotterraneo le acque sono protette dagli strati delle formazioni di copertura dell'acquifero. La ricarica di un acquifero è spesso lenta e quindi le acque possono, ma non sempre, come vedremo negli ambienti carsici, subire un processo di "filtrazione". In qualche modo un'acqua di sorgente proviene da un ambiente sotterraneo che si ritiene protetto (Figura 3).

In realtà un'acqua sotterranea, anche in un ambiente montano, può essere esposta a fenomeni di inquinamento sia di tipo chimico che microbiologico, questo in seguito a fattori naturali o per pressioni antropiche.

Negli ambienti montani le contaminazioni di tipo chimico connesse all'attività antropica sono per lo più legate alle attività estrattive di cave, all'attività mineraria, alla presenza di rifugi in alta quota, qualora non dotati di adeguati sistemi di smaltimento dei reflui.

Per quanto possibile, è pertanto necessario avere una conoscenza del territorio dove la sorgente è ubicata; per esempio, lungo tutto l'Appennino toscano - emiliano, costituito da arenarie quarzose-feldspatiche che occupano una vasta estensione con omogeneità litologica, le formazioni geologiche sono molto protettive per le acque sotterranee grazie anche alla presenza di marne e argille, pertanto le relative sorgenti forniscono acque molto pure sotto il profilo di tipo chimico e microbiologico, tanto che questo territorio è considerato ricco di giacimenti finalizzati all'imbottigliamento di acque minerali. Si tratta di acque con bassa mineralizzazione, con residuo fisso fra 50 e 100 mg/L.

La dorsale dell'Appennino centrale, in larga parte costituita da formazioni carbonatiche, produce acque di alto valore ai fini del loro utilizzo potabile; è noto l'acquedotto del Peschiera, principale acquedotto di Roma che convoglia le acque delle sorgenti localizzate alle falde del Monte Nuria (provincia di Rieti).

Sui Monti Sibillini, esteso gruppo montuoso costituito da rocce carbonatiche, varie sorgenti localizzate nelle aree percorse dai sentieri, presentano un residuo fisso fra 100 e 250 mg/L con tipologia idrogenocarbonato-calcica, fonti di utilizzo da parte dei numerosi escursionisti.

Per le valutazioni di tipo chimico delle acque dell'arco alpino, l'acqua delle relative sorgenti (prevalentemente quelle localizzate a quote elevate) è generalmente di buona qualità e raramente si osservano contaminazioni.

Molto sommariamente le interazioni acqua-roccia si possono ricondurre a contatti con rocce granitiche e metamorfiche nelle Alpi Occidentali e Centrali, con dolomie e

calcari in quelle Orientali. Localmente occorrerà valutare la possibile presenza di attività umane in quelle zone.

Occorre rimarcare che anche per le acque di sorgente, in assenza di analisi chimiche e microbiologiche non possiamo affermare con sicurezza la potabilità di un'acqua e pertanto i criteri da usare per valutarne la potabilità restano sommari. Si utilizzano pertanto le acque di sorgente disponendo, possibilmente, della conoscenza di possibili criticità del territorio (presenza di discariche, contaminazioni di origine naturale, presenza di abitati nei dintorni, altro...), confidando nel sapore e in altre caratteristiche organolettiche come uniche possibilità di valutazione della qualità: vengono scartate le acque torbide o particolarmente amare, quelle salate, le sulfuree, queste ultime facilmente riconoscibili per l'odore di uova marce che emanano, infine devono essere evitate anche le acque calde (abbastanza frequenti su montagne di natura vulcanica) perché solitamente portano in soluzione elementi tossici (antimonio, arsenico, nichel, mercurio, tallio...) che pur non determinando una tossicità acuta (se non in concentrazioni molto elevate) possono indurre problemi di accumulo nell'organismo e tossicità nel lungo periodo.

Le possibili contaminazioni di tipo chimico connesse all'attività antropica possono ricondursi a interazioni di acque con discariche derivanti da miniere abbandonate o ancora attive. Le aree interessate da attività mineraria, soprattutto quelle in cui l'escavazione veniva condotta con antichi sistemi, hanno lasciato spesso, in prossimità dei relativi siti, discariche abbandonate di materiale sterile contenente, comunque, anche tracce di minerali, inoltre le stesse gallerie estrattive possono mettere in circolo acque fortemente contaminate da metalli pesanti che poi possono distribuire tale inquinamento anche su vaste aree (Figura 5). Soprattutto nelle miniere dove venivano estratti solfuri misti (blenda, galena, pirite e altri), questi minerali contenuti, seppur in minima quantità, nelle discariche di materiale di scavo, esposti all'aria e alla circolazione di acque, tendono a ossidarsi dando luogo a soluzioni acide che portano in soluzione molti metalli pesanti, in gran parte di natura tossica, assieme al ferro, ben evidente dalla colorazione gialla delle acque.

Contaminazioni da elementi tossici possono essere presenti anche nelle acque di sorgente per fenomeni del tutto naturali: molte rocce vulcaniche contengono minerali accessori ricchi di arsenico così che le acque ne vengono contaminate, fenomeno purtroppo molto comune in varie montagne vulcaniche nel mondo. L'arsenico si è riscontrato anche in alcune aree del sistema alpino dove alcune rocce metamorfiche (ortogneiss) contengono tracce di mineralizzazione ad arsenopirite che determina evidenti contaminazioni da arsenico in varie acque sotterranee.

Per quanto riguarda il contenuto dei solidi disciolti è abbastanza difficile effettuare una trattazione sintetica delle acque di sorgente data l'estrema variabilità della loro composizione che è funzione dell'interazione acqua-roccia, tempo di residenza, temperatura e altre variabili che determinano la tipologia di composizione delle acque. Interessante è osservare come la composizione delle acque provenienti da differenti sistemi montuosi sia piuttosto simile, seppur a distanze notevoli, quando non sussistono apprezzabili varietà litologiche. Per esempio, le acque degli gneiss del Gran Paradiso presentano una similitudine di composizione con le acque che sgorgano da sistemi montuosi lontani ma di simile costituzione

litologica, così come le acque di differenti aree dell'Appennino tosko-emiliano, caratterizzate da formazioni prevalentemente arenacee, presentano una composizione chimica fra loro molto simile.

Ai fini della sicurezza microbiologica, per le acque di sorgente il parametro temperatura è di notevole interesse: temperature basse e costanti nel corso dell'anno indicano la provenienza di un'acqua da una significativa profondità, quindi ben protetta sotto il profilo microbiologico.

Quanto più le acque sono profonde, maggiori sono le garanzie dal punto di vista microbiologico. Tuttavia, in montagna occorre valutare con attenzione la tipologia della sorgente, assicurarsi che nelle sue prossimità ci sia un'adeguata copertura rocciosa che possa costituire una protezione da infiltrazioni di acque superficiali (Figura 6).

Le acque che provengono da acquiferi di natura calcarea (rocce molto frequenti sulle nostre montagne italiane) sono quasi sempre acque di buona qualità sotto il profilo chimico: con una composizione prevalentemente bicarbonato-calcica, raramente queste rocce hanno mineralizzazioni a metalli pesanti (se non in ambienti particolari).

Come descritto di seguito, alcune rocce calcaree sono spesso esposte a fenomeni di carsismo che rendono quindi le relative acque sotterranee poco protette data la scarsa capacità di filtrazione; tuttavia, quando questi fenomeni non sono molto evidenti le acque degli acquiferi

carbonatici possono avere buoni requisiti di qualità anche sotto il profilo microbiologico.

Nella Figura 7 è riportata una sorgente con acqua che ha un'elevata probabilità di essere potabile: grande portata, scarsissima presenza di vita animale e assenza di presenza umana a quote superiori, litologia costituita da calcari, rocce che in questa zona non presentano mineralizzazioni evidenti a metalli pesanti. Siamo nei dintorni del campo di Aflafel, 2390 m, dorsale del monte M'Goun (regione del Drâa Tafilalet, Alto Atlante, Marocco).

In relazione agli aspetti microbiologici, a eccezione delle aree carsiche, le acque di sorgente sono molto più sicure delle acque di scorrimento superficiale in quanto subiscono una naturale depurazione (filtrazione) attraverso gli strati del terreno e le stesse possono trovare occasionale momento di contaminazione solo nei pressi della scaturigine, in quanto la roccia può essere più soggetta a fenomeni di infiltrazioni esterna nei punti in cui l'acqua fuoriesce.

Quanto sia difficile mantenere la "purezza microbiologica" di un'acqua sotterranea che sgorga da una sorgente lo dimostra il fatto che le captazioni per acque minerali ai fini dell'imbottigliamento e immissione sul mercato, avvengono ormai per lo più da pozzi, mentre le sorgenti, anche quelle storiche, sono per lo più abbandonate nonostante in molti casi si sia provveduto a scavare dei tunnel a loro volta con pareti cementate per la protezione di possibili infiltrazioni dall'esterno (Chetoni, 2000).



Figura 3 – Sorgente Ermicciolo, Monte Amiata. Le aree montuose sono importanti riserve idriche con acque di notevole valore ai fini dell'approvvigionamento idropotabile. L'acquifero del Monte Amiata, con circa 700.000 utenze, è il corpo idrico più importante della Toscana - ph Francesco Mantelli



Figura 4 – Sorgente del Parco Archeologico di Siracusa. Da oltre due millenni quest'acqua limpidissima e fresca sgorga alla sommità del Teatro greco di Siracusa; è un'acqua che non può avere i requisiti di potabilità in quanto sullo strato roccioso sovrastante (calcareniti) molte costruzioni recenti costituiscono una sicura fonte di inquinamento - ph Francesco Mantelli



Figura 5 – Inquinamento di acque superficiali proveniente da miniere abbandonate di ferro e altri minerali sulle Alpi Apuane - ph Francesco Mantelli

