



ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

**Acque di falda:
stato dell'arte delle conoscenze in Italia**

A cura di
L. Volterra e F. A. Aulicino

ISSN 1123-3117

Rapporti ISTISAN

99/32

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

**Acque di falda:
stato dell'arte delle conoscenze in Italia**

A cura di
Laura Volterra e Francesca Anna Aulicino
Laboratorio di Igiene Ambientale

ISSN 1123-3117

Rapporti ISTISAN

99/32

Istituto Superiore di Sanità

Acque di falda: stato dell'arte delle conoscenze in Italia.

A cura di Laura Volterra e Francesca Anna Aulicino

1999, ii, 193 p. Rapporti ISTISAN 99/32

In considerazione dei fenomeni sempre più frequenti di contaminazione delle acque destinate al consumo umano, molte delle quali, in Italia, derivate da falde, si sente la necessità di approfondire la conoscenza della qualità della risorsa idrica all'origine, conoscenza caratterizzata da una grande carenza e settorialità. Poiché questo è un argomento che interessa tutto il territorio nazionale è stato impiantato un progetto di ricerca dell'Istituto Superiore di Sanità sulle acque di falda che prevede la partecipazione di unità periferiche diversamente rappresentate e distribuite in varie realtà geografiche. Sono inclusi alcuni contributi presentati durante un workshop organizzato dall'Istituto Superiore di Sanità (26-27 ottobre 1998) in cui sono state considerate le più diverse problematiche (microbiologiche, biologiche, chimiche, geologiche, etc.) connesse alle acque di falda.

Parole chiave: Acque potabili, Acque sotterranee, Indicatori della qualità delle acque

Istituto Superiore di Sanità

Groundwaters: state of the art of the knowledge in Italy.

Edited by Laura Volterra and Francesca Anna Aulicino

1999, ii, 193 p. Rapporti ISTISAN 99/32 (in Italian)

In Italy, most of the distributed potable waters are of underground origin. Pollution phenomena affecting more and more drinking waters cannot be approached without considering water source quality. Groundwaters are characterized by a lack of know-how too often limited to specific fields. Considering the relevance of this topic at national level the Istituto Superiore di Sanità (Italian National Health Institute) launched a research project on groundwater: new indicators of quality and sanitary risk. Some papers presented during a workshop on groundwaters held at the Istituto Superiore di Sanità (October 26-27, 1998) are presented. Microbiological, biological, chemical, geological, etc. aspects of groundwaters were debated during this workshop.

Key words: Drinking water, Groundwater, Water quality indicators

L'editing del volume è stato curato dalla Sig.ra Valentina De Nava.

Indice

Introduzione	1
L'inquinamento microbiologico delle acque di falda Laura Volterra	3
Nuovi indicatori di acque di falda: i metazoi Silvio Gaiter, Mirvana Feletti	15
Proposte di aggiornamento bibliografico Maria Cristina Calicchia, Francesca Anna Aulicino, Laura Volterra	29
Biologia molecolare applicata alla batteriologia Maria del Mar Lleò, Sabrina Pierobon, Maria Carla Tafi, Alessia Brugnoli, Caterina Signoretto, Pietro Canepari	39
Classificazione di dati di qualità delle acque sorgive tramite tecniche convenzionali e reti neurali Rosanna Burigo, Caterina Oppo, Armando Pelliccioni, Biancamaria Pietrangeli.....	44
Problemi igienico-sanitari delle acque di falda in una provincia montana del nord-est Domenico Grazioli, Filippo Baratto	64
Un test di qualità delle sorgenti delle dolomiti (Alpi orientali) basato sugli equilibri calcite -CO ₂ - acqua e dolomia -CO ₂ – acqua Fabio Decet	74
Valutazione della qualità delle acque destinate al consumo umano in ambiente montano (Belluno) Filippo Baratto, Rosanna Burigo, Oscar Cora, Domenico Grazioli, Caterina Oppo	112
Vulnerabilità degli acquiferi e caratteri idrochimici delle acque sotterranee destinate al consumo umano nella pianura novarese Lucio Palin, Tullia Bonomi, Sabrina Manazza, Massimiliano Panella	131
Osservazioni sulla vulnerabilità di una sorgente dell'area siracusana Nunzia Andolfi	155
Il servizio idrico integrato: stato dell'arte e prospettive Marcelo Enrique Conti	157

La P.C.R. (Polymerase Chain Reaction): un metodo rapido e semplice per la ricerca di enterobatteri patogeni nelle acque superficiali Anna Enrica Poncino, Marina Garizio, Luca Ruocco, Paolo Marcandalli, Antonio Semeraro	163
Caratteristiche microbiologiche delle acque destinate al consumo umano: nuovi criteri analitici Cristina Perego, Laura Pucci, Loris Landi, Mara Foppiani, Maurizio Podico.....	175
Elementi figurati in acquedotti alimentati da acque di falda Adriana Vecchi.....	184
Relazione sull'idoneità del sito "Cava di Malga Melagon" come discarica controllata di RSU Gianluigi Boccalon, Giuseppe Casati, Vladimiro Toniello.....	186

Introduzione

Il presente rapporto compendia gli argomenti trattati nel corso del workshop che si è tenuto a Roma, presso l'Istituto Superiore di Sanità, il 26-27 ottobre 1998, dal titolo "La contaminazione microbiologica degli ambienti idrici e le fonti di contaminazione: aspetti igienico-sanitari (Programma ISS-Acque di falda: "Le acque di falda: nuovi indicatori di qualità e rischio sanitario")".

Le risorse idriche profonde che dovrebbero essere naturalmente protette e incontaminate, sono sempre più minacciate dall'estensiva e, spesso, non programmata utilizzazione del suolo. La tipologia della maggior parte delle risorse idriche sotterranee italiane, direttamente ricaricate dalle acque meteoriche, rende inattuabile la definizione puramente geometrica delle aree di salvaguardia. A volte anche le zone di tutela assoluta e di rispetto sono parzialmente violate dalla crescita non programmata della urbanizzazione, delle reti viarie e di insediamenti produttivi primari e secondari. La inconsulta perforazione dei suoli determina anastomosi tra vene di diversa profondità nonché pericolose commistioni con acque di scarico. Tra le cause di disturbo bisogna includere anche la libera pastorizia o ad un eccesso di vita selvatica. Tutto ciò incide pesantemente su quantità e qualità delle acque di falda.

La contaminazione delle risorse idriche profonde si traduce in una diffusione di contaminanti di natura chimica e biologica con conseguenze negative per gli equilibri ambientali e per la salute della popolazione. Spesso le modificazioni di questi equilibri si verificano dilazionati nel tempo. Ciò favorisce una spensierata sottovalutazione del futuro impatto di ogni azione presente, essendo l'attenzione umana maggiormente sensibile al verificarsi di episodi acuti in cui, cause ed effetti, sono facilmente correlabili per essere tra loro temporalmente prossimi.

A fronte dei numerosi e routinari controlli eseguiti sulle acque condottate, l'accertamento della qualità delle risorse idriche all'origine è più trascurata. Il motivo di ciò deriva dalla convinzione che le acque di falda sono naturalmente protette dalla contaminazione grazie all'azione di filtro meccanico, fisico, chimico e biologico esercitato dal suolo. Inoltre il possesso di tecnologie porta sempre più a delegare la eventuale rettifica sanitaria delle acque alla sussidiarietà di processi di potabilizzazione. Ma ogni azione comporta vantaggi e svantaggi. Per troppo tempo non si sono tenuti in conto i possibili peggioramenti dovuti ad impurezze o a sottoprodotti di reazione connessi all'introduzione di additivi chimici. Sarebbe auspicabile conservare la qualità "naturale" delle acque sotterranee, trattarle il meno possibile e disporre di marcatori della loro costanza quantitativa e qualitativa. Il fatto è che nel settore specifico delle acque di falda, più che in altri ambienti idrici queste conoscenze sono carenti: è frequente che non si sappia quali siano i parametri indicatori da controllare, quando cercarli e come indagarli. In questo settore la stabilità ambientale è legata alla sicurezza igienica e quindi alla prevenzione del rischio sanitario.

I controlli dell'acqua distribuita, essenziali per prevenire la diffusione di agenti eziologici di patologie idrodifuse, potrebbero avvalersi utilmente della conoscenza della qualità dell'acqua all'origine con vantaggio non solo per l'aspetto sanitario, ma

anche per quello ingegneristico e gestionale. Ad esempio non è consigliabile, in presenza di un giacimento idrico in cui albergano ferrobatteri, la mescolanza con un'acqua di origine superficiale naturalmente più ricca di sostanze organiche assimilabili. Questa operazione può agire come fattore promuovente di iperproliferazioni microbiche i cui effetti, che in ambito strutturale e gestionale possono avere gravi conseguenze economiche, a volte si estendono al comparto igienico-sanitario. Il solo accertamento dell'assenza di contaminazione fecale in un'acqua alla scaturigine non assicura quindi che non vi sia un possibile successivo scadimento dell'acqua condottata, che potrebbe anche essere imputabile a forme autoctone in grado di colonizzare le reti di distribuzione. Gli effetti di un tale deterioramento sono più subdoli perché procrastinati nel tempo.

Il controllo integrato delle sorgenti e delle acque di rete rappresenta la politica migliore di salvaguardia per la prevenzione di malattie e per la conservazione delle risorse.

I temi che sono stati sviluppati nel workshop con riferimento alle acque sotterranee hanno riguardato aspetti bibliografici, gestionali, microbiologici, biologici, chimici, geologici, modellistici in armonia con la multidisciplinarietà contenuta nel programma ISS "Le acque di falda: nuovi indicatori di qualità e rischio sanitario" e nella consapevolezza che lo studio e la gestione del territorio hanno bisogno di una visione globale.

Il workshop ha rappresentato un momento aggregante non solo di quanti hanno aderito al progetto ISS, ma anche di coloro che in Italia si sono occupati o continuano ad interessarsi di questa topica. Le relazioni, che costituiscono questo rapporto e che sono state discusse nel corso dell'incontro, rappresentano il nocciolo di un forum che si sta sviluppando a livello nazionale su questo tema specifico.

L. Volterra e F.A. Aulicino

L'INQUINAMENTO MICROBIOLOGICO DELLE ACQUE DI FALDA

Laura Volterra
 Istituto Superiore di Sanità, Roma

La capacità e la velocità di rinnovamento delle acque sotterranee è estremamente bassa rispetto a quella media di laghi e fiumi. Per questa ragione, le risorse idriche sotterranee vanno protette con politiche dotate di una maggiore sensibilità. La loro contaminazione costituisce un danno economico, perché incide sulle potenzialità di sfruttamento della risorsa e quindi sullo sviluppo economico e sulle condizioni di vita di una comunità.

La teoria dell'alta qualità e della salubrità implicita per le acque sorgive parte dalle presunzioni che su essa abbiano agito filtri "naturali". Nella pratica tale teoria non sempre è convalidata non solo per acquiferi alimentati da corpi idrici superficiali, ma anche per falde montane che si formano per infiltrazione di precipitazioni meteoriche. In queste, se i parametri fisici, fisico-chimici e chimici rientrano, nei limiti sanciti dalla legge (DPR 236/88) pur mostrando un dominio di variazione (come, ad esempio, per conducibilità, ossidabilità, C.O.D., cloruri, nitrati), i parametri microbiologici sono frequentemente in esubero rispetto agli standard espressi dai VG e CMA della predetta normativa.

A livello internazionale si conferma che proprio le acque di falda, soprattutto in comunità servite da piccoli acquedotti che si approvvigionano da sorgenti montane, possono diffondere patogeni batterici, virali e protozoi a circolazione orofecale, alcuni dei quali trasmissibili anche per via inalatoria e per contatto. La lista di Tabella 1 non è esauriente di tutti gli agenti pericolosi per la salute umana che possono essere veicolati con l'acqua. I rilievi, in genere, sono fatti *a posteriori*, dopo che si è sviluppato un *focus* epidemico che ha le caratteristiche di una epidemia a tipica diffusione idrica: innalzamento improvviso dei casi e diffusione in tutti gli strati sociali. Non sempre però anche in questi casi vengono ritrovati i batteri responsabili delle epidemie nell'acqua perché la loro presenza è transitoria e perché i metodi di arricchimento e selezione sottostimano di 100-1000 volte il titolo effettivo presente in un campione.

I periodi di maggiore pericolosità per la diffusione di patogeni o semplicemente per il rinvenimento di alte cariche batteriche nell'acqua distribuita coincidono con quelli di maggiore estensione degli orizzonti saturi e di maggiore apporto nutrizionale nel dominio sotterraneo.

Le acque di falda alimentate direttamente (infiltrazione delle acque che dilavano i suoli), o indirettamente (infiltrazioni da alveo e subalveo, di fiumi e laghi) dalle precipitazioni meteoriche, costituiscono un reticolo sotterraneo connesso al mondo epigeo e ai reticoli superficiali con i quali scambiano energia, materia e organismi (procarioti ed eucarioti mono e pluricellulari) attraverso una "zona tampone", che, nell'area di ricarica e alla scaturigine o al luogo di emunzione, si instaura tra il suolo saturo (falda) e l'ambiente ipogeo sovrastante/circostante nonchè il mondo esterno. Queste zone di contatto sono punti di vulnerabilità. Gli ecotoni che si frappongono tra la zona satura e quella insatura, hanno una "elasticità" fisica estendendosi irregolarmente

nel corso dell'anno in funzione delle stagioni, delle condizioni meteorologiche, delle piene, della natura dei suoli (argillosi, organici, sabbiosi) etc.

Tabella 1.- Patogeni acclarati od occasionalmente tali trasmissibili per contatto, ingestione o inalazione di acqua contaminata e relative patologie.

Organismo	Patologia
Batteri - Contatto con l'acqua	
<i>Actinomyces (israelii, pyogenes, spp.)</i>	Attinomicosi
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Infezioni di ferite
<i>Citrobacter</i>	Infezioni di ferite
<i>Clostridium tetani</i>	Tetano
<i>Leptospira icterohemorrhagia</i>	Leptosirosi
<i>Micobacterium marinum</i>	Otite esterna
<i>M. balnei</i>	Otite esterna
<i>Pseudomonas</i>	Otite esterna
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infezioni di ferite
<i>Vibrio</i>	Infezioni di ferite, otite esterna
Batteri- ingestione di acqua	
<i>Arizona hinshawii</i>	Gastroenterite
<i>Bacillus cereus</i>	Gastroenterite
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite
<i>Citrobacter freundii</i>	Gastroenterite
<i>Clostridium</i>	Tossinfezioni
<i>Edwardsiella tarda</i>	Gastroenterite
<i>Enterobacter</i>	Gastroenterite
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite
<i>Klebsiella</i>	Gastroenterite
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Gastroenterite
<i>Proteus mirabilis</i>	Gastroenterite
<i>Proteus vulgaris</i>	Gastroenterite
<i>Providencia</i>	Gastroenterite
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Gastroenterite
<i>Salmonella typhi</i>	Febbre tifoide
<i>Salmonella</i>	Gastroenterite
<i>Shigella dysenteriae</i>	Dissenteria
<i>Shigella</i>	Gastroenterite
<i>Streptococcus faecalis</i>	Gastroenterite
<i>Streptococcus faecium</i>	Gastroenterite
<i>Vibrio cholerae</i>	Gastroenterite
<i>Vibrio</i>	Gastroenterite
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Gastroenterite
Batteri - inalazione	
<i>Flavobacterium meningosepticum</i>	Meningite
<i>Francisella tularensis</i>	Tularemia

Segue

Continua

Tabella 1.- Patogeni acclarati od occasionalmente tali trasmissibili per contatto, ingestione o inalazione di acqua contaminata e relative patologie.

Organismo	Patologia
<i>Legionella bozemanæ</i>	Legionellosi, febbre di Pontiac
<i>Legionella pneumoniæ</i>	Legionellosi, febbre di Pontiac
<i>Legionella spp</i>	Legionellosi, febbre di Pontiac
Virus-contatto con acqua	
Adenovirus	Faringiti, infezioni dell'occhio
Virus- ingestione di acqua	
Adenovirus enterici	Enteriti
Astrovirus	Enteriti
Calicivirus	Enteriti
Coxsackievirus e echovirus	Meningiti, miocarditi
HAV e HEV	Epatiti
Norwalk virus	Enterite
Poliovirus	Poliomielite
Rotavirus	Enterite
Protozoi-contatto con acqua	
<i>Naegleria</i>	Meningoencefalite
Protozoi-ingestione di acqua	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasi
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasi
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dissenteria
<i>Cryptosporidium</i>	Dissenteria
<i>Isospora belli</i>	Coccidiosi
<i>Isospora hominis</i>	Coccidiosi

Gli ecotoni sono aree ritenive ricche di elementi e composti chimici (carbonio organico, azoto organico, fosforo organico e metalli in tracce solubili e particolati (POM: Materia Organica Particolata) che rappresentano fonti di energia per microrganismi. Qui i microrganismi si sviluppano secondo ciclicità legati alla disponibilità di un ambiente nutrizionalmente e fisicamente idoneo per loro alla replicazione. Di qui i microrganismi sono passati e passano nelle falde. Alcuni di essi sono divenuti nel tempo stanziali e tipici di una falda, altri hanno fatto e fanno comparse momentanee per essere eliminati dall'acqua sotterranea, essendo svantaggiati dalla carenza alimentare, dagli stressors fisici e dalla competizione biologica. Tra essi rientrano i germi enterici e i patogeni conclamati.