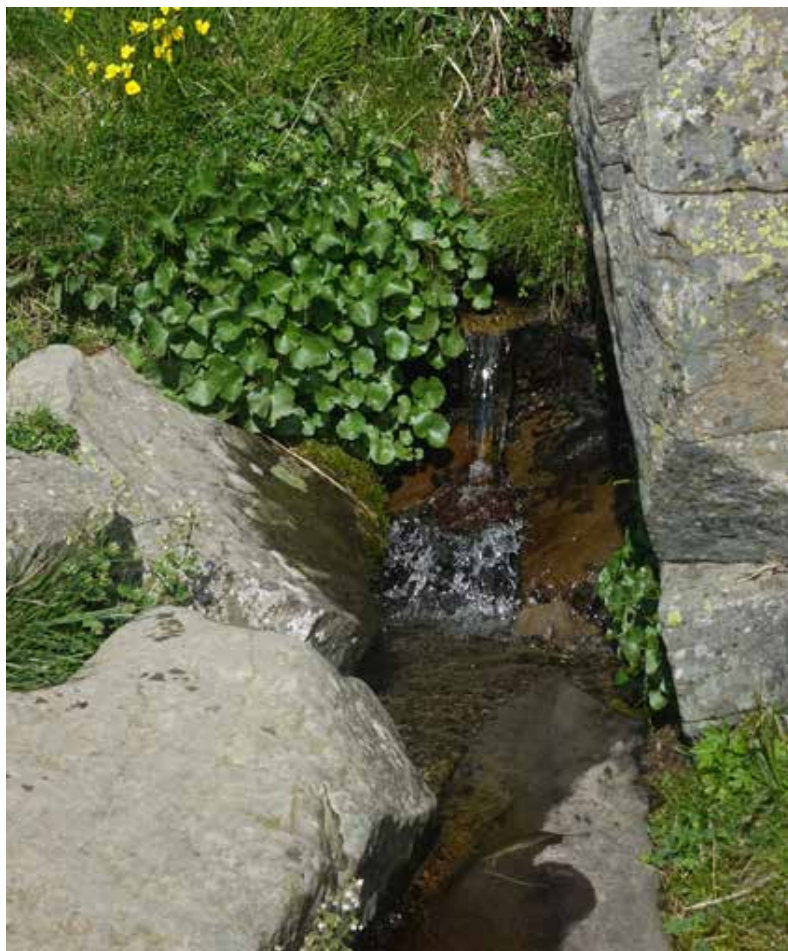


Figura 6 – A sinistra, sorgente localizzata in un'area di montagna su un versante di elevata pendenza e protetta da oltre 100 metri di formazione rocciosa, quindi con scaturigine poco soggetta a rischi di inquinamento: Fonte dell'Uccelliera 1670 m, Monte Gennaio, Appennino toso-emiliano. Sorgente caratterizzata da bassa temperatura (mediamente 5,5 °C), residuo fisso 78 mg/L, portata da 8 a 60 litri/min e con costante assenza di indicatori di contaminazione microbiologia - ph Francesco Mantelli



Figura 7 – Una sorgente nei calcari del Monte M'Goun (Alto Atlante, Marocco) - ph Francesco Mantelli

Acque di laghi di montagna - L'isolamento di questi corpi idrici situati spesso ad alta quota non costituisce necessariamente una garanzia di protezione da contaminazioni di tipo microbiologico.

A differenza delle acque dei torrenti, nei laghi l'impossibilità di un considerevole ricambio delle acque in tempi brevi e la scarsità dei moti turbolenti in grado di consentire la necessaria ossigenazione, depongono negativamente in relazione ai fenomeni di depurazione spontanea delle acque.

Sotto il profilo chimico, le acque dei laghi presentano composizione molto variabile: si va dai laghi appenninici

con acque di composizione simile alle precipitazioni, a quelle poco più mineralizzate di molti laghi alpini, fino ad acque ipersaline di laghi situati in bacini endoreici in varie zone delle Terra.

In sintesi, si tratta ancora di acque superficiali e non valgono requisiti come la bassa torbidità ("limpidezza"), la freschezza e "l'elevata naturalità" della zona per garantire l'assenza di rischi.

Come vedremo in seguito le acque con bassa mineralizzazione sono facilmente utilizzabili come acque potabili in seguito ad adeguati trattamenti, mentre sono impossibili da trattare le acque ipersaline.



Figura 8 – Acque limpide e con bassa mineralizzazione. Lago Santo Parmense (Appennino tosco-emiliano) - ph Francesco Mantelli

Acque provenienti da neve e ghiaccio - Le acque di fusione dei ghiacciai hanno probabilmente una bassa carica microbica dato l'isolamento dell'ambiente elevato, ma spesso non sono utilizzabili per la presenza di materiale finissimo in sospensione. Talvolta si è osservato in alcuni rifugi e bivacchi di alta quota attingere acque di fusione del ghiacciaio sfruttando particolari situazioni in cui l'acqua si mantiene limpida per scarsa presenza di materiale sospeso. Tuttavia, queste acque vengono usate nei rifugi solo ai fini igienici nei bagni (con possibile trattamento di disinfezione) e non possono essere considerate potabili soprattutto per l'assenza di sali disciolti che rendono queste acque simili ad acqua distillata.

L'acqua prodotta dalla fusione di neve e ghiaccio, fatte le dovute attenzioni, per esempio evitando di utilizzare neve colorata dalle polveri sahariane, solitamente non ha problemi di tipo microbiologico. Le acque di fusione presentano spesso una temperatura molto bassa, fattore che inibisce la crescita microbica e inoltre provengono

da zone (ghiacciai e nevai) dove, generalmente, è scarsa la presenza di contaminanti microbiologici.

Occorre comunque accertarsi dell'assenza nei dintorni immediati, ma anche a distanze considerevoli, di bivacchi, rifugi e di altri insediamenti, fissi o temporanei, che non dispongono di adeguati sistemi di smaltimento dei liquami. Acquisire oggi queste informazioni è più facile che nel passato data la disponibilità di tipologie molto diverse di cartografia e nuovi sistemi informativi, oltre alla maggior attenzione ambientale dei grandi rifugi di alta montagna che non rilasciano inquinanti nei ghiacciai dei dintorni ma reflui e rifiuti sono portati a valle tramite voli di elicottero. In occasione di permanenza di più giorni in tenda in ambiente innevato o su un ghiacciaio, si ricava acqua da bere dalla fusione di neve e ghiaccio aggiungendo miscele di sali generalmente a base di calcio, potassio e magnesio, facilmente acquistabili anche in bustine o pasticche nei supermercati o in farmacia (integratori salini).

L'acqua di fusione di neve ghiaccio è poverissima di sali: contiene solfati e cloruri prodotti dall'aerosol marino e da altri fenomeni, varie forme di azoto (nitrati e ammoniacca) in concentrazioni molto basse, pochissimo calcio e magnesio.

Nella Tabella 3, dove è riportata la composizione della neve di un consistente numero di campioni raccolti sull'Appennino toско-emiliano e sulle Alpi Apuane, si osserva come l'acqua risultante sia povera di sali (in questa Tabella non è riportato lo ione idrogenocarbonato data la concentrazione molto bassa).

Purtroppo, in seguito alla circolazione globale degli inquinanti, è accertata la presenza di microplastiche anche nella neve di alta quota. Recenti studi nelle nevi di un ampio settore alpino ad altitudini fino a circa 3000 metri mostrano presenza di microfibre di natura artificiale formate da polimeri di polietilentereftalato (PET), polipropilene (P) e polistirene (PS) provenienti da tessuti, bottiglie di acqua minerale e imballaggi di tipologia varia. Al momento non è possibile definire il significato sanitario dell'ingestione di queste fibre. Si tenga inoltre presente che le acque provenienti dalla fusione di neve e ghiaccio, in relazione alla circolazione globale degli inquinanti possono contenere tracce di sostanze organiche e inorganiche trasportate anche ad altissima quota dalle perturbazioni. È sempre più frequente incontrare in bassa e alta montagna deposizioni di "neve rossa" dovute a correnti meridionali d'origine nord-africana che portano grandi quantità di polveri direttamente dal Sahara (in realtà sembra che gran parte di questa polvere sia costituita da diatomee fossili – alghe fossili – assieme a ematite e magnetite provenienti dal bacino della depressione di Bodélé, nella parte meridionale del Sahara).

Non è così raro in inverno che le ondate di maltempo siano collegate a flussi d'origine sahariana, che trasportano polveri anche in occasioni di precipitazioni nevose, come è stato recentemente osservato nell'estate del 2024 lungo la Via Normale al Gran Paradiso. È quindi necessario escludere tali nevi da un possibile utilizzo ai fini potabili in quanto il materiale depositato, in larga parte costituito da silice e carbonato di calcio, può contenere assieme al ferro, sempre presente, anche tracce di metalli pesanti di natura tossica come il piombo (elemento rilevato durante campagne di studio sulle nevi nell'Appennino toско-emiliano).

Parametro	Unità di misura	Valore minimo	Valore mediano	Valore massimo
pH	Unità pH	4,3	5,6	6,4
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	0,4	6,5	18
Sodio	mg/L	0,02	0,2	4,3
Potassio	mg/L	< 0,1	4,3	0,56
Calcio	mg/L	<0,01	0,06	2,6
Magnesio	mg/L	<0,05	0,34	0,49
Cloruro	mg/L	0,1	0,3	4,3
Nitrato	mg/L	0,1	0,4	1,7
Solfato	mg/L	0,02	0,4	1,9

Tabella 3 – Componenti principali e parametri chimico-fisici in campioni di neve dell'Appennino toско-emiliano e delle Alpi Apuane (n. 20 campioni relativi agli inverni 1990-92 in aree prevalentemente fra le più elevate di queste montagne)



Figura 9 – Durante una permanenza in alta montagna senza appoggio di rifugi diviene indispensabile utilizzare acqua di fusione dalla neve. L'acqua prodotta deve essere addizionata di integratori salini per essere resa potabile (nella foto, tenda sul Dome du Goûter, Monte Bianco) - ph Francesco Mantelli



Figura 10 – Neve rossa nei pressi della cima del Cerro Veleta, 3392 m, Sierra Nevada, Spagna, 17 aprile 2017 - ph Francesco Mantelli

Ulteriori fenomeni molto particolari possono inoltre contribuire all'inquinamento della neve e dei ghiacciai anche a quote molto elevate: durante varie spedizioni in un settore delle Ande di Catamarca (Argentina) si è riscontrata presenza di arsenico nelle nevi fino a quote oltre i 6000 metri. Tale contaminante viene trasportato fino a grande altezza dai moti convettivi dell'atmosfera attraverso l'aerosol che si origina dai laghi ipersalini di quel territorio, contenenti acque ricche in arsenico, elemento rilasciato per alterazione dei minerali arsenicali contenuti in particolari rocce vulcaniche di un vasto settore della Cordigliera argentino-cilena. Il quantitativo di arsenico che fu riscontrato nelle nevi a differenti quote, da circa 4000 metri a fino a 6400 m circa, in alcune montagne di quel settore delle Ande, si collocava intorno al valore limite per le acque potabili di 10 µg/L (valore minimo 3,7 µg/L, massimo 19,4 µg/L; Tabella 4).

In altri settori delle Ande, dove tali estesi bacini idrici non sono presenti e pertanto non ne consegue la diffusione nell'ambiente di arsenico, le nevi non indicano significativa contaminazione da parte di questo elemento. Ricerche effettuate nelle nevi del Nevado Ruiz, Cordigliera Centrale della Colombia, con campionamenti non lontano dalla cima, intorno a circa 5150 metri di quota, ri-



Figura 11 – Polvere di origine sahariana raccolta in campioni di neve sull'Appennino tosco-emiliano, inverno 2004 - ph Francesco Mantelli

Data	17/01/1995	17/01/1995	17/01/1995	28/01/1995	28/01/1995	28/01/1995
Zona prelievo	Lagunas Frias	Lagunas Frias	Lagunas Frias	Incahuasi	Incahuasi	Incahuasi
Altitudine prelievo	5.240 m	5.240 m	5.260 m	6.080 m	6.310 m	6.450 m
Arsenico µg/L	3,7	7,3	10,3	19,4	10,8	11,3
Arsenico µg/L 10 - Limite legge acque potabili Europa						

Tabella 4 – Concentrazione in microgrammi/litro (µg/L) di arsenico in alcuni campioni di neve raccolti sul Cerro de Lagunas Frias e sul Nevado Incahuasi (Ande argentine)

portano una concentrazione di arsenico compresa fra $<0,1$ e $0,4 \mu\text{g/L}$, ben inferiore al limite di legge di $10 \mu\text{g/L}$.

In Italia, per le nevi che interessano le montagne alpine e appenniniche non è ipotizzabile una contaminazione da arsenico in quanto non ci sono fonti di immissione di questo elemento nell'atmosfera in alta quota. Uno studio sulla presenza di metalli ed elementi di natura non metallica effettuata nelle nevi campionate sulle montagne della Toscana, non mostra infatti concentrazioni significative di arsenico (Tabella 5), né significative concentrazioni degli altri elementi in relazione ai rispettivi valori limiti stabiliti dalla normativa vigente.

Elemento	Concentrazione $\mu\text{g/L}$ (valori medi su 29 campioni)
Alluminio	4,3
Arsenico	0,04
Cadmio	0,01
Rame	0,28
Cromo	0,12
Ferro	3,40
Manganese	0,59
Nickel	0,13
Piombo	0,44
Zinco	1,25

Tabella 5 – Metalli e metalloidi in 29 campioni di neve dell'Appennino tosco-emiliano e delle Alpi Apuane (campionamenti anni 1990-2002)



Figura 12 – Campionamento di neve presso la cima del Cerro de Lagunas Frias, 5349 m, Ande argentine - ph Nora Valera



Figura 13 – Nevado Incahuasi, 6640 m, Ande di Catamarca (Argentina). Nelle nevi di questa montagna e di altre localizzate in questo vasto settore della Cordigliera, si è riscontrata presenza di arsenico fino a valori poco superiori ai valori limite stabiliti dalla legislazione inerente alle acque potabili - ph Francesco Mantelli

Le acque dei sistemi carsici ipogei

Le grotte, oltre che oggetto di fruizione turistica, costituiscono prevalentemente luoghi di frequentazione ai fini esplorativi con permanenza degli speleologi spesso per più giorni. Pertanto, l'acqua da utilizzare ai fini potabili costituisce materia di interesse per coloro che devono restare a lungo in tali ambienti.

Generalmente le acque circolanti in questi sistemi, prevalentemente di natura calcarea e localizzati in aree montuose, sono caratterizzate da bassa mineralizzazione (intorno a 100 milligrammi per litro di sali disciolti) e da buoni requisiti di qualità di tipo chimico. L'elevata permeabilità per fratturazione delle rocce carsiche non permette la formazione di una valida "barriera filtrante" nei confronti dei possibili inquinanti; solo l'isolamento della zona, l'assenza o la scarsità in superficie di fonti di inquinamento consentono a questa particolare tipologia di acque sotterranee di mantenere in questi casi elevati livelli di "purezza". Per esempio, durante una campagna di controllo delle acque ipogee del sistema carsico del Monte Corchia (Alpi Apuane), si è riscontrato che in particolari periodi dell'anno (lunghi periodi con assenza di piogge) la quasi totalità delle acque circolanti presentava requisiti di potabilità. Tuttavia, in quell'ambito specifico, occorre tenere presente la possibile contaminazione indotta dall'attività estrattiva del marmo che può compromettere queste acque per sversamenti di fanghi, lubrificanti e combustibili (come occasionalmente è accaduto).

Altre tipologie di acque sotterranee si riscontrano in grotte scavate nei gessi (acque spesso torbide per argille associate ai gessi) o nelle quarziti (acque poverissime di

sali), oppure in zone carsiche in aree tropicali, dove le elevate precipitazioni, i grandi condotti di adduzione e le particolari morfologie determinano nelle acque ipogee le stesse problematiche di rischio delle acque superficiali. Sono quindi gli aspetti microbiologici le principali criticità di queste acque che raramente rientrano nei limiti previsti dalla normativa vigente poiché l'elevata fratturazione dell'epicarso, la porzione rocciosa posta subito sotto il suolo, non costituisce un adeguato sistema di filtraggio delle acque di pioggia che si infiltrano nel sistema. Le piogge dilavano l'ambiente esterno del sistema carsico e trascinano all'interno, oltre a materiale sospeso, determinando talvolta una certa torbidità, i batteri presenti nell'ambiente, diffusi sia in seguito all'abbandono di feci prodotte da animali selvatici o al pascolo, sia connessi a eventuali insediamenti umani non dotati di adeguati sistemi di smaltimento delle acque reflue.

Spesso i suoli carsici sono poveri di argilla e altro materiale fine; tuttavia, in condizioni di particolari flussi intensi di pioggia le acque di scorrimento nel sistema possono avere torbidità superiore a 1,0 NTU (unità di torbidità nefelometrica), valore di parametro previsto per le acque potabili. Per esempio, nella Grotta di Bossea (Frabosa Sopra, Cuneo) dove per anni hanno circolato acque di elevata purezza, in seguito a lavori di sterramento nella corrispondente area assorbente (zona di alimentazione tramite le precipitazioni) dove è iniziato lo stazionamento di persone e bovini, hanno saltuariamente circolato acque torbide e con elevata carica microbica tanto da rendere ancora più rara la presenza di *Niphargus*, un pic-

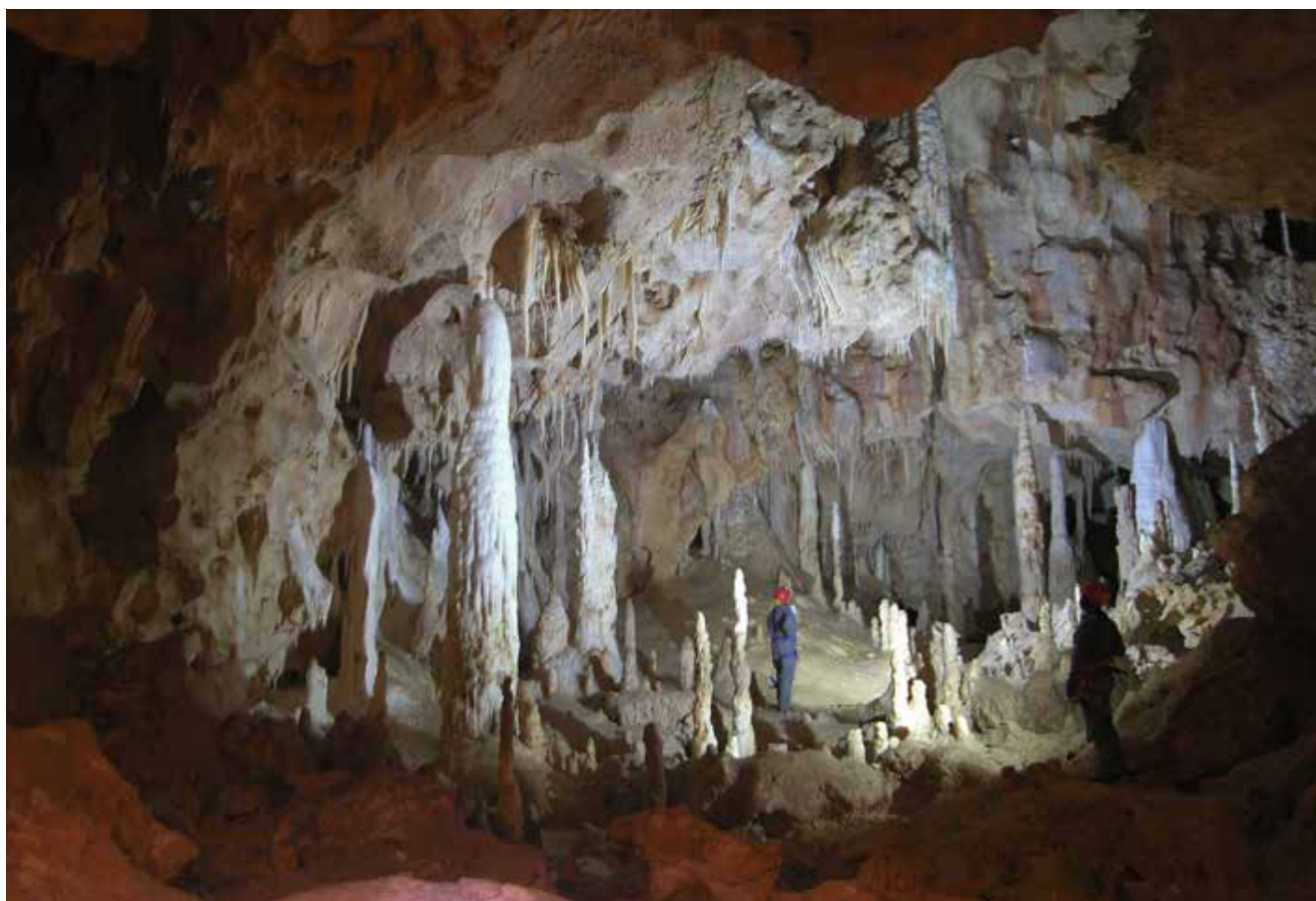


Figura 14 – In un sistema carsico le acque circolanti sono spesso contaminate dal punto di vista microbiologico per la mancanza di capacità di filtrazione delle formazioni carbonatiche dove di solito le grotte sono localizzate - ph Francesco Mantelli

colo crostaceo endemico di questa grotta. Nella Grotta di Stiffe (San Demetrio, L'Aquila) un tempo fluiva acqua dove era evidente la contaminazione da nitrati e tensioattivi in seguito a scarichi mal condottati provenienti da numerosi insediamenti sull'altopiano sovrastante.

Una captazione da un acquifero carbonatico ai fini del processo di potabilizzazione prevede sempre un trattamento per eliminare la torbidità delle acque e un processo finale di disinfezione.

Per quanto riguarda il contenuto dei solidi disciolti, un tempo prolungato di contatto delle acque con le rocce dell'acquifero determina una maggiore mineralizzazione delle acque; le acque nelle rocce carbonatiche, caratterizzate da differenti livelli di carsismo, mostrano composizione con una certa variabilità; nella Tabella 6 si osserva come le acque che scorrono velocemente siano meno mineralizzate rispetto a quelle che vi stazionano per tempi prolungati (acque stagnanti nelle pozze o laghetti).

Per l'utilizzo di un'acqua di grotta ai fini potabili, sulla base di molti anni di studio delle acque sotterranee del complesso carsico dell'Antro del Corchia, principalmente in relazione agli aspetti microbiologici, si possono fornire le seguenti indicazioni:

1. disporre di una certa conoscenza dell'ambiente montuoso dove la grotta si apre (assenza di cave, insediamenti umani, aree di pascolo e altro);
2. verificare sommariamente il livello di torbidità: un'acqua posta in una bottiglia da 1 litro in vetro bianco deve apparire limpida;
3. evitare di bere l'acqua se recentemente il sistema carsico è stato interessato dalle piogge;
4. preferire l'utilizzo delle acque stagnanti;
5. eventualmente utilizzare i sistemi di trattamento che sono descritti di seguito.