L'acqua sotterranea acquisisce la sua composizione chimica (grado di mineralizzazione) grazie all'aggressività delle acque piovane, alla solubilità delle rocce attraversate e alla lunghezza e durata del suo percorso. È a forte carica aggressiva quando attraversa suoli poco solubili e segue percorsi limitati con brevi tempi di residenza; è molto mineralizzata quando attraversa rocce solubili (come quelle carbonatiche) e/o sosta a lungo nel sottosuolo. Nel suo avanzamento nel dominio sotterraneo, oltre ad arricchirsi degli ioni che, deadsorbe dal suolo, trascina con sé le forme di vita che incontra adsorbite o adese alle particelle del terreno o libere negli

spazi interstiziali. La mobilitazione di questo "microbiota" dipende dal flusso dell'acqua (le maggiori contaminazioni biologiche nelle acque di falda si hanno dopo periodi intensamente piovosi) (De Walle *et al.*, 1980) e dallo stato di saturazione e dalla natura dei suoli. È massimo nei terreni completamente sabbiosi, dove in assenza di adesione, il movimento di batteri può essere assimilato a quello di una colonna cromatografica dove è determinante il volume del poro disponibile per il movimento cellulare e la dimensione/peso del microrganismo: le cellule più grandi si muovono più velocemente di quelle più piccole; i batteri capsulati (lisci) progrediscono più rapidamente rispetto a forme più piccole non capsulate (Leach, 1984). Nei suoli argillosi e ricchi di sostanze organiche il moto dei microrganismi è ostacolato dalla loro tendenza all'adesione sulle superfici delle particelle che sono cariche elettricamente. La ritenzione non è comunque mai assoluta, ma è influenzata dalla cinetica di percolazione dell'acqua di filtrazione dalla quantità e qualità di soluti presenti nell'acqua e dalla capacità di scambio cationico del particolato costituito dalle micelle argillose o dalla sostanza organica.

Qualità e quantità di un'acqua di falda dipendono dalla natura geologica dei suoli che attraversa. I terreni carsici assicurano una maggiore quantità ma una scarsa qualità di acqua che dipende anche dall'uso del territorio nell'area di ricarica (vulnerabilità antropica).

In genere l'acqua che s'infiltra in suoli porosi è qualitativamente migliore poichè su di essa intervengono fenomeni spesso interattivi fisico-chimici, meccanici e biologici che determinano una depurazione delle acque. L'efficacia di questo filtro naturale dipende da spessore, granulometria e composizione chimica dei terreni attraversati, ma anche dal tipo e dalla quantità dell'inquinante, dalla velocità di percolamento dell'acqua attraverso il suolo e dal grado di idratazione dell'orizzonte insaturo.

Falde site in terreni alluvionali ed alimentate da corpi idrici superficiali sono influenzate dal grado di contaminazione (anche temporalmente variabile) dell'acqua di alimentazione e dall'intensità dell'emunzione dei pozzi.

Anche se un numero maggiore di batteri si trova nella rizosfera (dove si va da 10^{11} cellule/cm³ tra 0-5 cm dalla radice a 10^{10} cellule/cm³ a 15-20 cm da essa) (Paul e Clark, 1989) il suolo non è mai asettico qualsiasi sia la profondità. I batteri, mai perfettamente quantizzabili spesso difficili da classificare tassonomicamente per la loro bassa vitalità, pleomorfismo e mutevolezza di risposte biochimiche, possono essere distinti metabolicamente in fototrofi, chemiolitotrofi ed organotrofi, questi ultimi dominanti. Molti di essi, che vanno dai procarioti agli eucarioti microscopici, hanno convergenze metaboliche, sono, cioè, in grado di svolgere la stessa funzione (ad esempio la fissazione dell'azoto atmosferico, la denitrificazione, etc.) (Bold e Wymne, 1979; Paul e Clark, 1988). I batteri ambientali sono dotati di particolari strategie di resistenza agli ambienti estremi quali la capacità ritentiva di acqua e di scambio cationico con i colloidi argillosi, la disidratazione. In tali condizioni si trasformano in forme vitali non coltivabili (Colweel *et al.*, 1985). Per questo (oltrecchè per la disomogeneità della distribuzione ambientale e per la forte aderenza al particolato biotico e abiotico) è impossibile definire completamente quale sia, sotto il profilo quantitativo e qualitativo, la microflora e microfauna del suolo. Si è valutato che meno dell'1% dei batteri, colonizzatori di tali ambienti, è coltivabile (Colweel *et al.*, 1985), anche se altri studiosi

ritengono, più ottimisticamente, che, con i metodi di crescita su piastra, si potrebbe giungere ad evidenziare fino al 50% della popolazione autoctona reale (Ferreira *et al.*, 1994).

Sulle forme coltivabili intervengono altri fattori di indeterminazione: i microrganismi soggiacciono a fenomeni di polimorfismo; non sono chiaramente distinguibili in Gram - e Gram + e sono spesso di difficile purificazione. I sistemi biochimici miniaturizzati utilizzati spesso nella clinica medica per la identificazione tassonomica di batteri e miceti sono poco correttamente applicabili in campo ambientale dove certe attività enzimatiche ritenute tipiche di alcune specie di microrganismi, sono sospese, pur non essendo mutati i geni che le codificano. Infine nei batteri ambientali "acquicoli" ed "edafici", i marcatori quali sierotipo, biotipo, lisotipo e sensibilità ad antimicrobici soggiacciono ad una elevata mutevolezza (Ducluezeau *et al.*, 1976).

I criteri tassonomici, basati fino ad oggi su reazioni enzimatiche ritenute caratterizzanti una specie, alla luce delle scoperte disvelate dalla biologia molecolare, hanno dimostrato la grossolanità dei sistemi di classificazione tradizionali: molte specie batteriche ambientali sono, in realtà, un agglomerato eterogeneo di stipiti diversi aventi basse analogie di DNA. È il caso di *Ps. fluorescens*, delle specie di *Aeromonas* e di *Vibrio* che più che unità monolitiche vanno considerate un insieme di entità genotipiche non differenziate biochimicamente.

Nel suolo i generi più frequenti *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Pseudomonas* e *Bacillus*, ma si rinvencono anche *Acinetobacter*, *Xanthomonas*, *Proteus*, *Clostridium*, *Micrococcus* (Skujins, 1989). Sono abbondanti anche attinomiceti, miceti e lieviti che svolgono un ruolo importante quali produttori di *humus*.

I batteri dominanti in acquifero sono diversi da quelli dominanti nel suolo. *Pseudomonas* è il genere numericamente più diffuso, seguito da forme assai rappresentate nel suolo quali *Arthrobacter* e *Bacillus* anche se i generi più tipicamente acquicoli sono *Aeromonas* e *Caulobacter*.

La Tabella 2 mette in evidenza la pluralità delle forme batteriche insediate in falde.

Non mancano solfatoriducenti, ferrobatteri (*Gallionella*, *Siderocapsa*, *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Ochrobium*) (Svorcova, 1971), tiobacilli, brevibatteri, corinebatteri, *Janthinobacterium*, *Hyphomicrobium* e micobatteri (Hutchinson e Ridgway, 1977). Nella maggior parte dei casi si tratta di germi diffusi nel suolo come, *Mycobacterium sphagni*, *M. gordonae*, *M. flavescens*, *M. phlei*, (Caroli *et al.*, 1985). Si possono trovare germi fitopatogeni come *Xanthomonas* e *Erwinia quercinia* accanto a saprofiti come *Serratia marcescens*, a riprova della continuità che esiste in un acquifero tra suolo insaturo e suolo saturo e tra popolazione batterica "edafica" e "idrobia". Le specie prevalenti variano da una zona all'altra della falda per cui, all'interno della vena si può avere un effetto a macchie di leopardo (Bone e Balkwill, 1988).

Tabella 2.- Procarioti rinvenibili in acque di falda (acquiferi carsici ed acque minerali).

Genere	Specie
Gram -	
<i>Achromobacter</i>	<i>calcoaceticus, anitratus, luwoffii</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>luwoffii</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>hydrophila, salmonida, caviae, sobria</i>
<i>Agrobacterium</i>	
<i>Alcaligenes</i>	<i>denitrificans, xylosoxydans, piechaudii</i>
<i>Alteromonas</i>	
<i>Arthrobacter</i>	<i>flavescens</i>
<i>Azomonas</i>	
<i>Azotobacter</i>	
<i>Caulobacter</i>	
<i>Cellulomonas</i>	
<i>Chromobacterium</i>	<i>lividum, violaceum</i>
<i>Citrobacter</i>	<i>diversus, freundii</i>
<i>Comamonas</i>	<i>acidovorans</i>
<i>Cytophaga</i>	
<i>Desulfovibrio</i>	
<i>Desulfotomaculum</i>	
<i>Enterobacter</i>	<i>agglomerans, sakazakii, cloacae, aerogenes, amnigenus</i>
<i>Erwinia</i>	<i>herbicola, quercinia</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>meningoseptium, spp.</i>
<i>Hafnia</i>	<i>alvei</i>
<i>Klebsiella</i>	<i>oxytoca, ozaenae, pneumonia, rhinoschomatis, spp.</i>
<i>Kluyvera</i>	
<i>Kurthia</i>	
<i>Lysobacter</i>	
<i>Microbacterium</i>	
<i>Moraxella</i>	
<i>Ochrobium</i>	
<i>Pasteurella</i>	
<i>Proteus</i>	
<i>Pseudomonas</i>	<i>acidovorans, aeruginosa, alcaligenes, cepacia, chlororaphis, diminuta, fluorescens, maltophila, mesophilica, multocida, paucimobilis, pickettii, pseudoalcaligenes, putida, rhulandi, rubescens, stutzeri, testoalcaligenes, testosteroni, vesicularis,</i>
<i>Rubrobacter</i>	
<i>Serratia</i>	<i>marcescens, fonticola</i>
<i>Sphaerotilus-Leptothrix</i>	
<i>Sphingobacterium</i>	<i>multivorum</i>
<i>Vibrio</i>	
<i>Xanthomonas</i>	<i>maltophila</i>
Gram +	
<i>Actinomyces</i>	
<i>Bacillus</i>	<i>carotarum, cereus var. mycoides, firmus, insolitus, licheniformis.</i>
<i>Beggiatoa</i>	
<i>Clostridium</i>	
<i>Enterococcus</i>	<i>faecium, faecalis, avium</i>

Segue

Continua

Tabella 2.- Procarioti rinvenibili in acque di falda (acquiferi carsici ed acque minerali).

Genere	Specie
Gram +	
<i>Micrococcus</i>	
<i>Nocardia</i>	
<i>Staphylococcus</i>	<i>xylosus, epidermidis, hominis, warnerii</i>
<i>Thioparus</i>	
<i>Thioxidans</i>	<i>Thiobacillus</i>

I consorzi biologici delle acque sotterranee includono anche la microflora crittogamica (Tabella 3) (LaCharme *et al.*, 1978) comprendente mixomiceti, ficomiceti, deuteromiceti, *Micelia sterilia*, la cui ricchezza e molteplicità dipende dai sistemi usati per il prelievo e l'arricchimento.

Tabella 3.- Miceti rinvenibili in acquiferi carsici anche a seguito di isolamento *in loco* in tubi di agar malto (2%) poliforati.

Ordine	Famiglia	Genere
Mixomiceti:		<i>Dictyostelium</i>
Ficomiceti:		
<i>Mucorales</i>	<i>Mucoraceae</i>	<i>Absidia, Mortiriella, Mucor, Thamnidium, Rhizopus, Zygorhynchus</i>
Deuteromiceti:		
<i>Bactridiales</i>	<i>Cephalotrichaceae</i>	<i>Scopulariopsis, Scytalidium</i>
	<i>Sporendonemataceae</i>	<i>Geomyces, Oidiodendron</i>
	<i>Sepedoniaceae</i>	<i>Chaetomium, Circinella</i>
<i>Helminthosporiales</i>	<i>Helminthosporiaceae</i>	<i>Alternaria</i>
<i>Melanconiales</i>	<i>Melancomiaceae</i>	<i>Colletotrichum</i>
<i>Moniliales</i>	<i>Botrytudaceae</i>	<i>Botrytis</i>
	<i>Dematiaceae</i>	<i>Doratomyces, Epicoccum, Gliomastix, Humicola, Thysanophora</i>
	<i>Helicosporiaceae</i>	<i>Sporothrix</i>
	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Rhinocladiella</i>
	<i>Moniliaceae</i>	<i>Aureobasidium, Cladosporium, Tritirachium, Truncatella</i>
	<i>Tarulopsidaceae</i>	<i>Rhodotorula, Ulocladium</i>
<i>Sphaeropsidales</i>	<i>Sphaeropsidaceae</i>	<i>Coniothyrium</i>
<i>Tuberculariales</i>	<i>Aspergillaceae</i>	<i>Paecilomyces, Penicillium</i>
		<i>Tuberculariaceae</i>
		<i>Acremonium, Aphanocladium, Arthrinium, Cylindrocarpon, Fusarium, Gliocladium, Phaeoramularia, Phialophora, Scytalidium, Sesquicillium, Trichoderma, Verticillium</i>
<i>Mycelia sterilia</i>		

Tra i lievitiforimi in acquiferi carsici sono stati trovati: *Candida (parapsilosis, stellatoidea, tropicalis, zeylandoidea, lustenae)*, *Cryptococcus albidus*, *Rhodotorula glutinis*, *Sporobolomyces*.

La Tabella 4 riporta i titoli microbici desunti da una serie di studi effettuati su acque di varia profondità. Con il sistema colturale potrebbe apparire l'esistenza di un gradiente che va da 10^3 - 10^7 UFC/mL nelle acque di falda superficiale a 10^1 - 10^2 UFC/mL per quelle poste ad oltre 100 m di profondità. È stata rinvenuta una popolazione microbica con titoli fino a 10^8 unità/mL fino a quasi 150 m di profondità. Ma i microrganismi si trovano anche oltre questo limite. Si deve ipotizzare che questo risultato sia un artefatto di laboratorio dovuto all'incapacità di disporre di metodi in grado di far replicare tutte le forme batteriche.

Tabella 4.- Cariche batteriche rinvenute in acquiferi (n/mL) e sedimenti (n/g) di acqua di falda (N/S) di varie profondità. La enumerazione è stata fatta con vari metodi diretti (TC = Conta Totale; VC = Conta Vitale) e indiretti.

Profondità (m)	Titolo microbico N/mL	Tipo di microrganismi osservati	Bibliografia
1-7	< 10^2 - 10^7 (VC) 10^5 - 10^7 (TC) 0,90-5,5 nmoli fosfolipidi/g 2,0-11,3 nmoli ac. muramico/g	Eterotrofi	Ladd <i>et al.</i> , 1982; Balkwill e Ghiorse, 1985
12	10^4 - 10^5 (TC)		Ventullo e Larson, 1985
32	10^6 - 10^7 (TC) 10^3 - 10^5 (VC)	Eterotrofi, funghi, protozoi ed anaerobi	Hirsch e Rades-Rohkohl, 1983
50	10^3 - 10^5 (VC)	Eterotrofi aerobi ed anaerobi, denitrificanti	Ghiorse e Wilson, 1998
90	10^3 - 10^6 (TC)	Eterotrofi e protozoi	Ghiorse e Wilson, 1998
140	10^1 - 10^2 (VC)		Hirsch e Rades-Rohkohl, 1983

I titoli batterici nell'acqua sono più bassi di quelli del biofilm di interfaccia tra zona satura e insatura, ma anche dei sedimenti (Hirsch e Rades-Rohkohl, 1988). Questi ultimi possono essere compresi, nella componente aerobia, tra 10^6 - 10^7 cellule/g di cellule totali di cui 10^6 vitali, apparentemente numeri più contenuti di quelli presenti nel suolo (10^9 cellule totali/g e 10^7 - 10^8 cellule vitali/g). Gli anaerobi possono essere più rappresentati (10^2 - 10^4 /g volte) degli aerobi (Hirsch e Rades-Rohkohl, 1988).

I microrganismi tipicamente presenti nel suolo insaturo e saturo sono lento-crescenti, pur se esistono zimogeni (in grado di demolire residui freschi) a rapida crescita. Il concetto di "rapidità" è comunque diverso da quello dei germi usualmente coltivati in laboratorio tra cui i coliformi. In falda prevale la flora psicrotrofa e psicrofila facoltativamente oligotollerante che cresce meglio sui terreni poveri (diluiti 1/10) piuttosto che su quelli standard (come il prodotto PCA)(Schmidt-Lorenz *et al.*, 1990), ma sono sempre rappresentati anche batteri mesofili (Mavridou, 1992) e termofili (questi ultimi, a bassissime concentrazioni). Gli sporigeni, contenuti entro le decine di

UFC/mL, possono raggiungere valori elevati solo in acque ipertermali o in quelle inquinate (De Los Angeles Mosso *et al.*, 1994).

Oltre alla difficoltà di campionamento per l'analisi microbiologica della popolazione di acque sotterranee non è problema di poco conto la metodologia di misure. Questa si può avvalere di conte vitali = VC (Viable Count) e di tecniche microscopiche (Conta Totale= TC) nonché di metodi indiretti basati su indicatori cellulari biochimici costitutivi (ATP, GTP, fosfolipidi, acidi muramico, etc.) o funzionali (esterasi, glucosidasi, etc.). Si può misurare il ritmo respiratorio dei microrganismi, attraverso il consumo di ossigeno e la contestuale formazione di granuli di idrato di cloralio a partire da sali di tetrazolio. Ognuna di queste metodologie ha le sue limitazioni (Balwill *et al.*, 1988). Infatti tutte le misure anche quelle mirate al metabolismo sono inefficienti perché gli organismi adattatisi a vivere in falda hanno attività vitali rallentate. La loro fisiologia si innalza estemporaneamente solo quando si determinano occasionali condizioni ambientali e nutrizionali propizie. Per ampliare le conoscenze nel settore della microbiologia delle acque di falda e per sviluppare idonei protocolli di campionamento ed analisi per indagare le componenti microbiche, virali e protozoarie di corpi idrici sotterranei è stato progettato un programma di ricerca triennale cui partecipano entità laboratoristiche periferiche distribuite in molte regioni italiane (Tabella 5).

Tabella 5.- Unità regionali impiegate nel triennale dell'Istituto Superiore di Sanità per lo studio di nuovi indicatori di qualità ambientale e di rischio sanitario in acque di falda. Sono evidenziate in grigio le falde vulnerabili, che ciclicamente danno problemi igienici.

REGIONE	Sorgenti/pozzi
Piemonte	Pozzi Novara-Treccate
Veneto	Lasen alta
	Lasen bassa
	Tegorzo
	Pozzi alluvionali acquedotto Sile
Liguria	Pozzi Torrente Cerusa
	Pozzi Torrente Leira
Emilia	Pozzi Fiume Secchia e Panaro
	Pozzi torrenti minori
	Sorgenti Appennino tosco-emiliano
Toscana	Pozzi di Tisinille
Umbria	Sorgente Argentina
	Sorgente Fosso Cortaccione
Lazio Rieti	Pozzo Madonna del Passo (Terminillo)
	Sorgente Acquagrossa
Lazio Latina	Sorgente dell'Oasi di Ninfa
Abruzzo	Sorgente Gizio I
	Sorgente Monte Giardino
	Sorgente Capo d'Acqua
Campania	Sorgente Maretto
Calabria	Sorgente Calabretta
	Sorgente Accitello
	Sorgente Accio
	Sorgente Ferrera
Sicilia Siracusa	Sorgente Paradiso
Sicilia Catania	Galleria Tavolone
	Pozzo Poggio del Monaco
	Pozzo Maletto

Bibliografia

- Balkwill D.E., Ghiorse W.C. 1985. Characterization of subsurface bacteria associated with two shallow aquifers in Oklahoma. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 580-588.
- Balkwill D.L., Leach F.R., Wilson J.T., J.F., White D.C. 1988. Equivalence of microbial biomass measures based on membrane lipid and cell wall components, adenosine triphosphate, and direct counts in subsurface aquifer sediments. *Microbial Ecol.* 16: 73-84.
- Boccia A., De Giusti M., De Vito E., 1992. Facies microbica di un'acqua minerale: studio della sua evoluzione quali-quantitativa. *Ig. Mod.* 98: 316-323.
- Bold H.C., Wynne M.J., 1979. Introduction to the Algae. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. pp. 720.
- Bone T.L., Balkwill D. L. 1988. Morphological and cultural comparison of microorganisms in surface soil and subsurface sediments at a pristine study site in Oklahoma. *Microbial Ecol.* 16:86-103.
- Caroli G., Levr, E., Armani G., Biffi-Gentili S., Molinari G., 1985. Search for acid-fast bacilli in bottled mineral water. *J. Appl. Bacteriol.*, 58:461-464.
- Chapelle F.H., Zelibor J.L., Grimes D.J., Knobel L.L. 1987. *Water Resour. Res.* 23: 1625-1632.
- Colwell R.R., Brayton P.R., Grimes D.Y., Roszak D.B., 1985. Viable but non-culturable *Vibrio cholerae* and related pathogens in the environment implications for release of genetically engineered microorganisms. *Bio/Technology* 3:317-320.
- de Los Angeles Mosso M., Del Carmen De la Rosa M., Vivar C., Del Rosario Medina M., 1994. Heterotrophic bacterial populations in the mineral waters of thermal springs in Spain. *J. Appl. Bacteriol.* 77:370-381.
- De Walle F.B., Hatlen J.B., 1980. Well water quality deterioration in Central Pierce County, Washington. *J. Am. Wat. Wks Assoc.* 72: 533-543.
- Ducluzeau R., Dufresne S., Bochand J.M., 1976. Inoculation of the digestive tract of axenic mice with the autochthonous bacteria of mineral water. *European J. Appl. Microbiol.* 2:127-134.
- Ferreira A.C., Vasconcelos Morais P., Da Costa M.S., 1994. Alterations in total bacteria, iodonitrophenyltetrazolium (INT)-positive bacteria, and heterotrophic plate counts of bottled mineral waters. *Can. J. Microbiol.*, 40:72-77.
- Ghiorse W.C., Wilson J.T. 1998. Microbial ecology of the terrestrial subsurface. In Laskin A.I. (Ed.). *Adv. Appl. Microbiol.* 33: 107-172.
- Gonzales C., Ramirez C., Pereda M., 1987. Multiplication and growth of *Pseudomonas aeruginosa* in uncarbonated natural mineral water. *Microbiol. Aliments. Nutrition* 4:111-115.
- Hirsch P., Rades-Rohkohl E. 1983. Microbial diversity in a groundwater aquifer in northern Germany. *Dev. Ind. Microbiol.* 24: 183-200. *Soc. Industrial Microb. Arlington, VA.*
- Hirsch P., Rades-Rohkohl E. 1988. Some special problems in the determination of viable counts of groundwater microorganisms. *Microbial Ecol.* 16:54-85.

Hunter P.R., 1993. The microbiology of bottled natural mineral waters. *J. Appl. Bacteriol.* 74: 345-352.

Hunter P.R., Burge S.H., 1987. The bacteriological quality of bottles natural mineral waters. *Epidemiol. and Infection* 99:439-443.

Hutchinson M., Ridgway J.W., 1977. Microbiological aspects of drinking water supplies. *Soil. Appl. Bacteriol.* 6:179-218.

Lacharme J., Seigle-Murandi F., Steiman R., Nicot J., Pinel C. 1978. L'ecosysteme karstique du "Massif de Dorvan" (Torcieu, Ain, France). La microflore hypogee: premiers resultats. 1° Congres suisse de Speleologie, Porrentruy, 15-9-1978: 63-70.

Ladd T.I., Ventullo R.M., Wallis P.M., Costerton J.W. 1982. Heterotrophic activity and biodegradation of labile and refractory compounds by groundwater and stream microbial populations. *Appl. Environ. Microbiol.* 44: 321-329.

Leach F.R., 1984. Biochemical indicators of groundwater pollution. In "Groundwater Pollution Microbiology", G. Bitton e C.P. Gerba (Eds.), Wiley, New York. pp. 303-352.

Leclerc H., 1993. Le acque minerali naturali: microbiologia e normativa. *Riv. Sc. Alimentaz.* 22: 219-239.

Manaia C.M., Nunes O.C., Morais P.V., Da Costa M.S., 1990. Heterotrophic plate counts and the isolation of bacteria from mineral waters on selective and enrichment media. *J. Appl. Bacteriol.* 69:871-876.

Mavridou A., 1992. Study of the caterial flora of a non-carbonated natural mineral water. *J. Appl. Bacteriol.* 73: 355-361.

Oetzel S., Kass W., Hahn T., Reichert B., Botzenhart K. 1991. Field experiments with microbiological tracers in a pore aquifer. *Wat. Sci. Tech.* 24: 305-308.

Paul E., Clark F., 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, San Diego. pp. 273.

Pickett M.J., Greenwood J.R. 1986. Identification of oxidase-positive, glucose-negative, motile species of nonfermentative bacilli. *J. Clin. Microbiol.* 23: 920-923.

Schmidt-Lorenz W., Bischofberger Th., Cha S.K. 1990. A simple nutrient-tolerance (NT) test for characterization of the different types of oligocarbotolerant and oligocarbophile water bacteria from non-carbonated mineral water. *Int. J. Food Microbiol.* 10: 157-170.

Skujins J. 1989. Microbial ecology of desert soils. *Adv. Microbiol. Ecol.* 7: 49-91.

Svorcova L., 1971. Occurrence of desulphurizing bacteria in mineral waters and their cultivation. *Folia Microbiol.* 16(6):510.

Ventullo R.M., Larson R.Y., 1985. Metabolic diversity and activity of heterotrophic bacteria in ground water. *Environ. Tox. Chem.* 4:751-758.

NUOVI INDICATORI DI ACQUE DI FALDA: I METAZOI

Silvio Gaiter *, Mirvana Feletti **

(*): *Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure – Dipartimento di Genova.*

(**): *Collaboratore A.R.P.A.L.*

Introduzione

Nel territorio italiano lo studio della componente biologica metazoica delle acque sotterranee è risultato fino ad oggi assai frammentario; attualmente, infatti, sono stati effettuati solo studi zoologici generali a carattere quasi esclusivamente tassonomico e geonemico e ristretti a zone circoscritte (Trieste, Udine, alcune aree dell'Italia centro – meridionale, Sardegna, etc.) o a specifici ambienti (fontanili, zone carsiche, etc.). Manca quindi una visione globale della distribuzione della fauna stigobionte presente sul nostro territorio.

Gli studi di ecologia applicata condotti in parallelo ad altre discipline (idrogeologia, geofisica, etc.) hanno permesso di evidenziare i contributi, certamente non trascurabili, che lo studio della componente metazoica è in grado di fornire riguardo alla struttura idrodinamica dei diversi acquiferi (fluttuazioni quali-quantitative stagionali, capacità di diluizione delle singole falde, valutazione spazio-temporale dei rischi igienici, etc.). In particolare, i gruppi di ricercatori francesi hanno dato un notevole contributo attraverso approcci d'insieme, così da evidenziare che nell'ambiente sotterraneo esistono biotopi e biocenosi ben caratterizzati e distinti a loro volta da habitat diversi (Creuzé des Chatelliers e Dole-Olivier 1991; Mathieu et al. 1991; Plenet e Gibert 1993).

Contrariamente a quanto avviene per le acque superficiali, dove la conoscenza approfondita della struttura della comunità macrobentonica ha consentito la formulazione di indici di qualità dei corsi d'acqua validi per tutto il territorio italiano, non sembra al momento possibile, per le acque sotterranee, un'analoga standardizzazione; tuttavia, le informazioni che si possono ricavare con lo studio dei metazoi presenti nei diversi acquiferi e nelle zone di transizione tra mondo ipogeo ed epigeo definite ecotoni (es. sorgenti), sono di notevole interesse da un punto di vista ambientale e consentono di trarre precisi elementi di valutazione ai fini preventivi sulle risorse idriche sotterranee destinate al consumo umano.

Ruolo e significato dei singoli taxa e delle biocenosi

Le singole specie o, sovente, anche i taxa di ordine superiore (genere o famiglia) possono fornire utili indicazioni sulle condizioni ambientali e igienico - sanitarie di un determinato sistema sotterraneo.

Nella Tabella I vengono riportate le possibili informazioni che singoli organismi, scelti come indicatori, potrebbero fornire sia da un punto di vista ambientale, sia igienico – sanitario.

Tabella 1.— Possibili informazioni di carattere ambientale e igienico-sanitario fornite dai singoli taxa.

Ambito di interesse	Caratteristiche delle specie indicatrici
Ambientale + Igienico-sanitario	Indicatori di provenienza delle acque
	Indicatori di pregiudizio della risorsa
	Indicatori di situazioni di arricchimento delle acque
Igienico-sanitario	Indicatori di scarsa efficacia degli impianti di trattamento
	Indicatori di rischio igienico - sanitario
	Eventuale ruolo di vettori di patogeni
	Indicatori di violabilità dei manufatti dall'esterno
Ambientale	Peculiarità tassonomica
	Peculiarità geonemica

Una delle più significative e immediate informazioni ottenibili è senza dubbio quella sull'origine delle acque; gli indicatori di provenienza possono infatti fornire informazioni certe sul tipo di acque investigate (ipogee, superficiali o miste). Ulteriori approfondimenti conoscitivi sulla distribuzione dei singoli taxa consentiranno di caratterizzare e quindi indicare la tipologia della falda.

Gli organismi ipogei mostrano diversi gradi di tolleranza a variazioni ambientali o a fenomeni inquinanti sebbene siano per la maggior parte specie stenoece; variazioni sulla loro presenza e densità possono quindi indicare eventi inquinanti o un eccessivo arricchimento organico (ritrovamento di specie saprobie) che pregiudicano le caratteristiche della risorsa.

I singoli taxa possono avere un interesse igienico-sanitario segnalando una scarsa efficacia degli impianti di trattamento delle acque quando superano la barriera della potabilizzazione. La loro presenza inoltre potrebbe essere correlata ad organismi patogeni e, in tal caso, acquisirebbero il significato di indicatori di rischio, consentendo così il completamento dei parametri C₄ del DPR 236/88.

Non si deve trascurare il ruolo dei metazoi come potenziali vettori di organismi patogeni, in seguito ad occasionale colonizzazione del sistema acquedotto. È stato osservato che alcuni batteri sono in grado di aderire all'esoscheletro chitinoso di alcune specie di invertebrati di acque superficiali. È stato accertato che alcuni microrganismi patogeni per l'uomo, rinvenibili occasionalmente nelle acque, possono penetrare nell'intestino di invertebrati e grazie ad essi superare i trattamenti di potabilizzazione, così da contaminare le acque erogate. D'altra parte, sembra che il loro ruolo di vettori sia ostacolato dall'attività della flora microbica intestinale autoctona che si trova in forte competizione con i microrganismi patogeni e/o saprofiti per l'uomo determinando quindi un effetto battericida (Valembois *et al.*, 1982; Levy *et al.*, 1984; Baldini *et al.*, 1992).

La presenza di alcuni taxa di origine epigea nelle opere di captazione, come ad esempio la colonizzazione da parte di larve di insetti, può essere indice di violabilità dei manufatti stessi; tali elementi di analisi risultano importanti nella valutazione della sicurezza igienica delle opere di presa.

Infine, la conoscenza dei singoli taxa, tenuto conto delle scarse informazioni sull'ecosistema sotterraneo, è fondamentale per comprendere la distribuzione biogeografica e ottenere ulteriori informazioni sulla biodiversità.

Importanti informazioni di carattere ambientale ed igienico-sanitario possono essere ottenute dallo studio delle biocenosi sotterranee, come evidenziato in Tabella 2.

Tabella 2. - Informazioni di carattere ambientale e igienico-sanitario ottenibili dall'analisi delle comunità biotiche.

Ambito di interesse	Informazioni ottenibili dallo studio delle biocenosi
Ambientale + Igienico-sanitario	Ampiezza e profondità della falda
	Presenza di inquinanti e studio dell'evoluzione del fenomeno
Igienico-sanitario	Vulnerabilità dell'ultimo tratto della falda
	Potenzialità di colonizzazione di reti idriche
Ambientale	Classificazione della "qualità ambientale delle acque"
	Pianificazione delle risorse sotterranee

La quantità e la ricchezza di taxa sotterranei rappresentano utili informazioni sulle caratteristiche di una falda, in quanto questi due fattori sono direttamente correlati con le dimensioni e la profondità della falda stessa. L'esempio schematico riportato in Figura 1, relativo al complesso calcareo "M. Antola" (Bodon e Gaiter 1992), mostra come il numero di specie stigobionti aumenti in relazione alle dimensioni e alla profondità di scorrimento della falda. Mentre nella sorgente posta a quota più elevata (S1), alimentata da una falda quantitativamente più modesta, compare solo il genere *Niphargus*, in quella più ampia e profonda (S4) si rinviene il maggior numero di specie ipogee. Variazioni sulla composizione specifica della comunità biotica ipogea (comparsa di specie tolleranti, rarefazione, scomparsa di specie più sensibili, reperimento di tanatocenosi di creno- stigobionti, etc.) possono essere correlate a situazioni di pregiudizio della risorsa in seguito ad eventi inquinanti o ad altri fenomeni turbativi.

Il monitoraggio anche biologico della falda, attraverso la scelta di significative stazioni di controllo (pozzi), oltre a permettere un costante e preventivo aggiornamento sullo stato di "salute" delle acque, fornisce indicazioni, integrazioni e verifica di altri parametri, sull'evoluzione di fenomeni inquinanti e sui successivi interventi di bonifica.

Analogamente, la composizione qualitativa e quantitativa delle biocenosi sotterranee fornisce indicazioni sul grado di vulnerabilità delle sorgenti. Eventi di contaminazione si verificano, per la quasi totalità dei casi, nel tratto compreso tra l'ultimo tratto di scorrimento (sistema naturale) ed il primo momento captativo (sistema artificiale), dove acque il più delle volte depurate naturalmente, perché provenienti da acquiferi sotterranei, vengono contaminate microbiologicamente da quelle superficiali che, dopo aver dilavato la superficie dei terreni circostanti, si infiltrano rapidamente nelle coltri detritiche prossime all'opera di presa. Nella valutazione del rischio igienico di captazioni da sorgenti, allo studio della componente creno- stigobionte viene associata

l'analisi sulla componente organica del sedimento sorgivo (Bodon e Gaiter 1995; Gaiter e Baldini 1995; Gaiter et al. 1995).

La conoscenza della biocenosi (struttura e abbondanza) dell'acquifero alimentante un acquedotto permette anche di trarre notevoli informazioni preventive sulle potenzialità di colonizzazione della rete idrica.

Infine, la conoscenza delle comunità biotiche ipogee contribuisce, insieme ad altri parametri chimico – fisici, alla classificazione della qualità ambientale delle acque sotterranee, all'individuazione di acquiferi di particolare pregio naturale e valore economico, alla pianificazione e razionalizzazione delle risorse.

Possibili comparti investigabili

Come già accennato in precedenza, esistono diverse comunità a seconda del tipo di falda, dove le differenze biotiche ed abiotiche presenti giocano un ruolo significativo sulla loro caratterizzazione. È stato osservato che ad una distinzione fisica delle acque sotterranee (tipologia dell'acquifero), sembra corrispondere una ben definita differenziazione degli ambienti colonizzati dagli organismi viventi o biotopi che, a loro volta, possono comprendere differenti habitat (Tabella 3).