Parametri	Unità di misura	Laghetto Galleria Alta delle Stalattiti	Laghetto del Venerdi	Cascata dei Romani	Fiume Vidal
Data prelievo		29/02/2012	04/03/2012	04/03/2012	20/08/2012
Portata	L/min	-	-	8	250
Temperatura acqua	°C	7,7	7,8	8,2	7,5
Residuo fisso 180 °C	mg/L	187	148	119	113
pH	Unità pH	8,3	8,3	8,1	7,0
Ammonio	mg/L NH ₄	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrito	mg/L NO ₂	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/L F	0,34	0,42	<0,10	<0,05
Cloruro	mg/L Cl	5,4	5,8	8,7	4,8
Nitrato	mg/L NO ₃	1,0	1,5	3,1	1,1
Solfato	mg/L SO ₄	34,5	9,5	4,2	11,6
Idrogeno carbonato	mg/L HCO ₃	168	156	116	125
Sodio	mg/L Na	4,2	3,8	4,5	3,0
Potassio	mg/L K	0,3	0,26	0,2	0,2
Calcio	mg/L Ca	29,6	28,0	33,2	28,9
Magnesio	mg/L Mg	25,0	17,3	5,7	10,5

Tabella 6 – Esempio di differente mineralizzazione in relazione al tempo di contatto acqua-roccia. Si osservi la differenza del residuo fisso fra acque stagnanti (Laghetto Galleria Alta delle Stalattiti e Laghetto del Venerdi) e acque a scorrimento rapido (Cascata dei Romani e Fiume Vidal). Ambiente carsico dell'Antro del Corchia, Alpi Apuane

Le acque delle aree remote

Una descrizione esaustiva delle acque che si possono incontrare nelle aree remote è ovviamente impossibile; pertanto, si riportano brevi note e alcuni esempi per mostrare, tra l'altro, come la relazione acqua-roccia sia decisiva per la composizione chimica delle acque.

Per quanto possibile sarebbe bene disporre di informazioni sul territorio che intendiamo percorrere, operazione spesso non facile.

Sui Monti Altai, in Mongolia, era stato impossibile valutare, anche con approssimazione, la tipologia delle acque dato che la natura delle rocce, dove occasionalmente potevano sgorgare acque di sorgente, non sempre veniva riconosciuta né era stato possibile sapere di eventuali mineralizzazioni a metalli in quelle formazioni (Figura 15).

Infatti, anche in luoghi apparentemente selvaggi e ad elevata naturalità, come si è visto, possono esserci contaminazioni da estrazioni minerarie in atto o presenza di siti minerari dismessi che possono determinare fenomeni di contaminazione in acque anche a notevole distanza.

Ad esempio, in un vasto territorio del Canada orientale si sono incontrati avvisi sulla contaminazione da metalli pesanti dei numerosi torrenti che percorrevano quell'ambiente naturale disabitato, una vasta area remota che avrebbe fatto pensare a una buona qualità delle acque che scorrevano limpide in numerosi corsi superficiali e che avrebbero richiesto solo una modesta disinfezione per un utilizzo come acque da bere, mentre una contaminazione da metalli pesanti, non individuabile dai caratteri

organolettici, rende un'acqua impossibile da trattare se non con tecniche complesse. In molte aree della Terra la quantità di acqua che può essere resa potabile con piccoli interventi è veramente esigua.

Se si escludono, ovviamente, le acque marine, in tante zone le acque utilizzabili per produrre acqua potabile non sono molto frequenti.

Per esempio, in una parte della Dancalia, una regione calda e arida appartenente all'Etiopia e all'Eritrea, con estensione fino a 1200 km², per la caratteristica del suolo, formato da estese superfici saline e aree vulcaniche che determinano forti contaminazioni di tipo chimico, è molto difficile trovare acqua potabile o che possa essere sottoposta a un trattamento di potabilizzazione di tipo semplice.



Figura 15 – Monti Altai, Mongolia. In un'area remota spesso non si conosce la litologia del territorio, né se sono presenti pressioni di origine antropica (miniere e altro) ed è pertanto impossibile fare valutazioni, seppure sommarie, sulla qualità delle acque di sorgente sotto il profilo chimico - ph Francesco Mantelli



Figura 16 – Paesaggio della Dancalia con vaste distese di spessi depositi di sale; impossibile trovare in queste aree acque con caratteristiche di potabilità - ph Francesco Mantelli



Figura 17 – Altopiano argilloso di Ak Say Canyon, Kirghizistan - ph Francesco Mantelli



Figura 18 – Paesaggio del Mustang (Nepal settentrionale) non lontano da Tsarang. Affioramento di conglomerati lungo la traccia di sentiero per Lo Mantang: i conglomerati sono solitamente buone rocce acquifere - ph Francesco Mantelli

Numerose zone semi-aride della Terra, spesso con terreni argillosi, raramente concedono acqua di possibile uso potabile; l'argilla è una roccia impermeabile, non costituisce rocce serbatoio e lascia scorrere l'acqua in superficie che subito si carica di solidi sospesi di lenta e difficile rimozione.

Nella Figura 17 è riportato l'altopiano argilloso di Ak Say Canyon (Kirghizistan) dove scorre solo acqua torbida in superficie in occasione delle piogge ed è improbabile la presenza di sorgenti.

Nelle solitarie e un tempo remote terre del Mustang, nel nord del Nepal, nonostante l'apparente aridità, oltre ai corsi d'acqua nei fondovalle, alimentati dallo scioglimento di lontani ghiacciai, fu possibile incontrare acqua di sorgente grazie alla notevole variabilità litologica dove sono localizzati acquiferi di una certa rilevanza.

Le acque campionate lungo il sentiero che un tempo costituiva l'unica via di accesso alla capitale Lo Mantang, erano caratterizzate da scarsa mineralizzazione con gli ioni predominanti costituiti da idrogenocarbonato, calcio e in misura minore da solfato. Non furono rilevati metalli pesanti in concentrazioni significative tanto che tutte le acque di sorgente e di piccoli corsi superficiali avevano i requisiti di potabilità di tipo chimico. Per gli aspetti microbiologici solo le acque che provenivano da sorgenti potevano dare una certa sicurezza per un loro utilizzo come acque da bere.

Nelle aree desertiche, che costituiscono vastissime aree remote, le acque sono prevalentemente attinte dai pozzi

che estraggono acque da falde sotterranee, talvolta molto profonde. Anche nel Sahara piove, seppur molto raramente, così che in alcune aree vengono alimentate le falde acquifere (solitamente quelle più superficiali), inoltre, in seguito a precipitazioni piuttosto intense, si ha perfino la formazione di laghi.

Nel Sahara sono captate a volte acque fossili, cioè giacimenti che si sono formati durante il periodo umido sahariano, iniziato circa 15.000 anni fa e terminato circa 5000/6000 anni fa. Le acque sotterranee in queste aree sono generalmente sicure sul piano microbiologico data la scarsità di esseri viventi nel territorio e per la loro profondità; tuttavia, la composizione può essere la più varia in funzione della litologia (spesso sconosciuta per la copertura sabbiosa) e per il tempo di residenza nel sottosuolo. Tempi prolungati nel contatto acqua-roccia portano a un arricchimento delle acque in solidi disciolti; le acque fossili possono essere talvolta molto mineralizzate e in alcune aree sahariane possono contenere anche idrocarburi. Il chimismo di queste acque può essere molto variabile; nella Tabella 7 si osserva un insieme di acque campionate nel Sahara libico: si va da quelle poco mineralizzate fino a quelle di media mineralizzazione; la torbidità può essere talvolta un fattore limitante del loro possibile uso potabile; le acque profonde possono avere buoni requisiti di tipo microbiologico, mentre quelle superficiali (laghi temporanei) sono da ritenersi non potabili perché è facile trovare anche resti di deiezioni animali trasportati fino da grandi distanze. Nel deserto iraniano si

Località		Germa	Akakus	Aramat	Tanut Mellet
Parametri	Unità di misura	Pozzo del punto di sosta	Pozzo di Talouaouet	Pozzo uadi Aramat	Lago sotto la grande duna
Tipologia emergenza		pozzo	pozzo	pozzo	lago
Altitudine	m	350	766	711	730
Litologia		Sabbie e arenarie	Arenarie (Devoniano)	Sabbie e arenarie	Arenarie (Devoniano)
Temperatura acqua	°C	19,0	16,5	20,4	12,9
Conducibilità elettrica	µS/cm 25 °C	1168	319	251	474
Residuo fisso 180 °C	mg/L	732	176	143	216
Torbidità	N.T.U.	0,6	0,8	35,0	12,0
pH	Unità pH	7,4	8,1	7,8	8,5
Fluoruro	mg/L F	0,3	<0,1	0,1	0,2
Cloruro	mg/L Cl	85,0	13,8	3,1	29,8
Nitrato	mg/L NO ₃	36,2	0,7	2,9	2,1
Solfato	mg/L SO ₄	318	43,6	16,8	94,6
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	104	110	127	106
Sodio	mg/L Na	65,0	14,1	12,6	28,9
Potassio	mg/L K	4,4	2,5	9,4	13,8
Calcio	mg/L Ca	137	34,5	29,4	46,3
Magnesio	mg/L Mg	27,3	9,5	4,2	8,4
Ammonio	mg/L NH ₄	-	-	0,13	<0,1
Arsenico	µg/L As	1,4	<0,2	-	-
Mercurio	µg/L Hg	<0,5	<0,5	-	-
Piombo	µg/L Pb	<0,02	0,4	-	-
Cadmio	µg/L Cd	<0,1	<0,1	-	-
Vanadio	µg/L V	2,1	0,4	-	-
Uranio	µg/L U	4,9	0,3	-	-

Tabella 7 – Composizione chimica di alcune acque del deserto del Sahara libico (anni 2000-2002)



Figura 19 – Lago di Tanut Mellet, Sahara libico, 2002. Sistema formatosi in seguito a grandi piogge nella parte terminale di un wadi (antico corso fluviale) - ph Francesco Mantelli



Figura 20 – Pozzo di ingresso a un kanat, deserto di Dasht-e Kavir, Iran - ph Francesco Mantelli



Figura 21 – Brockman iron formation, Dales Gorge (Karijini National Park, Australia) - ph Francesco Mantelli

possono incontrare i kanat (Figura 20), di cui si osservano i pozzi di scavo e di ispezione, che raccolgono acqua dalle falde profonde di aree montuose per poi trasportarla verso le oasi dove le acque fuoriescono dal sottosuolo e sono distribuite attraverso canali a vari settori.

Si tratta spesso di acque limpide e con assenza di indici di contaminazione batterica: le acque in profondità sono protette dallo spessore delle rocce, mentre dall'ingresso dei pozzi di scavo e manutenzione è poco probabile che possano cadervi animali data l'area desertica con quasi assenza di fauna.

Per gli aspetti chimici, si osserva una notevole differenza di tipologie: generalmente sono acque di media mineralizzazione, con contenuto dei componenti principali molto variabile in relazione alla composizione mineralogica delle rocce di contatto.

In Australia le acque di sorgente e di scorrimento super-

ficiale provenienti dal Dales Gorge (Karijini Natural Park) nel Pilbara, mostrano una mineralizzazione bassa essendo in contatto con la Brockman iron formation.