Tabella 3.– Elenco dei diversi comparti investigabili: sotterranei, sorgivi ed artificiali.

Comparti	Caratterizzazione fisica	Caratterizzazione biologica
Falda freatica	Acquifero interstiziale	Ambiente freatico
Subalveo della falda freatica	Acquifero interstiziale	Ambiente iporreico
Falda profonda	Acquifero interstiziale	Ambiente profondo
Fontanile	Ecotono: acquifero interstiziale - acque superficiali	Ambiente crenobio
Sorgente in rocce fessurate	Ecotono: acquifero fessurato - acque superficiali	Ambiente crenobio
Sorgente in rocce carsiche	Ecotono: acquifero carsico - acque superficiali	Ambiente crenobio
Falda montana in rocce fessurate	Acquifero fessurato	Ambiente fessurato
Falda montana in rocce carsiche	Acquifero carsico	Ambiente carsico
Opere di acquedotto prima del trattamento	Vario	Ambiente artificiale
Opere di acquedotto dopo il trattamento	Vario	Ambiente artificiale

Tra gli ambienti sotterranei interstiziali o porosi, caratterizzati da acquiferi che presentano interstizi e fessure di dimensioni molto ridotte, la falda freatica non in diretto contatto con il corso d'acqua, costituisce l'*ambiente freatico*; diversamente la zona di subalveo, direttamente a contatto con il corpo idrico adiacente, viene definita *ambiente*

iporreico. Un'altra particolare tipologia di acquifero interstiziale è rappresentato dalle falde profonde, sino ad ora poco conosciute perché non investigate.

Fontanili (o risorgive) e sorgenti costituiscono particolari ambienti denominati *ecotoni*, ossia zone di transizione tra l'ambiente sotterraneo e quello superficiale, caratterizzati da un'intensa attività microbiologica e, in genere, da un'elevata colonizzazione da parte dei metazoi. Per quanto riguarda le sorgenti, possono essere individuati habitat diversi a seconda delle caratteristiche dell'ultimo tratto della falda ipogea (estensione, portata, etc.) e di quelle della polla sorgiva (eucrenal); in particolare, nel caso di sorgenti captate, la realizzazione di opere di presa determina la colonizzazione anche di habitat artificiali (vasche di arrivo, di sedimentazione etc.).

Le falde montane possono essere localizzate in acquiferi carsici o fessurati che si distinguono in base alla dimensione delle cavità all'interno dell'acquifero stesso. Negli acquiferi carsici, le fratture e le fessurazioni presenti nel suolo formano cavità anche molto grandi, ove, talvolta, l'acqua scorre copiosamente; tali ambienti sono caratterizzati da uno scarso potere di ritenzione e filtrazione delle acque. Gli acquiferi fessurati presentano, in genere, fessure e fratture di dimensioni intermedie tra gli ambienti interstiziali e quelli carsici.

Si può quindi comprendere come le differenze strutturali dei diversi acquiferi risultino peculiari nell'aver condizionato le caratteristiche anatomiche, fisiologiche e le dimensioni degli organismi delle popolazioni di metazoi.

Infine, occorre menzionare anche alcuni ambienti artificiali come le reti e altre opere di acquedotto (serbatoi di compenso, di accumulo, vasche di trattamento, etc.), dove gli organismi veicolati dalle acque possono penetrarvi all'interno e, talvolta, colonizzare attivamente questi particolari ambienti.

La fauna di acque sotterranee e di transizione

Le conoscenze acquisite non consentono di avere una visione completa sulla presenza e distribuzione di tutte le componenti faunistiche presenti sul territorio italiano. Tuttavia, è già possibile delineare un quadro, rappresentato nelle Tabelle 4a e 4b, dei gruppi sistematici che possono essere rinvenuti in falda e nelle sorgenti (Baldini e Gaiter 1990; Bodon e Gaiter 1989, 1992, 1995; Feletti e Gaiter 1996):

Tabella 4a.– Elenco dei principali gruppi tassonomici stigobionti e crenobionti italiani conosciuti, con riportate alcune famiglie e generi.

Phylum	Classe	Ordine	Famiglia	Genere
Platelminti	Turbellari	Seriati	Dugesidi	<i>Dugesia</i> <i>Crenobia</i> <i>Phagocata</i>
			Planaridi	<i>Atrioplanaria</i> <i>Polycelis</i>
			Dendrocelidi	<i>Dendrocoelum</i>
Rotiferi				
Gastrotrichi				
Nematodi				
Anellidi	Policheti	Sabellidi	Serpulidi	<i>Marifugia</i>
	Oligocheti	Lumbriculidi	Lumbriculidi	<i>Trichodrilus</i>
		Haplotaxidi	Tubificidi	<i>Sketodrilus</i> <i>Haber</i>
	Irudinei	Faringobdellidi	Erpobdellidi	<i>Trocheta</i>

Tabella 4b.- Elenco dei principali gruppi tassonomici stigobionti e crenobionti italiani conosciuti, con riportate alcune famiglie e generi.

Phylum	Classe	Sottoclasse	Ordine	Famiglia	Genere
Molluschi	Gasteropodi	Prosobranchi	Neotenioglossi	Hydrobiidi	<i>Bythinella</i>
					<i>Graziana</i>
					<i>Sadleriana</i>
					<i>Belgrandia</i>
					<i>Pauluccinella</i>
					<i>Avenionia</i>
					<i>Hauffenia</i>
					<i>Islamia</i>
					<i>Iglica</i>
					<i>Alzoniella</i>
					<i>Paladilhiopsis</i>
Phylum	Subphylum	Classe	Ordine	Famiglia	Genere
Artropodi	Crosteacei	Malacostraci	Batinellacei	Batinellidi	<i>Bathynella</i>
			Thermosbenacei	Monodellidi	<i>Monodella</i> <i>Tethysbaena</i>
			Misidacei	Lepidomisidi	<i>Spelaemysis</i>
				Stygiomisidi	<i>Stygiomysis</i>
			Isopodi	Sphaeromatidi	<i>Monolistra</i>
				Asellidi	<i>Proasellus</i>
				Stenasellidi	<i>Stenasellus</i>
			Anfipodi	Gammaridi	<i>Gammarus</i>
					<i>Echinogammarus</i> <i>Ivanella</i>
				Niphargidi	<i>Niphargus</i>
				Melitidi	<i>Pseudoniphargus</i>
				Hadziidi	<i>Hadzia</i>
		Decapodi	Salentinellidi	<i>Salentinella</i>	
			Atidi	<i>Troglocaris</i>	
			Palemonidi	<i>Typhlocaris</i>	
		Copepodi	Calanoidi	Diaptomidi	<i>Troglodiptomus</i>
			Ciclopoidi	Ciclopidi	<i>Acanthocyclops</i>
					<i>Diacyclops</i>
					<i>Eucyclops</i>
					<i>Metacyclops</i> <i>Speocyclops</i>
			Ameiridi	<i>Nitocrella</i>	
			Harpacticoidi	Cantocamptidi	<i>Elaphoidella</i> <i>Bryocamptus</i>
		Parastenocaridi		<i>Parastenocaris</i>	
Branchiopodi	Cladoceri				
Ostracodi	Podocopi	Candonidi	<i>Candona</i> <i>Cypria</i>		
	Aracnidi	(Sottoclasse) Acari			
	Insetti	Tricotteri	Limnephilidi	<i>Monocentra</i>	
Tardigradi					

I gruppi riportati nella Tabella 4a e 4b presentano diversa rilevanza e frequenza. Alcuni generi infatti possono risultare piuttosto rari e quindi poco rappresentativi; altri invece, più diffusi e presenti anche in acquiferi tipologicamente differenti, potrebbero in futuro assumere il significato di veri e propri indicatori di qualità delle falde.

La classificazione sopra riportata si riferisce agli organismi stigobionti e crenobionti, ossia gli abitanti tipici degli acquiferi sotterranei e delle sorgenti. Gli organismi sotterranei possono inoltre essere suddivisi, a seconda delle diverse classi dimensionali, in macrobenthos (> 1 mm), meiobenthos (0,5 – 1 mm) e microbenthos (<0,5 mm). Tale distinzione risulta importante in quanto nei terreni porosi si rinvencono soprattutto organismi appartenenti al micro- e meiobenthos, mentre negli acquiferi fessurati e carsici, oltre a queste due componenti, è ben rappresentato anche il macrobenthos.

La comunità micro- e meiobentonica dei metazoi è composta in prevalenza da Rotiferi, Nematodi, Gastrotrichi, Tardigradi, Crostacei Copepodi (soprattutto Ciclopoidi e Harpacticoidi), Ostracodi ed Acari. Caratteristiche generali degli organismi meglio adattati, che costituiscono la fauna interstiziale, sono le dimensioni ridotte, l'allungamento del corpo e delle appendici sensoriali, la depigmentazione e l'anoftalmia. Tra il macrobenthos, i gruppi rinvenuti negli ambienti studiati appartengono prevalentemente ai Turbellari, Oligocheti, Irudinei, Molluschi, Crostacei Anfipodi e Isopodi. Ai Dugesidi appartengono specie sia stigobionti sia crenobionti; la loro distribuzione è varia, ed alcuni generi sono tipici di acque fredde, soprattutto delle zone alpine. Tra i Policheti, sembra presente il solo genere *Marifugia* del Carso triestino. Gli Oligocheti, piuttosto frequenti in acque sotterranee e sorgive, risultano ancora poco studiati da un punto di vista tassonomico ed autoecologico; tuttavia, si ipotizza l'insorgenza di eventi inquinanti e di arricchimento organico della falda nel caso in cui questi organismi costituiscono il gruppo faunistico dominante. Gli Irudinei si rinvencono più frequentemente in sorgenti (gen. *Trocheta*), sebbene colonizzino anche ambienti tipicamente sotterranei. I Molluschi, presenti quasi esclusivamente con la famiglia Hydrobiidae, sono abbastanza frequenti e annoverano specie stigobionti e crenobionti; sono distribuiti con taxa differenti su quasi tutto il territorio italiano e sembrano particolarmente sensibili a fenomeni di alterazione delle acque (Pezzoli 1984). Tra i Crostacei, gli Ostracodi ed i Cladoceri sono ancora poco conosciuti; per quanto riguarda gli Isopodi, alcuni generi mostrano una distribuzione piuttosto ampia (es. genere *Proasellus*), altri appaiono confinati in particolari zone del nord-est italiano. Molto più conosciuti risultano gli Anfipodi, ampiamente diffusi in sorgenti ed acquiferi sotterranei e ben rappresentati dal genere *Niphargus*. Tra i Decapodi, sono note attualmente solo due specie presenti rispettivamente nel Carso e nella Penisola salentina.

Per quanto riguarda gli Insetti, di cui si conoscono poche specie che frequentano l'ambiente ipogeo, ad esempio, il Tricottero *Monocentra lepidottera* (rinvenuto in alcuni corsi d'acqua all'interno di grotte liguri), il loro ritrovamento allo stadio larvale, soprattutto nelle sorgenti, potrebbe indicare un'alimentazione della falda sotterranea da parte di acque superficiali oppure evidenziare una colonizzazione dall'esterno in seguito alla deposizione delle uova da parte di individui adulti alati. La presenza di larve di insetti, frequenti anche in sorgenti captate ma relativamente poco protette, apre un

ulteriore campo di studio sulla componente crenofila di questo importante classe di Artropodi tipica delle acque superficiali.

Metodologie di campionamento

La grande varietà degli ambienti ipogei e le loro diverse caratteristiche fisiche, geologiche e idrologiche comportano l'utilizzo di specifiche e differenziate metodologie di campionamento evidenziate nella Tabella 5 (Creuzé des Chatelliers e Dole-Olivier 1991; Mathieu *et al.* 1991; Plenet et Gibert 1993; Feletti e Gaiter 1996).

Tabella 5.– Strumentazione necessaria per le diverse tipologie di ambienti sotterranei.

Ambiente da campionare	Strumentazione e metodi di prelievo
Pozzi che attingono da falde freatiche	- Sonda collegata a pompa a vuoto - Retino Cvektov
Sorgenti captate e non captate	- Retini con rete a maglie diverse - Substrati fissi - Sonde flessibili
Acque iporreiche o di subalveo	- Metodo Karaman – Chappuis - Pompa Norton
Grotte con scorrimenti carsici	- Retini immanicati
Opere di acquedotto (vasche, serbatoi, bracci terminali delle reti)	- Retinate e raschiamento sul fondo - Filtrazione dallo scarico degli impianti

Le metodologie di campionamento sono fortemente condizionate da fattori ambientali e biologici.

In primo luogo occorre tenere conto della tipologia dell'ambiente da campionare (pozzi, sorgenti, falde freatiche, acquiferi fessurati e carsici, etc.); inoltre, diverse sono le metodiche da applicare nel caso vengano prelevati campioni contenenti solo acqua o acqua e sedimento.

Altrettanto importante risulta l'accessibilità dell'ambiente, che condiziona l'utilizzo di specifiche strumentazioni in grado di raggiungere il sito da campionare e di conseguenza può rappresentare un fattore limitante.

Deve inoltre essere considerata la taglia degli organismi che vengono reperiti; in particolare, per i prelievi di micro- e meiobenthos saranno necessari retini a maglie, in genere, di 100 μm mentre per il macrobenthos verranno utilizzati retini a maglie di 500 μm . Occorre inoltre utilizzare strumenti in grado di catturare gli organismi senza danneggiarli.

Pertanto, prima di ogni singola campagna di campionamento, risulta di fondamentale importanza valutare in modo accurato la tecnica più opportuna da adottare.

Analisi e conservazione dei campioni

Di seguito vengono schematicamente riportate le fasi di studio di campioni biologici prelevati da sorgenti e da pozzi.

IN SITU

1. **Compilazione delle informazioni necessarie:**
rilevazione dei dati di campo; dei parametri di contorno; descrizione dei siti investigati. Compilazione delle apposite schede per sorgenti o per pozzi.
2. **Raccolta e conservazione del campione prelevato:**
lavaggio in controcorrente del sedimento raccolto (sorgenti); filtrazione del substrato aspirato con retini a maglie di 500 μm , 100 μm o 60 μm (per i campionamenti in falda); conservazione separata delle diverse frazioni in barattoli contenenti alcool o altro fissativo (formalina neutralizzata al 4%).

IN LABORATORIO

3. **Classificazione e conteggio degli organismi:**
separazione delle diverse frazioni del sedimento (sorgenti) e valutazione volumetrica attraverso setacci e bicchieri graduati; osservazione del sedimento raccolto con microscopio binoculare (ingrandimenti da 6x a 50x) con l'ausilio, per la manipolazione degli organismi, di aghi montati, pinzette da orologio n. 5, pinzette flessibili da entomologo; caratterizzazione tassonomica, fino a livello richiesto, tramite specifiche guide di riconoscimento e chiavi sistematiche; conteggio e trascrizione dei risultati su apposita scheda contenente la lista faunistica.
4. **Conservazione degli organismi per approfondimento tassonomico:**
conservazione dei campioni biologici in alcool o in opportuno fissativo; separazione in piccoli contenitori di plastica (es. tipo "Eppendorf"); eventuale invio di organismi ad esperti per ulteriore approfondimento tassonomico (a livello di specie).

Conclusioni

Una serie di indagini conoscitive volte a caratterizzare i differenti acquiferi sotterranei e gli ambienti di transizione presenti nelle diverse regioni italiane potrebbe rappresentare un ulteriore passo verso lo studio sulle comunità metazoiche stigobionti e crenobionti presenti nel nostro territorio.

Nella Figura 2 vengono schematicamente raffigurate le diverse tipologie di acquifero presenti nel territorio italiano. La cartina, ovviamente, non è in grado di evidenziare in modo dettagliato le diverse realtà locali (ad esempio, gli acquiferi interstiziali non sono presenti solo nelle grandi piane alluvionali ma anche in più limitate piane di valli), ma risulta utile per fornire un quadro d'insieme sulla complessità e varietà della distribuzione delle risorse idriche sotterranee italiane. Risulta quindi di fondamentale

importanza approfondire le conoscenze su questo specifico ambiente, comprenderne meglio la qualità e la vulnerabilità in relazione ad una corretta gestione e sfruttamento.

Sulla base di quanto detto e delle conoscenze già acquisite, può essere svolta una prima indagine conoscitiva della fauna delle acque ipogee, da effettuare nell'ambito del programma triennale di ricerca promosso dall'Istituto Superiore di Sanità ISS ACQUE DI FALDA.

Le campagne di indagine promosse in regioni o aree che sono state soggette agli ultimi eventi glaciali (Pleistocene), possono fornire indicazioni sugli effetti distruttivi che questi eventi hanno avuto sulla fauna, mediante la delimitazione degli areali di distribuzione, ed evidenziare eventuali colonizzazioni secondarie da parte di specifici taxa.

In una prima fase di lavoro si propone di iniziare l'indagine a partire dalle seguenti tipologie di sistemi sotterranei:

Ambienti interstiziali:

- falda freatica da pozzi;
- falda freatica mediante sondaggi da materasso alluvionale;
- fontanili.

Ambienti fessurati:

- falde in rocce fessurate da sorgenti captate;
- falde in rocce fessurate da sorgenti non captate;
- falde in rocce carsiche da sorgenti captate;
- falde in rocce carsiche da sorgenti non captate;
- falde in rocce carsiche da grotte.

Ambienti artificiali:

- manufatti di acquedotto (prima e dopo la potabilizzazione);
- reti di acquedotto (prima e dopo la potabilizzazione).

Parallelamente, sarebbe necessaria l'acquisizione dei dati esistenti sulla presenza e distribuzione del micro- e meiobenthos e integrare le conoscenze sulla fauna macrobentonica italiana, sintetizzata in Bodon e Gaiter 1989 e Pesce 1995, in modo da ottenere informazioni sullo stato dell'arte inerente i metazoi.

L'attivazione delle due iniziative, bibliografica e investigativa, strettamente correlate tra loro, ci auguriamo consentano di trarre un primo bilancio della realtà italiana, così da ottenere una iniziale ricaduta positiva a livello pratico, ad esempio con il miglioramento delle tecniche di indagine e una prima serie di indicazioni applicative di interesse igienico - sanitario e ambientale.

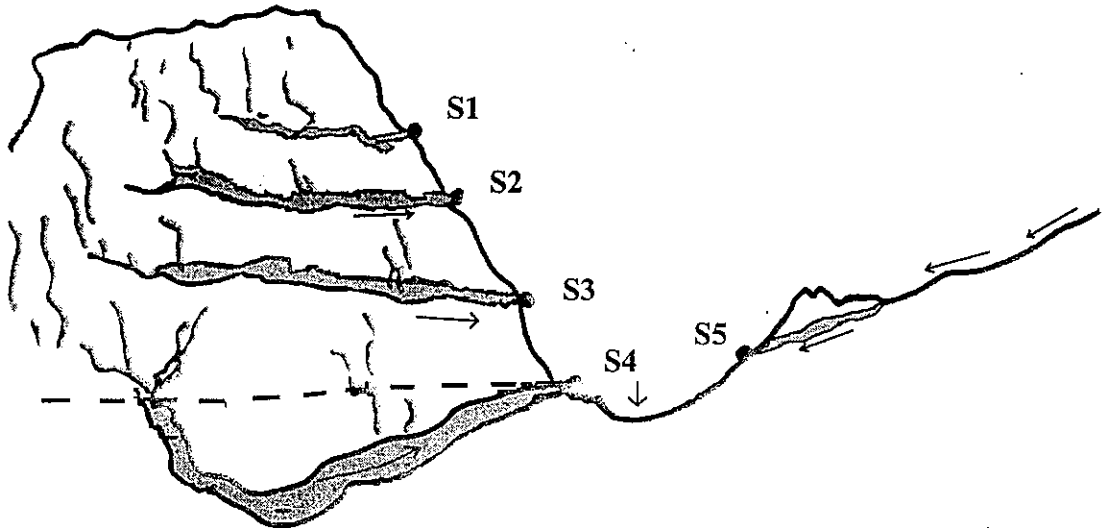


Figura 1.- Esempio di correlazione tra dimensione della falda e profondità di scorrimento e presenza di specie stigobionti. S1-4 = sorgenti alimentate da acque sotterranee; S5 = sorgente alimentata esclusivamente da acque superficiali.

S1: *Niphargus*

S2: *Niphargus* + *Bythinella*

S3: *Niphargus* + *Bythinella* + *Avenionia*

S4: *Niphargus* + *Proasellus* + *Bythinella* + *Avenionia* + *Pezzolia*

S5: stigobionti assenti; presenza *Ephemeroptera*.

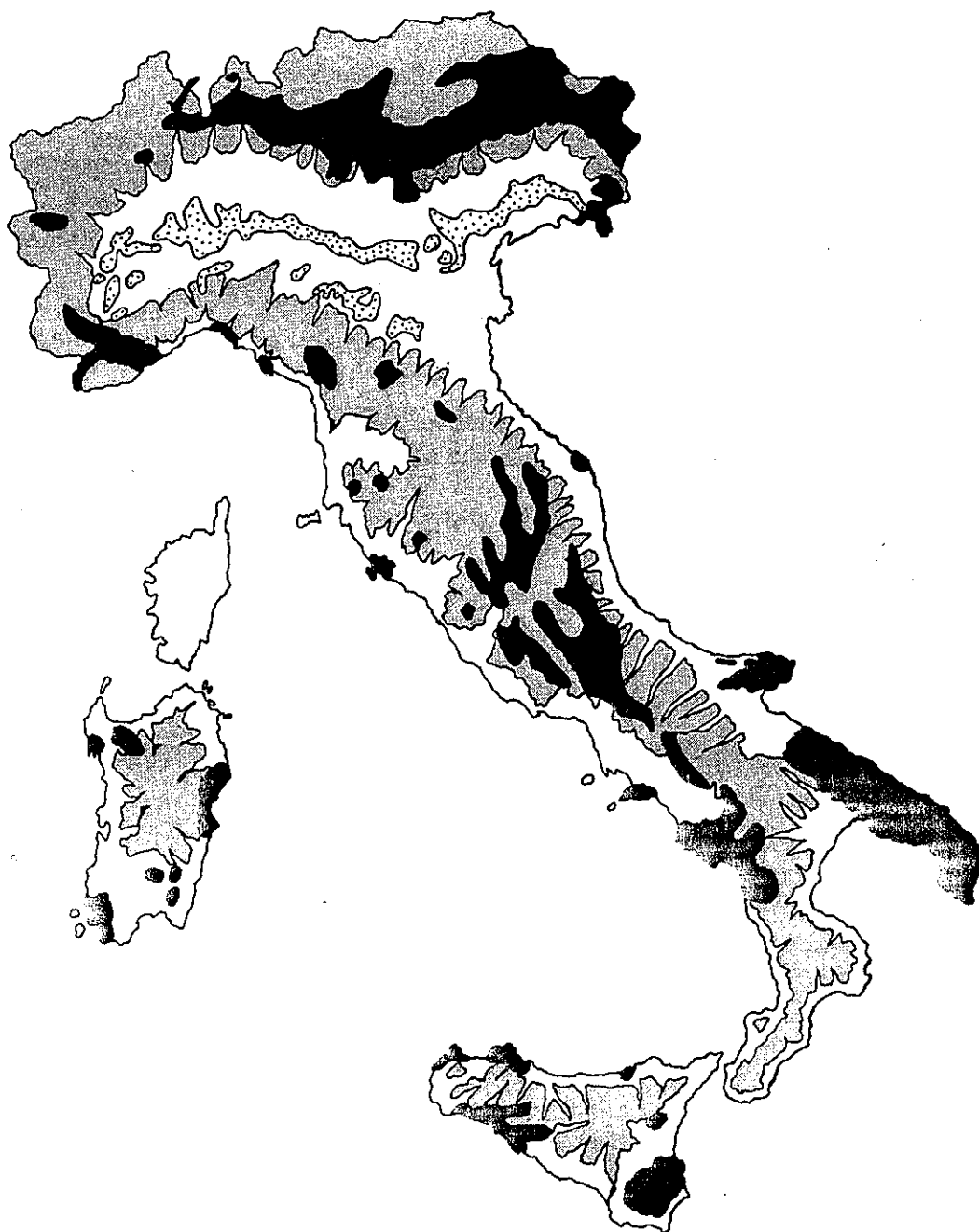


Figura 2.- *Differenti tipologie di acquiferi nel territorio italiano.*
Area grigio scuro: acquiferi carsici;
Area grigio chiaro: acquiferi fessurati;
Area bianca: acquiferi interstiziali;
Area punteggiata: zona dei fontanili.

Bibliografia

Baldini I., Di Ponzio, A., Gaiter, S. 1992. Contributi batterici apportati dagli organismi creno-stigobionti alle acque sorgive - *Tecnica Sanitaria*, 30 (5): 341-346.

Baldini I., Gaiter, S. 1990. Possibili metodologie di valutazione della "vulnerabilità" delle acque sorgive e proposte preliminari per la formulazione di "gradienti di rischio igienico". *Meeting internazionale sulle acque minerali naturali*, Pisa 23-25/5/1990, *Rivista Italiana d'Igiene*, L (5-6): 232-246.

Bodon M., Gaiter, S. 1989. Considerazioni sul popolamento macrobentonico delle acque sorgive. *Biologia Ambientale, Bollettino C.I.S.B.A.*, 9: 5-12.

Bodon M., Gaiter, S. 1992. *Regione Piemonte, Assessorato alla Sanità: Nuovi criteri di valutazione, basati sulla componente biologica, sulle captazioni di acque destinate al consumo umano*, Torino, 30 ottobre. Inedito.

Bodon M., Gaiter, S. 1995. Nuovi criteri di valutazione, basati sulla componente biologica, per le captazioni di acque destinate al consumo umano. *Biologia Ambientale, Bollettino C.I.S.B.A.*, 1: 5-17.

Creuzé des Chatelliers M., Dole-Olivier M.J. 1991. Limites d'utilisation du sondage de type Bou-Rouch pour la capture de la faune interstitielle. (I) Traçage chimique au chlorure de sodium. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312 (Série III): 671-676.

Feletti M., Gaiter S. 1996. Appunti sulle comunità biologiche delle acque sotterranee. *Biologia Ambientale, Bollettino C.I.S.B.A.*, 4: 5-20.

Gaiter S., Baldini, E. 1995. I. Metodi investigativi e analitici atti a valutare lo stato di protezione e i rischi igienici di piccoli acquedotti approvvigionati da acquiferi montani nell'Appennino ligure: impostazione e criteri operativi. *Atti 2° Conv. Naz. Prot. Gest. Acque Sott.* Modena, Maggio 369-383.

Gaiter S., Chiappara G.M., Baldini, I., Bertolotto R.M., Travers P. 1995. Metodi investigativi e analitici atti a valutare lo stato di protezione e i rischi igienici di piccoli acquedotti approvvigionati da acquiferi montani: applicazione alla situazione concreta di un piccolo comune (Maissana, La Spezia). *Atti 2° Conv. Naz. Prot. Gest. Acque Sott.* Modena Maggio: 385-395.

Levy R.V., Cheetam R.D., Davis J., Winr G., Hart F.L., 1984. Novel method for studying the public health significance of macroinvertebrates occurring in potable water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 47: 889-894.

Mathieu J., Marmorier P., Laurent R., Martin D., 1991. Récolte du matériel biologique aquatique souterrain et stratégie d'échantillonnage. *Hydrogéologie*, 3: 187-200.

Pesce G.L., 1995. The groundwater fauna of Italy: a synthesis. *Stygologia*. 1995, 1: 129-159.

Pezzoli E. 1984. Fenomeni geomorfologici e faunistici di Valle Imagna. C.A.I., Sez. Bovisio-Masciago, 48 p.

Plenet S., Gibert J. Etude du devenir des pollutions métallique à l'interface cours d'eau/nappe fluviale. *Travaux de l'équipe "Hydrobiologie et Ecologie des Eaux Souterraines"*. U. A. CNRS 1451 - *Ecologie des Eaux Douces et des Grands Fleuves*.

Valembos P., Roch P., Lasegnes M., Cassand P., 1982. Antibacterial activity of the hemolytic system for the earthworm *Eisenia faetida andrei*. *J. Invert. Pathol.*, 40: 21-29.

PROPOSTE DI AGGIORNAMENTO BIBLIOGRAFICO

Maria Cristina Calicchia*, Francesca Anna Aulicino, Laura Volterra**

* *Biblioteca, Istituto Superiore di Sanità (ISS)*, ***Laboratorio di Igiene Ambientale, ISS*

L'utilizzo dell'informazione scientifica e l'affidabilità dei mezzi per comunicarla sono di straordinaria importanza e, oggi, tali concetti sono talmente ovvii da apparire banali. Ciò che si vuole qui sottolineare, dunque, è il valore aggiunto che essi assumono per il fatto che costituiscono la premessa per ogni azione efficace e che non si può lavorare senza un adeguato aggiornamento delle conoscenze, per le capacità di coordinamento e di sviluppo che ne derivano.

Tenendo presente gli aspetti sopra accennati il presente lavoro si propone di presentare, nella forma più esaustiva possibile, una rassegna degli strumenti di informazione e aggiornamento bibliografico in materia di ambiente in generale e di contaminazione microbiologica degli ambienti idrici, in particolare.

L'intervento si dividerà sostanzialmente in due parti per meglio illustrare da una parte le problematiche e dall'altra le informazioni e i dati, in un certo senso, le prospettive inerenti all'argomento oggetto di riflessione, così come segue:

- individuazione delle problematiche per la ricerca e il recupero dell'informazione:
esplosione delle informazioni
accesso alle fonti
terminologia
- ambito dei dati: italiano, europeo, internazionale

Si precisa che le fonti utilizzate sono quelle disponibili presso la Biblioteca e presso il Servizio di Documentazione dell'Istituto Superiore di Sanità, da sempre impegnati nel supporto tecnico-scientifico allo sviluppo delle conoscenze, per un miglioramento di qualità dei servizi prestati dalla comunità scientifica nazionale.

Il primo obiettivo specifico scaturisce dal fatto che non dobbiamo dimenticare che pur sentendoci padroni del tema da un punto di vista professionale, la ricerca bibliografica finalizzata al recupero dell'informazione costituisce uno specifico campo d'intervento di figure professionali quali bibliotecari e documentalisti e quindi è necessario, ove possibile, utilizzare la loro esperienza o meglio ancora utilizzarla in sinergia con la nostra. In particolare, però, anche per la diversità geografica che contraddistingue le azioni promosse dall'ISS in materia sia di formazione che di aggiornamento professionale, al momento, non abbiamo dati sulle risorse informative cui abbiamo accesso i partecipanti a questo Workshop. Per certo sappiamo che a livello regionale esistono i Centri di Documentazione ma non ne conosciamo il reale utilizzo, nè le modalità di accesso, tantomeno l'ambito disciplinare e temporale delle informazioni che gli stessi trattano.

1. Individuazione delle problematiche per la ricerca e il recupero dell'informazione

1.a. *esplosione delle informazioni* - Dato il poco tempo a disposizione non è utile approfondire, in questa sede, gli argomenti legati a ciò che viene definita la società dell'informazione, dell'informazione globale, ma è giusto accennare all'importanza strategica e commerciale delle telecomunicazioni, che sono alla base dell'esplosione dell'informazione, per le quali ci sono investimenti interessanti, anche a livello nazionale. Ci riferiamo, in particolare, al progetto finalizzato telecomunicazioni, un programma di ricerca nazionale di durata quinquennale (1989-1994), che il CNR ha organizzato e finanziato per 70,5 miliardi, un progetto che ha impegnato 1060 anni di risorse umane, finalizzato tra l'altro allo sviluppo nel nostro Paese di servizi ed applicazioni di comunicazione ad alta velocità.

1.b. *pianificazione di una attività di ricerca e recupero dell'informazione e ambito di utilizzazione* - Per affrontare i successivi punti del primo aspetto legato alle problematiche relative alla ricerca e al recupero dell'informazione, non è superfluo fare un breve passo indietro che ci consentirà di impostare metodologicamente una strategia di ricerca dell'informazione. In tal senso è necessario, infatti, chiedersi cosa prevede l'attività di ricerca di informazioni/di dati? Le principali fasi individuate risultano nella Tabella che segue.

Tabella 1.- Fasi per la pianificazione di una attività di ricerca e recupero dell'informazione.

-
- identificare il bisogno di informazione
 - individuare e selezionare le fonti di informazione
 - individuare e recuperare i documenti
-

Al primo punto c'è l'identificazione del bisogno di informazione. Per circoscrivere meglio tale bisogno possiamo scegliere di orientarci rispetto all'ambito di utilizzazione dell'informazione stessa, in relazione alle nostre attività. Nella Tabella 2 vengono dunque individuate alcune attività che caratterizzano il nostro impegno quotidiano. Tale lista è certamente perfezionabile, tanto più se si tiene conto di personali esigenze d'informazione, basti accennare, per esempio, che in relazione all'aggiornamento professionale c'è la necessità di sapere dove e quando si svolgono corsi, convegni, ecc.

Tabella 2.- Ambito di utilizzazione dell'informazione in relazione alle attività.

-
- pianificazione di attività, stesura di progetti, di pubblicazioni, preparazione di lezioni, interventi a convegni, ecc.
 - assunzione di decisioni
 - aggiornamento professionale continuo
-

L'ambito di utilizzazione, peraltro, assume una certa importanza perchè in molti casi strettamente connesso alla tipologia del documento da recuperare. Facciamo, a questo

proposito, un esempio che potrà sembrare banale ma, nel nostro caso, significativo: se dobbiamo tenere una lezione nel nostro campo di attività, a livello di base o avanzato, cercheremo di rintracciare manuali, handbook, monografie specializzate; se si tratta di bisogno di aggiornamento continuo dovremo raccogliere i dati della letteratura corrente, ecc. e questo per sottolineare l'importanza che fin dall'inizio è bene procedere chiedendosi il perchè, quale è l'obiettivo dell'informazione di cui abbiamo bisogno. Proprio questo aspetto, legato al concetto di bisogno, già sta modificando gli scopi e perciò gli acquisti di molte biblioteche, soprattutto quelle a carattere tecnico-scientifico e che tenderà sempre di più a modificarli. Si parla di biblioteca elettronica, di biblioteca virtuale e di accesso e utilizzazione *just in time* invece di *just in case*. *Just in time* nel senso che si prevede la soddisfazione di esigenze informative solo su richiesta, ovvero quando si verifica il bisogno a cui occorre dare risposta mentre *just in case* identifica il modello finora seguito dalle biblioteche attraverso i massicci acquisti di documenti e la conservazione di materiale, che giace in attesa che l'utente se ne serva o ne faccia richiesta. Inoltre, nel fare riferimento all'ambito di utilizzazione dell'informazione in relazione alle nostre attività possiamo, fin dall'inizio, individuare l'ambito geografico di riferimento che, in momenti diversi, può riferirsi ad una dimensione italiana, europea o internazionale.