Questa formazione geologica è costituita da rocce antichissime (intorno ai 2500 milioni di anni - Proterozoico) di origine sedimentaria, poco metamorfosate, che contengono ingentissime quantità di ferro in forma di ossidi assieme a selce, silite e altri depositi di origine marina.

Generalmente sono rocce poco alterabili (silice e ossidi di ferro) che rilasciano pochi elementi e composti nelle acque; il ferro è in una forma poco mobile e nonostante il prolungato contatto con le acque, è pochissimo quello che in quelle condizioni chimico-fisiche passa in soluzione.

Queste acque mostrano una composizione con parametri nei termini di legge, in particolare si osserva il bassissimo contenuto in nitrati, valori rappresentativi del fondo naturale (Tabella 8).

Luoghi di campionamento		Dales Gorge (Karijini Natural Park) Pilbara	Hancock George (Karijini Natural Park) Pilbara	Windiana campsite (Windiana Natural Park) Kimberley
Tipologia emergenza		sorgente	torrente	acqua sotterranea
Altitudine	m	520	655	-
Litologia		Brockman iron formation	Brockman iron formation	Rocce metamorfiche (Precambriano)
Portata	L/min	80	50	-
Temperatura acqua	°C	19,5	-	26,3
Conducibilità elettrica	µS/cm 25 °C	268	183	601
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	158	98	328
Torbidità	N.T.U.	0,5	0,8	0,2
pH	Unità pH	7,2	7,3	7,1
Ammonio	mg/L NH ₄	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrito	mg/L NO ₂	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/L F	<0,1	<0,1	<0,1
Cloruro	mg/L Cl	23,6	21,7	17,5
Nitrato	mg/L NO ₃	1,6	<0,5	1,8
Solfato	mg/L SO ₄	8,1	2,1	4,3
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	122	76,3	348
Sodio	mg/L Na	17,9	15,0	18,6
Potassio	mg/L K	3,2	2,2	0,9
Calcio	mg/L Ca	17,4	9,6	107
Magnesio	mg/L Mg	13,3	8,7	1,8
Arsenico	µg/L As	<1	<1	-
Ferro	µg/L Fe	<5	100	<5
Manganese	µg/L Mn	<2	<1	<2

Tabella 8 – Composizione chimica di alcune acque campionate in aree remote dell'Australia (Pilbara e Kimberley, 1999)

Le grandi foreste

Nei vasti territori forestali della Terra, si possono incontrare le più diverse situazioni in relazione alle acque.

Nelle aree amazzoniche i fiumi sono spesso carichi di sedimenti: argille e limo, oltre alla presenza di batteri e altri microorganismi, rendono difficile l'utilizzo di queste acque ai fini potabili (Figura 22). Tuttavia, è possibile incontrare acque di scorrimento superficiale di reticoli idrografici

minori nelle foreste che possono essere a basso contenuto di solidi sospesi così che è possibile trattarle ai fini della loro potabilità.

In molte foreste del Nord-America, Alaska e Canada, molte acque superficiali sono ricche di acidi umici e fulvici, sostanze organiche che derivano dalla biodegradazione dei vegetali di svariati ambienti lacustri; sono

complesse miscele di differenti acidi organici contenenti gruppi carbossilici e fenolici che colorano le acque in giallo-rosso (Tea-colored waters). Queste acque, pur fortemente colorate, appaiono limpide e potrebbero richiedere un semplice trattamento di disinfezione per un loro uso potabile; tuttavia, l'aggiunta di cloro a tal fine

determina la formazione di elevate concentrazioni di composti organoalogenati (prevalentemente cloroformio), pertanto si sconsiglia questo tipo di trattamento. In questo caso l'ebollizione potrebbe essere il sistema di potabilizzazione più adatto.



Figura 22 – Rio Magdalena, Colombia. Acque cariche di sedimenti scorrono nelle foreste del Sudamerica - ph Francesco Mantelli



Figura 23 – Un fiume in un'area remota in Kazakistan (confine con la Mongolia Occidentale); a causa della presenza di solidi sospesi (limo e argille) non è possibile trattare quest'acqua ai fini potabili; occorre trovare acque limpide attingendo a corsi idrici minori o ad acque di sorgente, presenti in quell'ambiente caratterizzato da montagne e foreste - ph Francesco Mantelli

Valutazioni generali

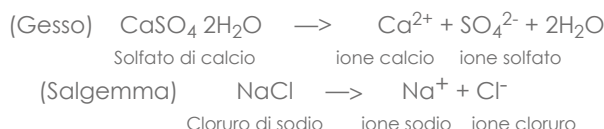
Ponendo una maggiore attenzione alle acque di sorgente, che sono quelle che presentano maggiori probabilità di essere ritenute potabili, si cerca di avere un'idea della loro sommaria composizione chimica sulla base della conoscenza del relativo ambiente geologico.

La concentrazione dei solidi disciolti, cioè il contenuto salino o residuo fisso (che determina l'impiego potabile) e la presenza di contaminanti di origine naturale, qualora ci si trovi in un ambiente montano o in un'area remota, dove sommariamente possiamo escludere pressioni antropiche, possono essere, almeno in parte, desunti

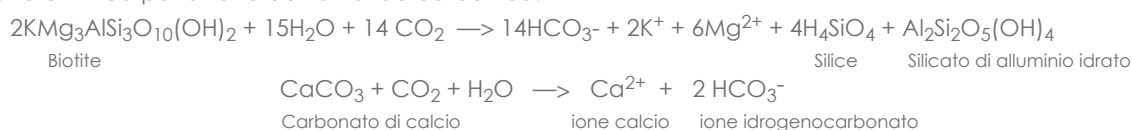
valutando l'interazione acqua-roccia. Secondo tale relazione, l'osservazione di un determinato affioramento roccioso, presumendo una continuazione in profondità (almeno per un certo spessore), permette di ipotizzare la tipologia delle relative acque sotterranee, in quanto la mineralizzazione delle acque proviene dalla cessione dei minerali presenti nelle rocce, sia per loro solubilità (per esempio gesso e salgemma), per reazione con l'anidride carbonica che altera i minerali, per fenomeni di idrolisi e ossidazione.

A titolo di esempio sono riportate alcune reazioni:

Solubilità del minerale:



Alterazione chimica per azione dell'anidride carbonica:



In relazione alla tipologia di acque conseguenti all'interazione acqua-roccia, fra le infinite tipologie di rocce e di acque, si riportano alcuni esempi. In una zona dell'Etiopia, caratterizzata da lateriti, rocce formate da silicati di ferro e

alluminio, si possono prevedere acque poco mineralizzate, povere in calcio, magnesio, con possibili tracce di ferro, con concentrazioni non significative di altri metalli pesanti, ipotesi poi convalidata dalle analisi chimiche (Tabella 9).

Parametri	Unità di misura	Sorgente di Burat	Pozzo di Emdibir	Pozzo di Zizencho
Altitudine	m	2354	2070	2738
Litologia		Lateriti ferriche	Lateriti ferriche	-
Temperatura acqua	°C	17,3	-	-
Conducibilità elettrica	μS/cm 20 °C	61,5	180	85,5
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	44	102	48
pH	Unità pH	6,7	6,2	7,3
Ammonio	mg/L NH ₄	<5	6	<5
Nitrito	mg/L NO ₂	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/L F	0,19	0,14	0,20
Cloruro	mg/L Cl	1,6	3,3	1,5
Nitrato	mg/L NO ₃	1,4	6,5	0,7
Solfato	mg/L SO ₄	1,4	1,4	1,7
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	41,0	98,0	44,0
Sodio	mg/L Na	6,3	7,4	7,0
Potassio	mg/L K	3,4	3,1	4,5
Calcio	mg/L Ca	5,8	28,1	5,8
Magnesio	mg/L Mg	1,8	1,2	1,5
Arsenico	μg/L As	<1	<1	<1
Ferro	μg/L Fe	7,4	42,4	206
Manganese	μg/L Mn	<1	19	17
Cadmio	μg/L Cd	<0,5	<0,5	<0,5
Cromo	μg/L Cr	<2	<2	<2
Piombo	μg/L Pb	<0,5	<0,5	<0,5
Nichel	μg/L Ni	<2	<2	<2
Silice	mg/L SiO ₂	2,1	3,0	3,0

Tabella 9 – Acque con bassa mineralizzazione provenienti da lateriti, in una zona dell'Etiopia (gennaio 2010)

Le rocce intrusive acide (granito, granodiorite, tonalite, sienite, monzonite, ecc.), pur variabili nelle proporzioni della loro composizione mineralogica, danno luogo spesso ad acque di composizione simile, spesso con bassa mineralizzazione sia per la natura cristallina massiccia della roccia, sia per la scarsa alterazione (conseguentemente scarsa solubilità) dei minerali che le costituiscono. Per esempio, nel caso degli acquiferi costituiti da graniti, le acque circolanti sono spesso povere di sali essendo

il granito prevalentemente costituito da minerali silicatici, poco alterabili (feldspati, plagioclasti, miche e quarzo) così che mostrano una similitudine di composizione: sono acque con poco calcio e magnesio e in cui gli ioni cloruro, sodio e solfato sono spesso quelli veicolati con la pioggia soprattutto in aree di ricarica degli acquiferi non lontano dal mare dove la pioggia è ricca di aerosol marino (Tabella 10). È quindi possibile prevedere, tuttavia con approssimazione, sulla base della natura delle rocce

Parametri	Unità di misura	Sorgente Madonna della neve Monte Limbara (Sardegna)	Sorgente Fonte Napoleone Isola d'Elba (Toscana)	Sorgente a monte Monastero di Sera (Tibet)	Sorgente Cala Maestra Isola di Montecristo (Toscana)
Altitudine	m	1350	430	3880	30
Data		02/04/2004	19/04/2006	29/08/2024	25/05/2023
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	49	82	84	134
pH	Unità pH	5,4	5,7	8,2	6,5
Cloruro	mg/L Cl	21,9	26,2	1,8	64,4
Solfato	mg/L SO ₄	7,8	4,9	2,5	19,2
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	14,7	15,9	94,0	28,0
Sodio	mg/L Na	14,3	16,0	4,7	39,1
Potassio	mg/L K	0,5	0,7	0,9	2,3
Calcio	mg/L Ca	5,7	4,2	26	7,3
Magnesio	mg/L Mg	2,8	2,2	1,9	7,0

Tabella 10 – Similitudine di composizione in acque circolanti entro i graniti con maggior arricchimento in sodio e cloruro per le zone più vicine al mare

di un determinato territorio, una certa tipologia di composizione delle relative acque sotterranee. Per esempio, una roccia di natura carbonatica fornirà un'acqua con composizione idrogenocarbonato-calcica, una roccia con presenza di gesso fornirà un'acqua solfato-calcica, spesso molto mineralizzata data l'elevata solubilità di questo minerale.