1.c. *accesso alle fonti* - Un altro punto critico da affrontare è l'accesso alle fonti, non vogliamo qui riferirci ad alcuni aspetti, pur importanti, di facilitazione o di ostacolo che riguardano: orari, sede, spazi di consultazione, effettiva disponibilità della documentazione, prestito ecc. ma dobbiamo restringere il campo alle vere e proprie fonti di informazione cui possiamo o riteniamo utile avere accesso, in relazione all'argomento oggetto della ricerca. Procedendo per grandi linee, possiamo dire che le fonti di informazione che rintracciamo in una biblioteca sono di due formati: a stampa ed elettroniche e che possono essere classificabili sostanzialmente in: cataloghi, soggetti, thesauri, repertori bibliografici, bibliografie specializzate, basi di dati bibliografici e banche di dati fattuali.

Per quanto riguarda il settore biomedico il punto di riferimento è il MEDLINE, prodotto dalla National Library of Medicine di Bethesda, con i suoi oltre 9 milioni di riferimenti bibliografici, nel nostro caso particolarmente utile per la connessione ambiente-salute. Oltre al MEDLINE, risultano pertinenti all'argomento che ci interessa anche altri archivi MEDLARS, in particolare quelli del settore tossicologico: TOXLINE e TOXLIT, oltre alla rete TOXNET che mette a disposizione banche di dati fattuali e basi di dati bibliografici. Per il settore ambiente, inquinamento ambientale, tossicologia risultano, inoltre, le seguenti basi di dati multidisciplinari, con differente specificità: CAB abstracts, Chemical abstracts, Current contents, EMBASE, Science Citation Index, ecc.

1.d. *individuazione e recupero di documenti* - Per quanto riguarda il punto 3, Tabella 1: individuare i documenti, si tratta di una operazione in stretta relazione all'impostazione di una strategia di ricerca e quindi anche alle operazioni precedenti. La qualità dei risultati è correlata alla preparazione accurata della strategia di ricerca

che, generalmente, tende a garantire la precisione della ricerca. Se la ricerca garantirà oltre alla rilevanza anche l'eshaustività del materiale recuperato ciò può dipendere anche dal tempo oltre che dalle risorse disponibili.

Per quanto riguarda invece il recupero dei documenti ritenuti rilevanti occorre dire che non sempre è possibile reperirli e che gli stessi possono identificarsi in un vasto numero di tipologie, alcune particolarmente specifiche per alcuni tipi di ricerche altre invece che possono combinarsi, per farci raggiungere il risultato desiderato, ci riferiamo a: bibliografie, abstracts, articoli di rivista, linee guida, monografie, libri, rapporti tecnici, atti di convegni, ecc. mentre, gli stessi articoli di rivista possono essere classificati, come da letteratura internazionale in: classical article, clinical trial, review, letter, editorial, ecc.

1.e. *terminologia* - La ricerca dell'informazione può indirizzarsi in campi quali quello dell'autore o del titolo che, peraltro, appaiono chiavi di ricerca non complesse anche se non sempre è così.

Il punto comunque più critico legato alla terminologia è quello che riguarda la ricerca per argomento/soggetto che risulta essere anche in stretta connessione alla fonte o alle fonti di informazione individuata/e. Operazione fondamentale sarà allora quella di partire dalla definizione precisa dell'argomento della ricerca per poter enucleare i concetti e tradurli in termini di ricerca, sia in funzione degli strumenti utilizzati: thesauri, cataloghi, soggettari, sistemi di classificazione, sia in funzione della fonte stessa dell'informazione. Dobbiamo, infatti, tenere presente che tutto ciò che noi recuperiamo deriva da una operazione di assegnazione di soggetti, fatta da specialisti al momento dell'acquisizione di nuovi documenti, un'operazione chiamata "indicizzazione per soggetti" e che, purtroppo per noi utenti, tuttora presenta metodi e regole diversi, sia a livello nazionale che internazionale. Gli stessi termini utilizzati per la ricerca sono indicati con parole diverse, a seconda dello strumento utilizzato, si tratta di tradurre concetti in termini di: soggetti, intestazioni di soggetto, descrittori, parole chiave. Tuttavia, ciò che può creare maggiori insidie è l'indicazione di contenuto. Il problema si presenta soprattutto nelle traduzioni dei termini provenienti da lingue diverse, come è normale che sia, nella letteratura internazionale, tuttavia spesso sussiste anche nella propria lingua.

Per non complicare oltre l'argomento è utile accennare a due metodi di recupero dell'informazione che utilizzano, in generale:

- un linguaggio controllato, rintracciabile in un vocabolario di parole;
- un linguaggio libero, ovvero parole derivanti dal linguaggio naturale che individuano parole provenienti in particolare dal titolo, dall'abstract, dal testo stesso;
- un linguaggio combinato di parole controllate (descrittori, parole chiave, soggetti) e parole libere.

Il vocabolario di termini del linguaggio controllato è un vocabolario che instaura relazioni semantiche tra le parole e tali relazioni sono di tre tipi: di equivalenza, gerarchica, associativa. Se tra i vantaggi del linguaggio controllato abbiamo quelli di selezionare termini concettualmente correlati e la possibilità della corrispondenza univoca tra termine e contenuto (soprattutto quando risultino definite le cosiddette scope

note), le parole di uso comune tra gli operatori del settore sono uno dei maggiori vantaggi del linguaggio libero.

Molta importanza assume l'utilizzazione degli operatori logici booleani (AND, OR, NOT) soprattutto quando per identificare il nostro argomento abbiamo bisogno di correlare i nostri termini ad altri o di escludere alcuni aspetti di un argomento mentre, ulteriori strumenti che consentono di affinare la strategia di ricerca sono i cosiddetti: indicatori di vicinanza o di ripetizione di parole significative, ecc.

L'attualità nella ricerca bibliografica in ambito biomedico pone in evidenza un approccio di ricerca basato sulla evidence medicine, ovvero medicina basata sulle evidenze scientifiche. Si tratta di un modello che afferma che le decisioni di politica sanitaria, le scelte dei medici e le preferenze dei pazienti debbono essere guidate dalle migliori evidenze disponibili nella letteratura scientifica, attraverso un approccio critico alla letteratura medica. Tale impostazione è di sicuro interesse anche per l'aspetto intersettoriale e multidisciplinare dell'epidemiologia ambientale.

2. Ambito dei dati: italiano, europeo, internazionale

La seconda parte dell'intervento è stata strutturata sulle risorse disponibili principalmente in Internet precisandone l'ambito: italiano, europeo, internazionale

Per quanto riguarda l'informazione rintracciabile in Internet un breve accenno va fatto sulla volatilità dell'informazione stessa. Con tale aggettivo si vuole evidenziare il fatto che di una informazione spesso non abbiamo i tempi di creazione, aggiornamento, cancellazione. A questo riguardo si ritiene che individuare siti provenienti da istituzioni, enti pubblici o privati riconosciuti, progetti, nazionali ed internazionali, possa rappresentare una garanzia sia per la serietà/qualità dei dati presentati, sia di garanzia contro la volatilità dei dati stessi.

2.a. dimensione italiana - Le informazioni in tale ambito riguarderanno le attività degli Enti ed Istituzioni, sia pubbliche che private interessate al nostro argomento (Presidi Multizonali, Istituti Zooprofilattici, Ministeri, Assessorati, Università, Enti di Ricerca, ecc.), per verificare chi e come sta portando avanti: progetti, attività istituzionali, resoconti, pubblicazioni, ecc.

Dal punto di vista della ricerca di informazione bibliografica, possiamo invece fare cenno ad alcune realtà, costituite da:

- gli OPAC (Online Public Access Catalogue) di singole biblioteche. Le biblioteche stanno infatti trasferendo i loro cataloghi in banche dati digitali, disponibili via internet, con accesso gratuito ai dati; l'Italian OPAC directory è al sito: <http://www.nis.garr.it/opac-dir/opac.html>;

- i cataloghi collettivi che rappresentano un ulteriore passo avanti della realtà bibliotecaria nazionale. Infatti, se più biblioteche mettono in connessione le proprie risorse documentarie ciò consente all'utente di sapere, attraverso una singola ricerca, se e dove esiste l'informazione che interessa;

- SBN ovvero Servizio Bibliografico Nazionale al sito: <http://opac.sbn.it/search.html>. È un progetto che coinvolge oltre 600 biblioteche in Italia e che, in questo ambito, ci interessa per due dei suoi obiettivi: l'accesso all'informazione e il prestito interbibliotecario;

- ACNP ovvero Archivio Collettivo Nazionale dei Periodici al sito: <http://serial.cib.unibo/opac.com/it/cnr/fp.html>, rappresenta il catalogo italiano dei periodici. Anch'esso un progetto di cooperazione che distribuisce tra 2.268 biblioteche registrate, all'ottobre 1998, l'onere di una copertura bibliografica relativamente a 8.643 riviste spogliate.

2.b. *dimensione europea* - Per quanto riguarda la dimensione europea, la costituzione dell'Agencia Europea per l'Ambiente (European Environment Agency - EEA) è relativamente recente, dal momento che la sua creazione è stata stabilita nel 1993 ma è divenuta operativa solo a partire dal 1996, con sede in Copenhagen, Danimarca. Il suo sito web è <http://www.eea.eu.int> e fornisce documentazione di base, risultati di ricerche, dati statistici, progetti e una base di dati oltre a un calendario di eventi e alla facilitazione di ricerca attraverso un indice di parole chiavi. Il sito già nell'aprile di quest'anno registrava oltre 100.000 visite al mese, mentre si prevede per la fine di quest'anno la possibilità di un network di agenzie per l'ambiente, a livello di ciascun Paese della comunità.

Possiamo aggiungere che a differenza della sua corrispettiva statunitense, l'EPA (Environmental Protection Agency), l'agenzia europea non è un organismo regolatorio.

Può venire utile sapere che a livello cartaceo abbiamo quanto segue:

- l'UE e l'ambiente: un fascicolo che illustra la politica ambientale dell'Unione. È gratuito e in tutte le lingue, può essere richiesto al punto d'informazione ufficiale dell'Unione, per l'Italia: CE, via Poli 29, 00187 Roma; fax: (39-6) 16 58 679 36, 52; internet: <http://europa.eu.int/comm.office.htm#it>;

- il bollettino *Biomedical & Health Research* che informa su progetti e pubblicazioni di attualità nella ricerca sanitaria. È gratuito e può essere richiesto a: Alain Vanvossel, CE, DG XII/E/4, SDME 8/58; 200 Rue de la Loi, B-1049 Bruxelles, fax (32-2) 295 53 65; e-mail: alain.vanvossel@dg12.cec.be;

- *Euroabstracts*: la rivista bimestrale della Commissione sulle nuove pubblicazioni di R & S (Ricerca e Sviluppo). Essa contiene recensioni di libri, riviste, CD-ROM e siti web in materia di ambiente, tecnologia dell'informazione e altro. Dapprima gratuita ora ha un abbonamento annuo di 65 Ecu e può essere richiesta a: RTD Help Desk, EC, DGXIII/D/2, L-2920 Luxembourg; fax: (352) 4301-32084; e-mail: helpdesk@lux.dg13.cec.be; internet: <http://www.cordis.lu/euroabstracts>;

Queste ultime indicazioni risultano utili anche per sottolineare che spetta alla DG (Direzione Generale) XI, della Commissione Europea la responsabilità di sviluppare gli interventi dell'Unione in campo ambientale. La sua homepage ne descrive le attività e comprende schede sulla qualità dell'aria e rifiuti nonché il rapporto sugli specchi d'acqua destinati alla balneazione ed informazioni sui principali settori d'intervento. Essa ricapitola anche la legislazione ambientale comunitaria, con un aggiornamento al

1° luglio 1997 ed informa circa le attuali possibilità di finanziamenti. L'indirizzo web è: <http://europa.eu.int/en/comm/dg11/dg11home.html>.

Un altro importante indirizzo riguarda CORDIS, per ottenere informazioni su Ricerca e Sviluppo in Europa: <http://www.cordis.lu>, e-mail helpdesk@cordis.lu, mentre, per quanto riguarda il 5° programma quadro per attività di R & ST (Ricerca e Sviluppo Tecnologico), per gli anni 1998-2002, indirizzato ai bisogni quotidiani dei cittadini europei, la Commissione ha identificato 3 temi: Qualità della vita e gestione delle risorse biologiche (2239 milioni di ecu); Società dell'informazione user friendly (3363 milioni di ecu) e Competitività e crescita sostenibile (circa 1500 milioni di ecu).

Infine, sta per essere inaugurato EUR-Lex, il nuovo sito Internet contenente tutti i testi della legislazione europea in vigore. In una prima fase si potrà consultare gratuitamente, per un periodo di 20 giorni dalla data di pubblicazione, il testo integrale della serie C e L della Gazzetta ufficiale: <http://europa.eu.int/eur-lex>.

Per quanto riguarda gli OPAC a livello europeo abbiamo l'OPAC of European National Libraries al sito: <http://portico.bl.uk/gabriel/en/opacs.html>.

2.c. dimensione internazionale - Oltre a dati relativi alle istituzioni internazionali e ai loro progetti di cui, però, non ci occupiamo in questo contesto grande importanza assume la possibilità di accesso ai giornali cosiddetti elettronici, versione elettronica delle più importanti riviste scientifiche internazionali, consultabili gratuitamente per un tempo limitato, nonché alla possibilità di accesso alle versioni gratuite di MEDLINE: PubMed e Internet GratefulMed e ad altri archivi MEDLARS al sito: <http://www.nlm.nih.gov/databases/freemedl.html>. Per quanto riguarda i giornali elettronici nella Tabella 3 si presenta una prima selezione di riviste disponibili in Internet, relativamente all'argomento oggetto del Workshop. È stato diviso l'elenco in base agli editori perché sono loro che fanno la politica commerciale del prodotto e decidono se l'accesso è gratuito o a pagamento, riservandosi ovviamente tutti i cambi possibili.

Tabella 3.- Primo elenco di giornali elettronici del settore ambiente disponibili in Internet-aggiornamento ottobre 1998.

Editore: American Society of Microbiology al sito: http://www.asmtusa.org
<i>Journal of Bacteriology</i>
Editore: The Lancet al sito: http://www.thelancet.com
<i>Lancet</i>
Editore: Springer al sito: http://link.springer.de
<i>Applied Microbiology and Biotechnology</i>
<i>Archives of Environmental Contamination and Toxicology</i>
<i>Archives of Microbiology</i>
<i>Archives of Toxicology</i>
<i>Archives of Virology</i>
<i>Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology</i>
<i>Current Microbiology</i>
<i>Environmental Management</i>
<i>International Archives of Occupational and Environmental Health</i>
<i>Microbial Ecology</i>
<i>Oecologia</i>

Anche nell'ambito internazionale, per quanto riguarda gli OPAC, forniamo i seguenti siti:

- Opac in the world/Osaka International University Library al sito:
<http://w3.lib.oiu.ac.jp/directory/opac-info.html>
- National Library Catalogues Worldwide/John W. East, sito:
<http://www.library.uq.edu.au/ssah/jeast/>
- Bibliotheks-OPACs und - Informationsseiten/Hans-Dieter Hartges al sito:
<http://www.hbz-nrw.de/hbz/toolbox/opac.htm>

Inoltre, nella Tabella 4 è riportata una selezione di basi e banche dati disponibili on line, ma a pagamento, i cui collegamenti sono previsti a livello di ISS dal Servizio Documentazione che potrà fornire eventuali informazioni al riguardo.

Conclusioni

Gli imponenti investimenti, in termini di risorse economiche e umane, a livello mondiale, nelle tecnologie della telecomunicazione hanno reso possibile uno strumento, così dirompente quale è Internet che in molti casi ha addirittura abolito spazi di monopolio dell'informazione. Tali investimenti continuano e renderanno possibili, forse prima di quanto ci aspettiamo, cambiamenti radicali che probabilmente, però, influenzeranno con più lentezza le istituzioni pubbliche, per vari ordini di motivi. Ciò che è certo è che quella che ormai è chiamata era dell'informazione globale ha già davanti a sé una moltitudine di informazioni tra le quali sapersi districare, per ottenere - come si dice oggi *just in time*, ovvero, quando necessario l'informazione giusta al momento giusto.

In considerazione dell'importanza dell'informazione e del recupero della stessa, ecco, in definitiva, perchè è apparso utile un intervento di questo tipo all'interno di un workshop di specialisti e di operatori del SSN del settore della contaminazione microbiologica degli ambienti idrici.

Tabella 4.- Selezione di archivi interrogabili on line per il settore Ambiente, Contaminazione idrica e affini (dati forniti dal Servizio Documentazione - ISS - aggiornamento n.6, settembre 1998).

Abstracts in New Technologies and Engineering argomenti: inquinamento ecc.

Aquatic sciences and Fisheries Abstracts (ASFA) argomenti: risorse ed ambiente per acque dolci e salmastre; acquacoltura, biologia marina, inquinamento delle acque, ecologia ed ecosistemi, ecc. (corrisponde all'omonima pubblicazione a stampa; fondo documentario: fornisce riferimenti bibliografici di oltre 5.000 periodici, libri, monografie, atti di convegni, rapporti tecnici, con aggiornamento mensile; produttore è Cambridge Scientific Abstracts su commissione della FAO)

Agricola (AGRICultural OnLine Access) argomenti: inquinamento, qualità dell'acqua, pesticidi, microbiologia, ecc. (fondo documentario: riferimenti bibliografici di oltre 2.000 titoli di periodici, libri, atti di convegni, rapporti di ricerca, documenti governativi; aggiornamento mensile; produttore National Agricultural Library of the U.S. Dept. of Agriculture)

Analytical Abstracts argomenti: chimica ambientale, ecc.