Nella Tabella 11 è riportato uno schema, certamente non esaustivo, del rapporto fra natura delle rocce, contenuto di solidi disciolti (residuo fisso) ed eventuale presenza di metalli e altre sostanze che possono rendere l'acqua non potabile; sono criteri, comunque sommari, per prevedere la tipologia chimica delle acque e le possibili criticità in relazione all'interazione con differenti tipologie di rocce. Si tratta appunto di criteri riassuntivi in quanto le rocce sono fra loro molto diverse non solo come composizione mineralogica, ma anche come struttura. Per esempio, quando si parla di vulcaniti si intendono rocce ignee effusive che dal punto di vista di composizione sono molto diverse: si va da quelle ricche in silice e feldspato a quelle molto povere in silice (rocce ultramafiche, ricche in magnesio e ferro); così la tessitura, che si riferisce alla dimensione e disposizione dei minerali, può essere molto diversa. Ne consegue un chimismo delle acque molto variabile in funzione anche dell'alterabilità dei minerali presenti così che queste rocce possono fornire acque poco mineralizzate (Monte Amiata, Toscana), altre ad alto contenuto di solidi disciolti (molte acque termali da acquiferi vulcanici, per esempio, aree vulcaniche delle Ande).

Diverse sono le variabili che determinano la composizione di un'acqua sotterranea: il tempo di contatto acqua-roccia, la temperatura delle rocce di contatto e soprattutto la composizione mineralogica delle rocce. La

conoscenza delle peculiarità geologiche di un territorio può essere di notevole aiuto nell'individuazione del possibile chimismo delle acque e le eventuali criticità.

Per quanto riguarda ferro e manganese, spesso presenti in molte acque sotterranee, occorre ricordare che questi due metalli sono necessari all'organismo umano: il ferro deve essere assunto nell'ordine di 10 mg al giorno per gli uomini e di 18 mg al giorno per le donne; il manganese è nell'ordine di 2-3 mg al giorno.

I valori limite stabiliti per le acque potabili (Fe 200 microgrammi/litro e Mn 50 microgrammi /litro), molto inferiori alle dosi di assunzione necessarie, sono dovuti esclusivamente a problematiche gestionali degli acquedotti: valori superiori a quelli indicati in normativa determinano deposizioni nelle tubazioni di idrossido di ferro e ossido di manganese (da qui la necessità di rimuovere ferro e manganese nell'acqua distribuita in rete); quindi i valori limite così bassi non sono dovuti a problemi di tossicità tanto che il decreto 18/2023 li inserisce fra i Parametri Indicatori. Tuttavia, in un'area remota quantità elevate di ferro e manganese possono rendere l'acqua non potabile perché si ha formazione e deposizione dei rispettivi idrossidi e ossidi al momento in cui l'acqua fuoriesce dalla sorgente venendo a contatto con l'ossigeno dell'aria (Figura 24).

In relazione all'interazione acqua-roccia, fra altri elementi e composti che possono essere presenti nelle acque, oltre a quelli principali citati (metalli alcalini e alcalino-terrosi), alcuni rivestono un ruolo essenziale nell'organismo umano (cobalto, cromo III, ferro, fluoro, manganese, molibdeno, nichel, rame, selenio, zinco), altri sono elementi con ruolo essenziale ancora non conosciuto (boro, stronzio, vanadio), mentre sono decisamente tossici: arsenico, cadmio, tallio, mercurio, uranio e molti altri. Gran parte

degli elementi essenziali possono essere tossici quando presenti nelle acque in concentrazioni elevate, cioè superiori ai limiti indicati nelle tabelle del Decreto 18/2023 (vedi anche Tabella 1).

Per quanto riguarda l'amianto (asbesto), pur non essendo riportato un valore limite nella normativa europea e nazionale per le acque potabili, recenti studi considerano questa sostanza un cancerogeno non solo per inalazione, ma anche per ingestione; sono pertanto in corso studi sull'esposizione della popolazione che si serve da acquedotti con tubazioni in cemento-amianto. Negli ambienti naturali è opportuno limitare il più possibile l'ingestione dell'acqua che potrebbe contenere amianto, minerale che può essere presente nelle rocce ofiolitiche, un'associazione di rocce di origine magmatica, dette anche "pietre verdi" per la loro caratteristica colorazione, molto diffuse nelle catene orogeniche (ovvero nelle catene originate dallo scontro tra due continenti con l'interposizione di un antico oceano) lungo l'arco alpino e in alcune aree appenniniche (Figura 25). L'amianto è tuttavia presente anche in altre rocce metamorfiche come prasiniti ed eclogiti; in Australia vi sono aree montuose con formazioni rocciose ricche di amianto dove questo minerale è diffuso nell'acqua e nell'aria tanto che sono disposti molti avvisi per indurre particolari attenzioni verso coloro che transitano in quelle zone.

L'idrogeno solforato (H_2S) è un gas tossico per inalazione quando presente in aria in concentrazioni elevate (DL50 800 ppm); in un'acqua nella fase disciolta è avvertibile già con concentrazioni di circa 10 microgrammi/metro cubo, facilmente individuabile dall'odore caratteristico di uova marce. L'idrogeno solforato è raro nelle acque fredde di sorgente in aree montane e comunque in ambienti naturali dove si possa escludere la sua origine da acque reflue. L'odore sgradevole può indurre a non



Figura 24 – Affioramento di un'acqua ricca in ferro in un'area montuosa (dintorni del Ghiacciaio dei Forni, Gruppo Ortles-Cevedale) - ph Francesco Mantelli



Figura 25 – Acque limpide e con bassa mineralizzazione di un laghetto nel Parco del Monte Avic (Champdepraz, Val d'Aosta). Essendo l'ambiente caratterizzato da rocce ofiolitiche con evidente presenza di amianto, non si esclude la presenza di fibre di questo minerale in quelle acque - ph Francesco Mantelli



Figura 26 – Campionamento del Rio de Campo Alegrito (Manizales, Colombia). Questa acqua superficiale fredda, pur alimentata in larga parte da piogge, risente anche di afflussi da sorgenti di acque termali così che il contenuto di arsenico arriva fino a 21 microgrammi/litro - ph R. Chetoni

Tipologia acquifero	Vulcaniti	Arenarie	Rocce carbonatiche	Graniti e altre rocce intrusive
Residuo fisso (TDS-totale solidi disciolti)	da 50 a 2000 mg/L	da 20 a 200 mg/L	da 100 a 400 mg/L	da 20 a 100 mg/L
Possibili contaminanti	As, F, B, Hg, Ni, Cr, V, H ₂ S	H ₂ S raramente	nella gran parte dei casi: non presenti	nella gran parte dei casi: non presenti

Tipologia acquifero	Ghiaie e sabbie	Quarziti	Marne	Ofoliti
Residuo fisso (TDS-totale solidi disciolti)	da 200 a 1000 mg/L	da 10 a 30 mg/L	da 50 a 400 mg/L	da 200 a 1000 mg/L
Possibili contaminanti	As, Fe, Mn	non presenti	nella gran parte dei casi: non presenti	Cr, Ni, Cu, Mn, Fe, talvolta amianto

Tipologia acquifero	Gessi	Rocce metamorfiche silicatiche	Rocce metamorfiche carbonatiche	Conglomerati
Residuo fisso (TDS-totale solidi disciolti)	da 1000 a 3000 mg/L	da 20 a 100 mg/L	da 100 a 300 mg/L	da 100 a 1000 mg/L
Possibili contaminanti	Residuo fisso elevato SO ₄	As, Fe, Mn (rari)	nella gran parte dei casi: non presenti	non valutabile

Tabella 10 – Criteri generali di previsione del possibile contenuto di solidi disciolti e relative criticità delle acque sotterranee in relazione alla litologia degli acquiferi.

Note: 1) ferro e manganese, come riportato in precedenza, possono dare luogo a depositi dei rispettivi idrossidi e ossidi, quindi sono stati indicati come contaminanti, pur non essendo elementi tossici; 2) le marne sono rocce molto variabili come composizione in relazione al contenuto della parte carbonatica e pertanto le relative acque hanno composizione piuttosto variabile

utilizzare le acque a scopo potabile dove questo gas è presente, ma l'idrogeno solforato disciolto in acqua in piccole quantità non determina rischi sanitari, inoltre le acque sulfuree hanno proprietà salutari nel trattamento della pelle e delle malattie respiratorie, tuttavia quando l'idrogeno solforato è presente in acque che si originano da zone geotermiche e vulcaniche può essere la spia di acque con criticità ben più importanti, cioè con contaminazioni da mercurio, arsenico e altri elementi tossici, soprattutto se si tratta di acque calde. Diffidare pertanto delle acque di sorgente che emergono in aree termali:

Le tecniche di produzione di acqua potabile in montagna e nelle aree remote

Gli ordinari trattamenti di un'acqua al fine di renderla potabile prevedono principalmente un'operazione di disinfezione, dato il rischio di contrarre possibili malattie di tipo acuto. Storicamente la microbiologia è stata oggetto della principale attenzione di ogni gestore della risorsa idrica distribuita dagli acquedotti, anche in memoria delle grandi epidemie del passato durante le quali si era venuti progressivamente a conoscenza che l'acqua era il veicolo di tali malattie.

Negli ambienti montani e nelle aree remote gli aspetti chimici sono meno considerati anche perché è difficile prevedere un possibile inquinamento da parte delle numerose e differenti sostanze, molte delle quali hanno bassa probabilità di essere presenti. Tuttavia, in futuro queste zone saranno sempre più esposte alla circolazione globale degli inquinanti per gran parte prodotti dall'attività umana.

Si verificano alcuni casi in cui i processi di potabilizzazione da effettuare in loco non sono possibili; le acque che non si possono trattare sono le seguenti:

1. acque a elevato contenuto salino;
2. acque con solidi sospesi molto fini; quindi, di difficile filtrazione e sedimentazione;
3. acque di cui siamo a conoscenza di una loro contaminazione da metalli e altri elementi di natura tossica.

Impiego di composti a base di cloro - La disinfezione con composti del cloro, generalmente con soluzioni al 5-7 % di cloro attivo (di solito sodio ipoclorito, NaClO) è efficace su molti batteri e virus, ma è sconsigliabile nelle aree remote per i rischi di sovradosaggio in cui si può incorrere e per la produzione di composti organoalogenati (cloroformio, bromoformio, diclorobromometano e dibromoclorometano), sostanze dotate di una certa tossicità, in particolare in quelle acque a elevato contenuto di carbonio organico. La loro tossicità è comunque funzione delle loro quantità nelle acque: il valore da non superare è 30 microgrammi/litro (come somma), valore limite stabilito dalla normativa del nostro Paese (più restrittiva di quella europea che prevede 100 microgrammi/litro).