Acquire (Aquatic Information Retrieval) argomenti: tossicità di sostanze chimiche rilevate su microorganismi acquatici, ecc. (contenuto: banca dati fattuale - 100.000 documenti per circa 5.200 sostanze chimiche; produttore è l'Environmental Protection Agency- EPA)

Biological & Agricultural Index argomenti: biochimica, biologia, biotecnologia, ecologia, ecc.

Biotechnology Abstracts argomenti: agenti di controllo biologico, ecc.

Chemical Safety New Base argomenti: effetti biologici di sostanze chimiche, gestione dei rifiuti, ecc.

CHEMTOX argomenti: banca dati informazioni ambientali e di sicurezza di sostanze chimiche

Elsevier Biobase argomenti: sviluppo biologico, scienze ambientali, ecc. (fondo documentario: analizza oltre 1.700 giornali scientifici internazionali, libri e atti di conferenze; include 500.000 citazioni ed abstracts dal 1994; aggiornamento settimanale)

Envirofate (Environmental Fate Database) argomenti: banca dati fattuale e bibliografica, destino ambientale di sostanze chimiche riversate nell'ambiente; ecc (contenuto: 13.000 records su circa 800 sostanze chimiche; produttore è l'EPA)

Environmental Bibliography argomenti: risorse marine e di acqua dolce, inquinamento ambientale, ecc. (corrisponde all'equivalente versione a stampa; fondo documentario: analizza 400 tra i maggiori giornali di tutto il mondo riguardanti ambiente, scienza e tecnologia, pubblicazioni di università, enti e società private; aggiornamento mensile; produttore è l'Environmental Studies Institute)

Geobase argomenti: ambiente, idrologia, risorse naturali

Ishow (Information System for Hazardous Organics in Water) argomenti: proprietà chimiche di sostanze organiche solubili in acqua, ecc. (contenuto: banca dati fattuale, 16.600 records relativi a 5.400 sostanze chimiche; produttore è l'EPA)

Material Business File argomenti: inquinamento ambientale, smaltimento rifiuti, salute e sicurezza

Pesticide Fact File argomenti: nomenclatura, ditte produttrici, usi, prodotti e analisi dei residui, tossicità su mammiferi, ecotossicità e destino ambientale (contenuto: banca dati fattuale)

Waternet argomenti: acque potabili e acque di scarico: trattamento, qualità, conservazione, ecc. (fondo documentario: riferimenti bibliografici della letteratura internazionale, tutte le pubblicazioni dell'American Journal Water Works Association, libri, atti di conferenze, giornali, manuali, rapporti tecnici di gruppi di ricerca internazionali; aggiornamento bimestrale; produttore è l'American Water World Association - AWWA)

Water Resources Abstracts argomenti: acqua: natura e proprietà, qualità e protezione, controllo, idrologia, ecc (fondo documentario: giornali, monografie, atti di conferenze, ecc.; aggiornamento mensile)

Conference Paper Index (basi di dati sulle conferenze internazionali in tre vaste aree); CRIS/USDA (informazioni su progetti e ricerche su argomenti diversi); CHEMSEARCH, CHEMNAME (informazioni fattuali su sostanze chimiche registrate dal 1957); Derwent World Patents Index (brevetti afferenti a diverse aree della scienza e tecnologia); The Dictionary of Substances ... (impatto di 4.000 sostanze chimiche su organismi e ambiente); Research Centers and Services Directory (indirizzi e descrizioni di oltre 26.000 enti ecc.); TSCA Chemical Substance Inventory dell'EPA

Bibliografia

- Basili C., Pettenati C., 1994. *La biblioteca virtuale*, Editrice Bibliografica, Milano.
- EUR-OP news 1998, 1:12
- Homepage Catalogo Italiano dei Periodici (ACNP), <http://serial.cib.unibo/opac.com./it/cnr>
- Homepage Associazione Italiana Biblioteche, <http://www.aib.it>
- Homepage European Environmental Agency, <http://www.eea.eu.int/>
- Homepage National Library of Medicine, <http://www.nlm.nih.gov/>
- Homepage Servizio Bibliotecario Nazionale, <http://www.sbn.it>
- Ridi R., 199 *Internet in Biblioteca*, Editrice Bibliografica, Milano.
- Roveri A., 1998. Modelli di riferimento per le telecomunicazioni. *Ricerca & Futuro*, luglio, 8: 24-29
- Il sistema MEDLARS e i suoi archivi (nota elaborata da A. Dracos), Note informative, Associazione Italiana Biblioteche, Roma, 1995, 1: 1-5

Per informazioni inerenti all'articolo:

M.C. CALICCHIA - e-mail: cali@sun.iss.it

F.A. AULICINO, L. VOLTERRA - e-mail: lvolter@iss.it

BIOLOGIA MOLECOLARE APPLICATA ALLA BATTERIOLOGIA

Maria del Mar Lleò*, Sabrina Pierobon, Maria Carla Tafi, Alessia Brugnoli, Caterina Signoretto, Pietro Canepari

Istituto di Microbiologia dell'Università di Verona

Molti dei microorganismi che la moderna batteriologia si trova a dover identificare sono batteri difficilmente coltivabili, come ad esempio gli ultramicrobatteri o i batteri marini ed estremofili, o batteri incapaci di dividersi perchè danneggiati o "dormienti". I batteri danneggiati, come conseguenza della loro esposizione ad agenti chimici quali antibiotici o disinfettanti, non sono in grado di crescere nei terreni selettivi anche se in generale possono essere recuperati in terreni di coltura non selettivi. Per quanto riguarda i batteri "dormienti" negli ultimi anni si è rivelata sempre più evidente la capacità di batteri patogeni per l'uomo o comunque di interesse medico di sopravvivere nell'ambiente attivando particolari strategie quali la "starvation" (affamamento) in risposta alla mancanza di un particolare elemento nutritivo e lo stato vitale ma non coltivabile (VNC) (Barer *et al.*, 1993; Oliver, 1993; Roszak e Colwell, 1987; Lleò *et al.*, 1998). Molti batteri attivano questo ultimo particolare stato fisiologico in presenza di condizioni ambientali avverse quali basse concentrazioni di nutrienti, temperature e pH estremi, ecc. I batteri VNC non sono in grado di crescere formando colonie sui normali terreni di coltura ma conservano i propri fattori di patogenicità e rimangono vitali come dimostrato dalla loro attività metabolica e la loro capacità di ritornare allo stato di crescita attiva qualora le condizioni ambientali ritornino ad essere ottimali (Oliver, 1993; Roszak e Colwell, 1987; Lleò *et al.*, 1998).

Tutto ciò comporta necessariamente un adeguamento o affiancamento delle tecniche "classiche" basate sull'esame colturale, con metodi alternativi in grado di rilevare anche i batteri non coltivabili. Tra questi, i metodi immunologici sono in grado di rilevare antigeni batterici mediante l'utilizzo di anticorpi fluorescenti. La possibilità di disporre di anticorpi monoclonali rende attualmente questi metodi sufficientemente specifici e capaci di identificare il batterio a livello di specie (Islam *et al.*, 1993; Huq *et al.*, 1990). Tuttavia, l'entrata di un batterio nella fase di dormienza comporta spesso dei cambiamenti nell'assetto antigenico, non ancora ben conosciuti, che lo renderebbero non riconoscibile dall'anticorpo normale. Inoltre, il metodo presenta specificità e sensibilità pesantemente correlate all'esperienza dell'operatore.

I metodi basati sulla biologia molecolare, invece, sembrano quanto meno minimizzare questa possibilità. Tra essi si includono:

- 1.- utilizzo di sonde geniche che prevedono la loro ibridazione con un acido nucleico (DNA o RNA) estratto da un microorganismo. L'avvenuta ibridazione è rilevata e quantificata con l'opportuno metodo basato sul legame alla sonda di sostanze radioattive, fluorescenti o bioluminescenti (Bej *et al.*, 1990). La tecnica trova oggi limitazioni in questa applicazione essenzialmente per la non eccellente sensibilità. Essa può essere migliorata utilizzando sonde che riconoscono l'acido nucleico bersaglio nell'RNA ribosomiale grazie al suo maggior numero di molecole per cellula.

2.- Di particolare rilevanza si sono dimostrate le tecniche che prevedono il rilevamento dei microorganismi mediante l'amplificazione di un particolare tratto del suo genoma (PCR). Tale tecnica consente di rilevare fino al singolo organismo anche in campioni di origine ambientale (acque marine e dolci, sedimenti, rifiuti) (Islam *et al.*, 1990; Bej *et al.*, 1990; Braums *et al.*, 1991; Leser, 1995). La possibilità di individuare bassissime concentrazioni di uno specifico DNA in un campione con alto background, dovuto alla presenza di molecole biologiche e numerose specie sia procariotiche che eucariotiche, è legata all'approntamento di specifici protocolli di PCR. Da ciò si deduce che è necessario ottimizzare i parametri che condizionano la sensibilità e la specificità della tecnica di amplificazione e la preparazione pre-PCR dei campioni i quali, a volte, devono essere purificati da sostanze che possono inattivare la polimerasi, l'enzima responsabile della reazione di amplificazione.

Recentemente il nostro gruppo ha sviluppato un protocollo di PCR atto a rilevare la presenza di DNA di *Enterococcus faecalis*, un microorganismo considerato indicatore standard di contaminazione fecale (Lleò *et al.*, 1998). La sequenza di DNA bersaglio per la PCR è stata individuata nel gene che codifica per la "penicillin binding protein" 5 (PBP 5), una proteina coinvolta nella sintesi del peptidoglicano dell' *E. faecalis*. Il gene era stato da noi precedentemente sequenziato e dimostrato essere specie-specifico. Utilizzando due primer selezionati in questa particolare sequenza nucleotidica viene amplificato un frammento di 444 pb. La valutazione della sensibilità e la specificità dei primer scelti ha permesso di dimostrare che il protocollo è specifico per *E. faecalis*, in quanto il DNA di altre specie di enterococchi o altri batteri non viene amplificato, e sufficientemente sensibile da rilevare quantità di DNA fino a 0,1 pg corrispondenti a 2 cellule/ml (Lleò *et al.*, 1997; 1998; in stampa). L'applicazione del protocollo alla ricerca di *E. faecalis* nelle acque del lago di Garda (Tabella 1) ha permesso di stabilire che circa il 43% dei campioni esaminati contengono forme non coltivabili di *E. faecalis* in quanto, pur risultando negativi con il metodo tradizionale del conteggio delle unità formanti colonie (UFC/ml), risultavano essere positivi alla ricerca del DNA specifico di *E. faecalis* mediante PCR (Lleò *et al.*, 1997; 1998).

Tabella 1.- Ricerca di *Enterococcus faecalis* in campioni di acqua del lago di Garda.

Presenza di colonie di <i>E. faecalis</i> in terreno di coltura	Presenza di DNA specifico (PCR)	N° campioni (% totale)
-	-	18 (39)
+	+	8 (17)
-	+	20 (43)

In modo simile è stato anche approntato un protocollo di PCR specifico per *Escherichia coli* in grado non solo di rilevare il DNA di questa particolare specie batterica ma anche di distinguere i ceppi produttori di verotossine, i ceppi enteroemorragici (EHEC) ed enteropatogeni (EPEC) (Tabella 2). Tale distinzione è resa possibile dall'impiego di diverse coppie di primer che riconoscono specifiche sequenze nucleotidiche contenute nei geni corrispondenti. Con il protocollo messo a punto nel nostro laboratorio è possibile rilevare in una unica reazione di PCR (PCR

multiplex) la presenza di *E. coli* e determinare, sulla base delle dimensioni dell'amplificato se si tratta di un ceppo enteropatogeno, enteroemorragico oppure produttore di verotossine.

Tabella 2.- Rilevamento di ceppi di *Escherichia coli* mediante PCR multiplex.

Primer selezionati nel gene	Ceppi di <i>E. coli</i> rilevabili
uidA	Tutti
slt-1 e slt-2	<i>E. coli</i> produttore di verotossine <i>E. coli</i> enteroemorragico
eaeA	<i>E. coli</i> enteroemorragico <i>E. coli</i> enteropatogeno

3.- Il solo approccio qualitativo tuttavia non è sufficiente soprattutto quando è necessario esprimere un giudizio sulla qualità microbiologica del materiale in esame. Con questo obiettivo, abbiamo sviluppato un protocollo di PCR competitiva (cPCR) che mediante l'impiego di un "internal standard" permette di stimare quantitativamente cellule coltivabili e non coltivabili presenti in campioni ambientali (Lleò *et al.*, 1998; in stampa). L'internal standard è un frammento di DNA che si ottiene dal DNA bersaglio e che, pur conservando le sequenze nucleotidiche riconosciute dai primer, ha dimensioni minori così da essere distinguibile dal DNA template. La competizione tra i due frammenti di DNA nel legare i primer permette di calcolare la quantità di DNA specifico presente nel campione in esame. La validazione del protocollo di cPCR specifico per la ricerca di *E. faecalis* nelle acque del lago di Garda ha permesso di stabilire che le concentrazioni di DNA ritrovate in quei campioni più sopra descritti e risultati negativi con il metodo colturale, variano tra 0,1 e 9 ng e corrispondono a concentrazioni cellulari comprese tra 20 e 2000 cellule/ml (Tabella 3).

Tabella 3.- Quantificazione con cPCR del DNA di *E. faecalis* presente in alcuni campioni di acqua di lago risultati positivi all'amplificazione con PCR.

Campione	UFC/ml in BEA	Quantità DNA specifico (ng) nella reazione di PCR	Concentrazione cellulare nel campione orig. (cellule/ml)
5a	0	1,4	3×10^2
7a	0	6	$1,4 \times 10^3$
9a	0	0,1	24
11a	0	1,8	4×10^2
17a	0	9	2×10^3
9b	0	0,6	$1,4 \times 10^2$

Il protocollo di cPCR per *E. coli* è attualmente in corso di validazione.

4.- Le tecniche su menzionate che prevedono l'amplificazione di specifici tratti del genoma batterico non consentono di discriminare se tale acido nucleico appartiene a cellule ancora vive o già morte data la notevole stabilità del DNA. Studi intrapresi più di recente hanno come obiettivo la determinazione dello stato fisiologico di tali cellule. In questa ottica, possono trovare potenziali applicazioni le tecniche molecolari "in situ" che permettono l'analisi delle singole cellule e lo studio delle comunità microbiche presenti in campioni ambientali. Di particolare utilità potrebbe rivelarsi la ricerca di mRNA specifici come indice della vitalità cellulare, data l'estrema labilità dei messaggeri cellulari e batterici. Ciò può essere condotto nella singola cellula con le tecniche dell'amplificazione mediante PCR "in situ" preceduta dalla retrotrascrizione ad opera della transcriptasi inversa (RT-PCR). Attualmente sono in corso, nel nostro laboratorio, esperimenti atti ad analizzare, mediante RT-PCR in situ, lo stato di vitalità di una popolazione batterica che posta in condizioni ambientali non favorevoli attiva lo stato VNC. Ciò permetterà di analizzare nel dettaglio l'evoluzione della popolazione batterica verso la morte cellulare. Questi esperimenti hanno come obiettivo finale la valutazione, in un campione ambientale, della componente ancora vitale di una popolazione non più coltivabile e quindi la reale popolazione che potrebbe rappresentare un pericolo per la salute pubblica.

Bibliografia

Barer M.R., Gribbon L.T., Harwood C.R., Nwoguh C.E., 1993. The viable but non-culturable hypothesis and medical bacteriology. *Rev. Med. Microbiol.*, 4: 183-191.

Bej A. K., Steffan R.J., Dicesare J., Haff L., Atlas R.M., 1990. Detection Of coliform bacteria in water by polymerase chain reaction and gene probes. *Appl. Environm. Microbiol.*, 56: 307-314.

Brauns L. A., Hudson M. C., Oliver J. D., 1991. Use of polymerase chain reaction in detection of culturable and non culturable *Vibrio vulnificus* cells. *Appl. Environm. Microbiol.*, 57: 2651-2655.

Huq, A., Colwell R. R., Rahman R., Ali A., Chowdhury M. A. R., Parveen S., Russek-Cohen E. 1990. Detection of *Vibrio cholerae* 01 in the aquatic environment by fluorescent-monoclonal antibody and culture methods. *Appl. Environm. Microbiol.*, 56:2370-2373.

Islam, M. S., Hasan M.K., Miah M.A., Sur G.C., Feksenstein A., Venkatesan M., Sack R.B., Albert M.J. 1993. Use of polymesare chain reaction and fluorescent-antibody methods for detecting viable but nonculturable *Shigella dysenteriae* type 1 in laboratory microcosms. *Appl. Environm. Microbiol.*, 59: 536-540.

Leser T.D., 1995. Quantitation of *Pseudomonas* sp strain B13 (FR1) in the marine environment by cPCR. *J. Microbiol. Meth.*, 22: 249-262.

Lleò M. M., Tafi M.C., Dal Cero C., Canepari P., 1997. On the need of new methods to control water quality: demonstration that also Gram- positive species can enter viable but nonculturable state under adverse environmental conditions. *First Internat. Conf. on Environmental Restoration*. Ljubljana, Slovenia.

Lleò M.M., Tafi, M.C., Canepari P., 1998. Non culturable *Enterococcus faecalis* cells are metabolically active and capable of resuming active growth. *Syst. Appl. Microbiol.*, 21: 333-339.

Lleò M.M., Tafi M.C., Canepari P., 1998. Quantification of nonculturable bacterial cells in lake water by competitive PCR. *8th Internat. Symp. on Microbial Ecology*. Canada, 1998.

Lleò M.M., Tafi, M.C., Signoretto C., Dal Cero C., Canepari, P. Competitive polymerase chain reaction for quantification of nonculturable *Enterococcus faecalis* in lake water. (Inviato a *Appl. Environm. Microbiol.*)

Oliver J.D. 1993. Formation of viable but non culturable cells. In S. Kjelleberg (ed.), *Starvation in bacteria*. Plenum Press, New York, p. 239-272.