Quando si impiegano acque superficiali che devono venire sottoposte a questo tipo di disinfezione, sarebbe opportuna un'operazione di filtrazione su filtri con pori di almeno 2 μm per eliminare le forme di vita che non sono inattivate dai trattamenti con disinfettanti a base di cloro (protozoi come la *Giardia lamblia* oppure oocisti di *Cryptosporidium*), operazione comunque non facile data la rapida inattivazione di questi filtri in relazione alla possibile torbidità dell'acqua e alla necessità di disporre di volumi consistenti di acqua. Vi sono inoltre in commercio compresse adatte per la disinfezione di piccoli volumi di ac-

queste acque, anche con temperature non molto elevate, possono contenere elementi tossici mobilizzati dai fluidi termali. Un esteso studio (Mantelli, 2002) nell'area termale di S. Rosa de Cabal (Manizales, Colombia) mostra come tutte le acque calde di quel territorio fossero contaminate ancora una volta da arsenico in concentrazioni molto elevate; anche le acque con temperatura bassa, alcune delle quali fluenti in corsi superficiali, mostravano presenza di arsenico in concentrazioni significative (Figura 26).

qua, più facili nel dosaggio e nel trasporto; alcune sono a base di dicloroisocianurato di sodio (NaDCC), composto che libera cloro attivo, con una capacità superiore di disinfettare dell'ipoclorito di sodio. Il dicloroisocianurato di sodio è il componente delle compresse Micropur, utilizzate per disinfettare l'acqua limpida. (Composizione: 103 mg/g di dicloroisocianurato di sodio, 2,8 mg/g di cloruro d'argento). L'argento è un disinfettante che possiede una azione germicida ad ampio spettro: si rivela infatti attivo contro molte specie di batteri, funghi e virus; tuttavia, l'assunzione per bocca di questo metallo in concentrazioni elevate può determinare evidenti effetti tossici.

Di uso più raro è l'ipoclorito di calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ che presenta la stessa efficacia dell'ipoclorito di sodio; si presenta in forma di polvere bianca, di uso più difficile rispetto al sodio ipoclorito. L'ipoclorito di calcio è un composto usato prevalentemente per la disinfezione dell'acqua di piscina. Comunque, la disinfezione con trattamenti di tipo chimico costituisce sempre un espediente per piccoli volumi e presenta rischi di sovradosaggi di cloro, oltre a un cattivo sapore e odore dell'acqua trattata; infine, non avendo efficacia nei confronti di alcuni protozoi, resta pertanto consigliabile l'ebollizione dell'acqua.

Impiego di composti a base di iodio - Come il cloro, per la sua azione ossidante, lo iodio in particolari forme chimiche può espletare capacità disinfettanti. In commercio si trova lo iodopovidone, un composto organico ottenuto dalla combinazione del polimero polivinilpirrolidone con in soluzione sia iodio libero (I_2) sia triioduro (I_3^-). Entrambi contribuiscono all'azione disinfettante. Questo composto è prevalentemente usato come disinfettante della cute (Betadine). L'azione dello iodio è efficace nei confronti di batteri, funghi, virus, protozoi e spore. Nell'impiego per la disinfezione dell'acqua fare attenzione ai dosaggi previsti e tenere conto della possibile ipersensibilità allo iodio o a possibili influenze negative in caso di malattie tiroidee.

Ebollizione - L'ebollizione è sufficiente per distruggere i microrganismi patogeni (uova di elminti, cisti di protozoi, batteri e virus) eventualmente presenti in un'acqua contaminata; questa operazione deve durare almeno 20 minuti. La bollitura, pertanto ha azione disinfettante nei confronti della *Giardia intestinalis*. L'ebollizione in contenitore aperto in alta quota non avviene a temperature sufficientemente elevate (a 4000 m di altezza la temperatura di ebollizione di un'acqua di media mineralizzazione è circa 86 °C) pertanto la durata dell'ebollizione deve essere incrementata di 1 minuto per ogni 1000 m di altitudine (WHO, 1997). Con l'impiego di una pentola a pressione, poiché vengono raggiunte temperature più elevate (fino a 120 °C), i tempi di disinfezione sono notevolmente ridotti: in genere sono sufficienti 1 o 2 minuti.

Filtrazione - Il trattamento con filtri sterilizzanti permette di rendere le acque idonee all'uso potabile sotto il profilo biologico. Sono disponibili in commercio sistemi manuali che permettono di filtrare l'acqua attraverso una membrana con pori del diametro di 0,2 μm . Utile una prefiltrazione con filtri con pori del diametro di 2-5 μm . Con opportuni step di filtrazione in successione, installati prima della barriera di filtrazione finale (che può scendere anche da 2 a 1 μm), è comunque possibile rendere più efficace il trattamento, garantendo maggior durata operativa della barriera finale.

Se dal punto di vista pratico le acque sottoposte a filtrazione hanno il vantaggio di non avere alterazione di sapore e odore dovute all'aggiunta di disinfettanti, come visto in precedenza, in montagna e nelle aree remote la filtrazione è una tecnica di scarso impiego per i modesti quantitativi di acqua prodotta; quantitativi elevati di acqua, specialmente di tipo superficiale, inattivano rapidamente il filtro a causa del materiale in sospensione anche in acque che apparentemente sembrano limpide.

Trattamento UV - La luce ultravioletta è costituita da differenti lunghezze d'onda; la radiazione UV-C, (UV germicida), con una lunghezza onda da 240 a 280 nm, svolge una reazione fotochimica che distrugge l'informazione genetica contenuta nel DNA dei differenti microrganismi così che questi perdono la loro capacità di riprodursi e pertanto ha azione germicida su tutti gli agenti patogeni presenti nell'acqua: virus, batteri e protozoi, oltre ad alghe e funghi; fra quest'ultimi il *Cryptosporidium* e la *Giardia*, che di solito mostrano una certa resistenza ai disinfettanti chimici.

L'efficacia dell'azione germicida UV-C dipende da molti fattori: la quantità di tempo di esposizione, la presenza di particelle che possono proteggere i microrganismi dall'UV e la capacità dei microrganismi di resistere alla radiazione durante l'esposizione. Le particelle in sospensione riflettono i raggi UV e agiscono da "ombrello protettivo" per i microrganismi, oppure vengono inglobati al loro interno, nascondendoli dalla capacità sterilizzatrice dei raggi. Vi sono in commercio sterilizzatori portatili a raggi UV che possono essere alimentati da sistemi a

batteria, a loro volta ricaricabili da pannelli solari, così che in un'area remota è possibile disporre di questo tipo di sistema di disinfezione, a condizione di disporre di acqua molto limpida e di seguire con attenzione le istruzioni e le raccomandazioni d'uso come la durata della lampade e il flusso dell'acqua per tenere conto del tempo di irradiazione che ha importanza fondamentale nel processo di inattivazione microbica.

Trattamento di acque contenenti metalli e altri elementi tossici - In molte aree remote le acque, sia superficiali che sotterranee, possono contenere metalli e elementi di natura non metallica con caratteristiche di tossicità, originati da processi naturali di alterazione dei minerali contenenti questi elementi; fra questi, negli ambienti naturali è frequente la presenza di arsenico proveniente da numerose e differenti tipologie di rocce vulcaniche e di cromo e nichel provenienti dalle rocce ofiolitiche.

Come in precedenza riportato, le acque di sorgente e quelle superficiali di un vasto settore delle Ande argentino-cilene dei territori di Catamarca e Atacama, presentano una diffusa contaminazione da arsenico; sono noti, inoltre, numerosi laghi a elevata concentrazione di sali, quindi con acque inutilizzabili ai fini potabili, fino ai salares, depositi salini in bacini endoreici dovuti alla completa evaporazione delle acque.

Durante alcune spedizioni esplorative su quel territorio montuoso, nel corso degli anni Novanta del secolo scorso, è stato sperimentato un filtro capace di rimuovere arsenico dall'acqua, attraverso un processo che ha dato buoni risultati. Tuttavia, questo apparecchio è capace di trattare volumi ridotti di acqua. La rimozione dell'arsenico può essere effettuata solo con tecniche particolari e con sistemi non sempre disponibili in aree remote.

Per l'utilizzo di acque a elevato contenuto salino non esistono sistemi portatili o comunque sistemi anche di certa complessità che restano di difficile utilizzo in un'area remota per il relativo trattamento e pertanto acque con residuo salino oltre 1500 mg/L devono essere impiegate per il minor tempo possibile.



Figura 27 – Salar de Maricunga, Cile, visto dalla cima secondaria del Cerro de los Patos, 5950 m, Ande di Catamarca, Argentina. Ambienti difficili per disporre di acque potabili: laghi salini fino alla saturazione e acque di sorgente spesso contaminate da arsenico. Solo dalla fusione di ghiaccio, presente a quote intorno ai 6000 metri, è possibile ricavare acqua potabile che, tuttavia, può contenere tracce di arsenico - ph Francesco Mantelli

Conclusioni

Il concetto di "acqua potabile" è variabile nel tempo in relazione all'evoluzione delle conoscenze scientifiche. Nel secolo scorso pochi parametri di tipo chimico e microbiologico stabilivano quando un'acqua poteva ritenersi potabile. Con l'evoluzione delle tecniche analitiche e, soprattutto, con il progressivo diffondersi nell'ambiente di contaminanti in seguito alla produzione di migliaia di sostanze di sintesi, spesso difficilmente degradabili (antiparassitari, policlorobifenili, sostanze perfluoroalchiliche, materiali plastici e molto altro), i parametri da controllare in un'acqua al fine di definirne la potabilità, sono moltissimi.

L'evoluzione delle tecniche analitiche permette attualmente di misurare nelle acque quantità di sostanze fino al livello dei microgrammi e nanogrammi litro, capacità analitica necessaria per individuare molte sostanze presenti in tracce, ma comunque con possibilità di indurre danni alla salute umana.

Si ritiene che sulle montagne e in molte aree remote molte sostanze immesse nell'ambiente in seguito all'attività umana siano comunque in una quantità tale (non si può parlare di "assenza") da non compromettere la qualità di un'acqua captata in quelle zone. Tuttavia, come espressamente ricordato, solo analisi chimiche e microbiologiche realizzate secondo le indicazioni della normativa più recente, disponendo di laboratori tecnicamente molto avanzati, possono definire un'acqua potabile.

Data ovviamente l'impossibilità di condurre queste operazioni in montagna e nelle aree remote, le indicazioni fornite, tenendo conto di tutte le indicazioni di prudenza suggerite, costituiscono un contributo alla possibilità di in-

dividuare acque con buone probabilità di essere potabili o di intraprendere adeguati processi di potabilizzazione.

In relazione alla possibilità di trovare acqua potabile in montagna e in aree remote, in sintesi, occorre fare riferimento a quanto segue:

1. un'acqua torbida non è sicuramente potabile; l'acqua deve essere inoltre inodore e insapore;
2. un'acqua superficiale (torrente, lago e alcune acque sotterranee di ambienti carsici), seppur limpida e pur in un ambiente naturale, ha raramente i requisiti di potabilità, principalmente in relazione alla possibile contaminazione di tipo microbiologico;
3. per gli aspetti microbiologici è possibile intervenire con adeguati trattamenti di disinfezione come in precedenza descritto;
4. un'acqua di sorgente in un ambiente naturale può avere i requisiti di potabilità, ma occorre considerare tutta una serie di fattori, sommariamente descritti nel corpo di questo lavoro;
5. per gli aspetti chimici di composizione (componenti principali e contenuto di solidi disciolti) è possibile avere un'idea (spesso sommaria) tenendo conto dell'interazione acqua-roccia (ove possibile) e attraverso informazioni sullo stato generale di quel dato ambiente;
6. si conclude affermando che in natura l'acqua potabile è una risorsa molto rara.

Bibliografia e Sitografia

- Boraldi V., Manzieri A.M., Mantelli F., Mencarelli G. – *Lo stato di qualità ambientale delle acque dei laghi dell'Alto Appennino modenese*. In: Sviluppo Sostenibile, anno XIV, Amministrazione provinciale di Modena, n.65-66 I-II trimestre 2001
- Celli A., *Manuale dell'Igienista*, vol. I e II, Torino, 1906
- Cherubini M., G. Fornaciai, F. Mantelli, E Chellini and C. Sacco – *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
- Chetoni R. - *Acque minerali e termali: idrogeologia e opere di captazione, gestione della risorsa idrica*, pp. 1-900, Geo Graph, Segrate, Milano, 2000
- Dall'Aglio M., Barbieri M., Bazzoli P., Venanzi G., Agati L., Mantelli F., Palmieri R. - *Drinking Water Quality in the Grosseto Province, Tuscany, Italy. An appraisal on the basis of the study of water rock interaction. The proceedings of the Water Rock Interaction (WRI-10) International Congress*. Cagliari, vol. 2, 1059-1062, June 2001
- Decreto legislativo 23 febbraio 2023, n. 18, Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, (23G00025) (G.U. Serie Generale n. 55 del 06-03-2023) note: entrata in vigore del provvedimento: 21/03/2023
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 8 febbraio 1985 - *Caratteristiche di qualità delle acque destinate al consumo umano*, (G.U. n° 108 del 9 maggio 1985)
- Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (rifusione)
- Forti P. – *Gli acquiferi carsici. Problematiche per il loro studio ed utilizzo*. Atti del Convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività. Ponte di Brenta (PD) 26 e 27 settembre 1998, pp.13-39. A cura del Gruppo Speleologico Padovano, Imprimatur Editrice, Padova, 1999
- Mantelli F., M. Masini, P. Buccci - *Qualità delle acque di alcune aree remote dell'Alaska e del Canada*. Inquinamento, n. 10, pp. 54-61, novembre 1994
- Mantelli F., A. Ronchi, A. Gatti, C. Minoia - *Impiego dell'ICP-MS nella determinazione di elementi in traccia in acque utilizzate a scopo potabile in alcune zone del Mustang (Nepal)* - In: C. Minoia, M. Bettinelli, A. Ronchi, S. Spezia - *Applicazioni dell'ICP-MS nel Laboratorio Chimico e Tossicologico* - Morgan Edizioni Tecniche, Milano, pp. 205-221, 2000
- Mantelli F., C. Scala, M. Guazzini, A. Ronchi, A. Gatti, C. Minoia – *Determinazione mediante ICP-MS di elementi in traccia in acque della Salina della Laguna Verde e dei territori limitrofi (Ande di Catamarca, Argentina)*. In: C. Minoia, M. Bettinelli, A. Ronchi, S. Spezia - *Applicazioni dell'ICP-MS nel Laboratorio Chimico e Tossicologico* - Morgan Edizioni Tecniche, Milano, pp. 239-264, 2000
- Mantelli F., C. Scala, A. Ronchi, A. Gatti, P. Peruzzi, C. Minoia - *Impiego dell'ICP-MS nella determinazione*

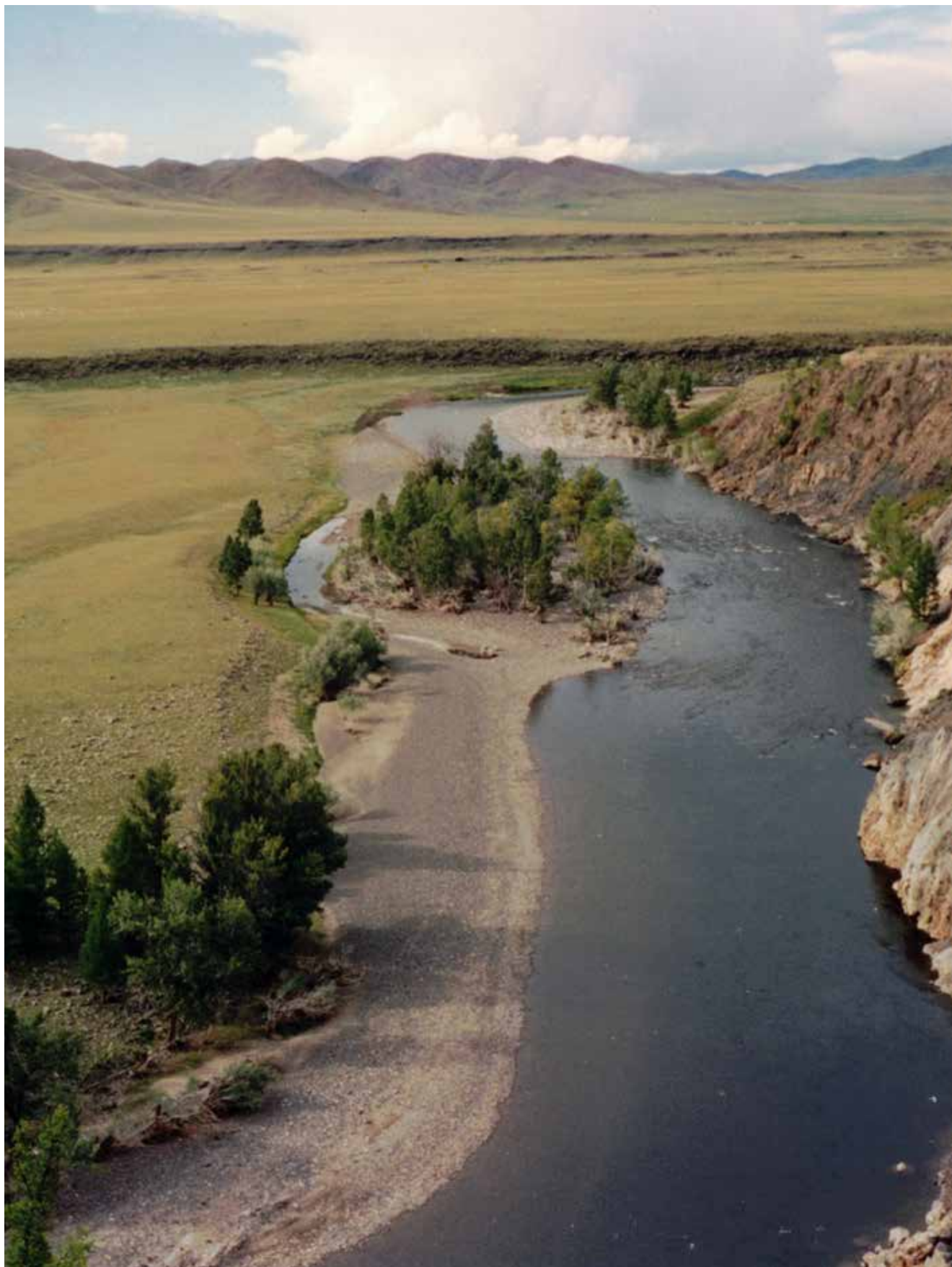


Figura 28 – Paesaggio della Mongolia meridionale. Fiume con acque limpide e con presenza di acidi fulvici e umici in elevata concentrazione, sostanze che determinano il caratteristico colore giallo-rosso (scuro su elevati spessori di acqua). Per rendere queste acque potabili, l'unico trattamento è l'ebollizione, dato che l'aggiunta di disinfettanti a base di cloro produrrebbe elevate quantità di cloroformio e altri composti organoalogenati - ph Francesco Mantelli

di elementi in traccia in neve di alta quota (Ande di Catamarca, Argentina). In: C. Minoia, M. Bettinelli, A. Ronchi, S. Spezia - *Applicazioni dell'ICP-MS nel Laboratorio Chimico e Tossicologico* - Morgan Edizioni Tecniche, Milano, pp. 297-315, 2000

- Mantelli F.- *Aguas minerales y termales: de los procesos de formación a las técnicas analíticas* - *Leciones impartidas durante el curso de formación del termalismo en Pereira, Santa Rosa de Cabal y Neiva* (Colombia, dicembre 2001) – Capitoli 10; distribuito in Colombia a cura della Asociación Nacional de Técnica Idrotermales. Pagg. 176, 2002
- Mantelli F. & G. Temporelli - *L'acqua nella storia* - Fondazione AMGA onlus, FrancoAngeli editore, 2007
- Mantelli F., Menichetti S., Calà P.G. - *Principali emergenze termali in Toscana. Idrogeologia e chimica delle acque* - Edizione Arpat, Agenzia per la protezione ambientale della Toscana, pp. 1-378, marzo 2014 (scaricabile dal sito Arpat)
- Mantelli F., Lotti L., De Sio F., Montigiani A., Occhini F. - *L'estrazione del marmo in Apuane: episodi di inquinamento e idrochimica delle acque del Complesso carsico del monte Corchia*. Atti del Convegno Nazionale "La ricerca carsologica in Italia" 22-23 giugno 2013, Laboratorio carsologico sotterraneo di Bossea, Frabosa Soprana: pp. 269-277, giugno 2016
- Mantelli F., Piccini L., Scala C., Menichetti S., Lotti L., Montigiani A., De Sio F., Occhini F. - *Antro del Corchia 1997-2017, 20 anni di monitoraggio e ricerche*, Arpat Quaderni Ambientali Firenze, pp. 1-257, I-XIV, 2021
- Mantelli F. - *Le acque carsiche. Caratteristiche, utilizzo e rischi di inquinamento* - Il Bollettino, Comitato Scientifico Centrale, pp. 39-60, ottobre 2023
- Pagliani L. - *Trattato di Igiene e di Sanità Pubblica* - vol. 1 *Dei terreni e delle acque*, Vallardi, Milano, 1913
- Roster G., *Dei Criteri per giudicare la potabilità di un'acqua*, Ingegneria sanitaria, n. 3, pp. 44-48, 1893
- Piccini L. - *Acquiferi carbonatici e sorgenti carsiche delle Alpi Apuane*. Atti del Convegno "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo". Filanda di Forno, Massa, 22 giugno 2002. Pubblicazione a cura della Federazione Speleologica Toscana, 41-75, 2003
- Piccini L., Di Lorenzo T., Costagliola P., Galassi D. MP. - *Marble Slurry's Impact on Groundwater: The Case Study of the Apuan Alps Karst Aquifers*, 11, 2462, pp. 1-16, Water 2019
- Sauro U. - *Geoecosistemi carsici, risorsa acqua e impatto umano; esempi in aree carsiche del Veneto*. Atti del Convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività. Ponte di Brenta (PD) 26 e 27 settembre 1998. A cura del Gruppo Speleologico Padovano, Imprimatur Editrice, Padova, pp. 41-60, 1999
- <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/21973/1/tesi.pdf> tesi.pdf
- <https://www.bing.com/videos/riverview/related-video?q=amianto+nelle+acque+potabili&mid=C-68B066EEB913922E38EC68B066EEB913922E38E&FORM=VIRE>