Roszak D.B., Colwell R.R., 1987. Survival strategies of bacteria in the natural environment. *Microbiol. Rev.*, 51: 365- 379.

CLASSIFICAZIONE DI DATI DI QUALITÀ DELLE ACQUE SORGIVE TRAMITE TECNICHE CONVENZIONALI E RETI NEURALI

Rosanna Burigo (*), Caterina Oppo (*), Armando Pelliccioni (**), Biancamaria Pietrangeli (**)
(*) *PMP- Sezione Medico Biotossicologica. ULSS-1, Belluno*
(**) *ISPESL-DIPIA. Centro Ricerche Monteporzio Catone (Roma)*

Introduzione

Lo studio deriva dalla necessità di comprendere le principali cause di inquinamento delle sorgenti montane captate ad uso acquedottistico. Dal febbraio 1996 al 1998, due sorgenti montane situate in zone carsiche sono state quotidianamente campionate ed analizzate rispetto ai parametri chimico-fisico e microbiologi. I livelli di inquinamento di queste due sorgenti sono risultati estremamente contenuti, eccetto che in alcune situazioni di picco, specie in corrispondenza di aumenti di portata. Data l'elevata quantità di analisi eseguite e soprattutto il lungo periodo monitorato, si può ragionevolmente supporre che questi dati siano un campione rappresentativo delle possibili condizioni ambientali in cui si può trovare un'acqua di sorgente.

Al fine di selezionare le condizioni ambientali significative si è proceduto alla classificazione dei dati in modo da evidenziare l'associazione tra alcuni parametri di natura fisica (pioggia, portata, temperatura, etc.), la composizione chimica dei campioni (nitrati, calcio, etc.) e i parametri di natura microbiologica (carica batterica).

Per eseguire la classificazione, si sono usate sia tecniche convenzionali che innovative basate sulle reti neurali (RN) ed in particolare l'architettura di Kohonen. Tali tecniche permettono di classificare automaticamente anche situazioni non lineari, al contrario di quelle statistiche classiche (analisi dei grappoli e delle componenti principali) che sono per lo più utilizzate in situazioni lineari o linearizzabili. L'uso delle RN in campo ambientale appare particolarmente promettente perché le variabili coinvolte spesso hanno delle relazioni non lineari e, cosa importante, di solito non è noto il modello sottostante i dati.

Analisi dei dati

I dati in esame riguardano due sorgenti montane (Lasen A e Lasen B) campionate quotidianamente dal 19 febbraio 1996 al 18 aprile 1998 (per un totale di 791 campionamenti). I valori medi e le deviazioni standard su tutti i dati sono evidenziati nelle Tabella 1 e Tabella 2 per Lasen A e B rispettivamente. Dal confronto dei valori medi, si può notare che dal punto di vista microbiologico Lasen B è più esposta all'inquinamento sia naturale (legato alla carica batterica totale a 22°C (C22)) che antropogenico (legato alla carica batterica totale a 37°C (C37)). Infatti i valori medi sono notevolmente più alti in Lasen B (del 120% per la C22 e del 278% per la C37). Da

notare comunque la grande dispersione, in entrambi i casi, dei dati di natura microbiologica, come è evidente dal coefficiente di variazione C_v definito dal rapporto tra la deviazione standard (Dev.Stn.) e la media. Questo coefficiente permette di parametrizzare a prima vista la forma della distribuzione sottostante i dati e di confrontarli a prescindere dalle unità di misura usate.

In generale, se la media della distribuzione è indicativa del valore modale, il coefficiente di variazione è minore di 1 e tanto più questo è piccolo tanto meglio la distribuzione è piccata e simmetrica.

Ne consegue che i dati della carica batterica (con ciascun coefficiente di variazione maggiori di 1) sono generalmente distribuiti in modo asimmetrico e il valore modale non coincide con quello medio. Si può notare dalle due distribuzioni della C22 e la C37 nello schema seguente per Lasen A e B che le forme sono fortemente asimmetriche in tutti i casi. L'asimmetria riflette il fatto che il sistema idrico risulta per la maggioranza dei giorni con bassa carica batterica, come è verificato dalle cariche corrispondenti all'80% delle frequenza cumulata:

	Lasen A		Lasen B	
	Carica [ufc/mL]	Cumulata[%]	Carica [ufc/mL]	Cumulata [%]
C22	3	84,5	24	79,4
C37	1	84,7	4	79,9

Nonostante questo, si verificano delle situazioni anomale che producono dei picchi di inquinamento.

Quando il coefficiente di variazione è molto piccolo significa che il sistema ha una varianza bassa rispetto al valor medio e di conseguenza quest'ultimo è di fatto veramente rappresentativo della situazione più frequente. Tale comportamento si verifica in linea di massima per le caratteristiche chimiche del sistema (pH, conducibilità, cloruri, etc.) con valori che vanno da 0,01 a 0,39, i quali forniscono una indicazione della stabilità chimica del sistema idrico in esame.

In definitiva questa elaborazione preliminare fornisce una visione d'insieme tesa a valutare quantitativamente le variazioni intrinseche dei dati e poter così confrontare qualitativamente variabili che sono stabili da quelle che presentano una variabilità elevata.

Ciò permette di fornire una visione d'insieme del sistema, ma per valutare delle situazioni caratteristiche e rappresentative occorre scendere più in dettaglio nella elaborazione dei dati.

Il problema che si vuole affrontare consiste nella individuazione di particolari situazioni rappresentative connesse ad eventi medi od eccezionali, ma comunque all'interno delle distribuzioni analizzate. Infatti, lo studio in frequenza di ogni variabile non consente di discriminare situazioni particolari essendo questa analisi avulsa dalla sequenza temporale degli eventi.

La capacità di distinguere le diverse situazioni dipende fortemente dalla scelta delle variabili sulle quali eseguire le elaborazioni. Alcune di esse possono essere molto

sensibili alla fenomenologia (alta varianza), altre possono viceversa essere poco variabili, altre ancora potrebbero essere ridondanti al fine dell'analisi ed infine alcune variabili potrebbero non essere interessate alle variazioni del sistema e quindi potrebbero introdurre rumore sul segnale.

In sintesi, per poter evidenziare le situazioni caratteristiche del sistema occorre eseguire ulteriore elaborazione dei dati al fine di predisporre al meglio l'elaborazione per evidenziare solo la fenomenologia di interesse.

Scelta delle variabili

Il sistema è caratterizzato dalle seguenti variabili:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| - Variabili di natura fisica | 4 (T, Portata, Pioggia, etc..) |
| - Variabili di natura chimica | 11 (pH, Cloruri, Nitrati, etc..) |
| - Variabili di natura microbiologica | 8 (C22, C37, Col. Fec, etc..) |

Per caratterizzare l'ambiente idrico e le condizioni che favoriscono la crescita della carica batterica, è necessario considerare nell'ambito della classificazione le variabili connesse con la fenomenologia da evidenziare. Per selezionare le variabili di natura chimica più significative è stata eseguita l'analisi in componenti principali (Cooley e Lohnes, 1971) per individuare sia gli assi principali che la composizione degli stessi.

Dall'elaborazione eseguita per Lasen B (la più inquinata) il 94% della varianza totale è stata spiegata da 3 componenti (denotate con CP1, CP2 e CP3), i cui assi principali sono da attribuire (tramite lo studio del cerchio delle correlazioni) ai seguenti composti:

- CP1 (Conducibilità, Nitrati, Magnesio)
- CP2 (Cloruri, Potassio)
- CP3 (Calcio)

In generale, è vantaggioso eseguire l'analisi dei gruppi direttamente sugli assi principali, perché questi sono una combinazione lineare delle variabili originarie e costituiscono un sistema ortogonale, caratteristiche che favoriscono la cluster analysis.

Lavorare con le componenti principali nell'analisi dei gruppi comporta tuttavia una difficoltà di interpretazione dei cluster trovati, essendo non univocamente identificabile la corrispondenza tra le variabili chimiche e gli assi principali.

Al fine di rendere più interpretabile i gruppi provenienti dalle tecniche di classificazione si è deciso di considerare un solo composto nella classificazione al posto degli assi principali. Come criterio si è scelto di considerare il composto con il massimo coefficiente di variazione per CP1 e i cloruri per CP2 (Tabella 1 e Tabella 2). Alla fine di questa elaborazione sono stati scelti i composti Nitrati, Cloruri e Calcio, che appartengono a situazioni ortogonali tra loro e che meglio sintetizzano l'ambiente chimico della falda.

Per quanto riguarda i dati meteorologici è noto che sicuramente la pioggia influisce sui livelli di carica batterica alla fonte. Però occorre poter discriminare pure l'evento di correlazione temporale tra il picco di pioggia e quello della portata. A questo fine, è stata effettuata l'analisi della cross-correlazione (Anderson, 1958) fra portata e

pioggia per capire quale è il ritardo medio temporale tra i due massimi locali. Tale ritardo riflette la sensibilità del sistema pioggia-suolo-falda-sorgente che dipende ovviamente dalle caratteristiche geologiche e idrodinamiche del bacino studiato.

Dallo studio delle cross-correlazioni si verifica che mediamente entrambe le sorgenti rispondono con un lag temporale medio di 4 giorni tra l'evento di portata e quello di pioggia (Figura 3 e Figura 4) con una correlazione di circa 0,4. Da considerare che il campionamento sia della pioggia che della portata è effettuato quotidianamente e che quindi il segnale non è continuo, ma discreto. Il ritardo medio trovato deve intendersi come la risposta del bacino nel suo insieme all'evento pioggia.

Questa informazione risulta fondamentale perché suggerisce di includere nella classificazione non solo l'evento di pioggia concomitante, ma anche quelli fino a 4 giorni precedenti.

Per le variabili microbiologiche sono stati scelte le cariche a 22° e a 37° (C22-C37) rappresentative sia dell'inquinamento naturale che quello animale o antropogenico.

Alla fine quindi si è deciso di considerare nella classificazione le seguenti variabili:

- Variabili di natura fisica T, Portata, Pioggia (Lag=0, 1, 2, 3, 4)
- Variabili di natura chimica Nitrati, Cloruri, Calcio
- Variabili di natura microbiologica C22, C37

Analisi cluster

Una volta determinate le variabili fondamentali, si è potuto passare all'ulteriore fase di elaborazione che ha per obiettivo l'accorpamento dei dati in insiemi statisticamente omogenei, ovvero al trattamento dei dati con la cluster analysis o analisi dei grappoli.

L'obiettivo di tutte le tecniche di classificazione (Fraire, 1994; Sadocchi, 1990) consiste nel:

- Cogliere l'informazione dai dati.
- Individuare l'eventuale presenza di cluster naturali.
- Selezionare tipologie rappresentative dell'intero collettivo (scelta del modello e del numero dei cluster).
- Ridurre il numero di unità statistiche.

È necessario precisare che per realizzare una partizione dei dati elaborati, è indispensabile assegnare un criterio in base al quale si esegue la classificazione. Infatti si potrebbero cercare cluster di forma sferica, allungati, correlati e così via. Inoltre bisogna tener in considerazione che queste tecniche sono utili quando si devono sintetizzare dati statistici multidimensionali (numero delle variabile maggiore di 3) per i quali è impossibile una visualizzazione grafica.

La tipologia della classificazione dipende dal metodo usato per selezionare i dati. Nel caso della statistica classica e dei metodi gerarchici e non gerarchici valgono per i cluster i seguenti criteri aggregativi (Fraire, 1994):

- Metodo di Ward (cluster sferici)
- Metodo del legame singolo (cluster allungati)

- Metodo del legame medio (cluster con stessa varianza)
- Metodo del legame completo (adatto a cluster non sferici)
- Metodo del centroide
- Metodo delle K-medie
- Metodo del centroide

La rete di Kohonen è un metodo non supervisionato alternativo a quello classico e permette di aggregare cluster correlati tra loro (a prescindere dall'intensità dell'unità statistica considerata).

Da queste brevi considerazioni, risulta quindi che i livelli di informazione ottenibili dai due metodi possono coincidere o meno, dipendendo dal raggruppamento naturale dei dati.

Comunque il risultato della classificazione consiste nella individuazione di P-gruppi diversi e ben separati caratterizzati da:

- Omogeneità delle unità statistiche di appartenenza (Minima Varianza Within)
- Distanza tra i gruppi (Massima Varianza Between)

Dovendo trattare una mole notevole di unità statistiche è necessario ricorrere alle suindicate tecniche per valutare l'aggregazione più naturale dei dati in esame.

I metodi di classificazione utilizzati sono stati due:

Metodo delle K-medie

Le unità statistiche elaborate inizialmente sono circa 791 e quindi non è stato possibile ricorrere ai metodi gerarchici (analisi del dendogramma) per stabilire il numero di cluster.

Nell'ambito dei metodi di classificazione di tipo non gerarchico, si è usato il metodo delle k-medie. Tale metodo richiede di fissare a priori il numero dei cluster nei quali si vuole che vengano suddivise le unità statistiche iniziali e una volta fissato il numero, vengono calcolati i centri iniziali (*Initial seeds*) sulla base di un criterio statistico ben individuato (es. ordinamento crescente di determinati caratteri delle unità statistiche).

Eseguito il primo step, si ottengono dei miglioramenti della partizione iniziale riallocando le unità statistiche di modo che esse risultino più vicine ad un dato centro iniziale rispetto ai rimanenti centri. Iterando il procedimento, si ottengono man mano nuovi centri di gravità dei cluster finché il processo converge e i centri non variano più.

La metodologia usata, permette di individuare cluster omogenei per intensità del fenomeno ed è molto sensibile all'individuazione degli outlier.

Rete di Kohonen

Una caratteristica fondamentale delle reti di Kohonen è la loro capacità di apprendere in modo automatico (*non supervised*), cioè interagendo direttamente con il processo

reale da classificare, senza ricorrere a meccanismi di premi o punizioni esplicite (come invece succede per le reti *supervised*) (Kohonen, 1984).

La rete è costituita da due strati di neuroni interconnessi (connessioni infra strato), uno di ingresso ed uno di uscita. I neuroni in uscita sono inoltre connessi tra di loro (connessioni laterali o intra-strato) in modo da ottenere una bolla di attivazione locale per ogni unità o pattern presentato in ingresso.

Per primo alla rete vengono assegnati i valori casuali dei pesi tra lo strato d'ingresso e i valori di quello di uscita e viene presentato in ingresso un determinato pattern da classificare. Di tutti i neuroni dello strato di uscita, solo uno (*Winner Takes All Strategy*) (Pessa, 1993; Cammarata, 1990), viene modificato in maniera da avvicinarsi al vettore rappresentativo dell'unità statistica da classificare, trascinando tutti quelli che risultano in un opportuno vicinato rientrante nel raggio della bolla di attivazione. Alla presentazione del pattern successivo, viene ripetuto lo stesso procedimento, finché alla fine della presentazione di tutto il set di dati si ottiene una struttura ordinata di nodi associati in maniera biunivoca ad un determinato pattern.

Durante la fase di apprendimento, ad ogni presentazione data di un pattern, vengono inoltre modificati in maniera decrescente due parametri tipici di queste architetture, il tasso di apprendimento e il raggio della bolla di attivazione dei neuroni di uscita. Per i dati esaminati, è stata considerata la seguente funzione decrescente di questi due parametri:

$$F(n) = A / (1 + B t)$$

dove A e B sono costanti durante l'apprendimento e rappresentano i valori iniziali e la rapidità della discesa rispettivamente e t è la t-esima presentazione del pattern.

Nella elaborazione dei dati sono stati scelti i seguenti valori delle costanti:

	Parametro di apprendimento	Raggio della bolla
A	0,4	3
B	0,01	0,05

Dato che i neuroni dello strato di uscita sono tutti proiettati su una iper sfera di raggio unitario, il risultato fornito dalle reti di Kohonen consiste nella individuazione di cluster composti da unità statistiche correlate tra loro, indipendentemente dall'intensità del fenomeno studiato.

Alcune considerazioni debbono esser poste riguardo l'ottimizzazione dell'uso delle reti di Kohonen.

L'apprendimento è automatico perché tutti i pattern presentati verranno assegnati ad N neuroni dello strato di uscita. N può essere qualsiasi numero purché:

- sia basso rispetto ai valori da classificare (non avrebbe senso altrimenti la sintesi dei dati);
- sia maggiore del numero di situazioni correlate che si ritiene esistenti (anche se si abbondasse con i neuroni dello strato di uscita, alcuni di questi non verranno associati a nessun pattern, ottenendo così automaticamente l'attivazione solo di quelli significativi per la classificazione).

Un altro aspetto da tenere in considerazione nell'apprendimento, è che l'ordine di presentazione dei pattern, i valori dei parametri di apprendimento e del raggio di attivazione influiscono pesantemente sulle capacità di associazione. Tra le situazioni ambigue per l'apprendimento può verificarsi che i parametri della rete si "raffreddino" troppo presto (ossia la rete non si modifica più) rispetto ai pattern in ingresso, o che all'inizio vengono presentati pattern dello stesso cluster, in modo che la rete si specializza subito e la classificazione potrebbe risentirne.

In definitiva, quello che indubbiamente si guadagna con la rete di Kohonen in automazione rispetto ai modelli classici, deve essere supportato da una adeguata conoscenza preventiva del *data set* esaminato che conduca alla giusta scelta iniziale e temporale del parametro di apprendimento e del raggio della bolla di attivazione.

Modello per la carica batterica

Sulla base di quanto esposto, si è proceduto alla classificazione dei dati.

Al fine della classificazione occorre stabilire le variabili da usare nelle unità statistiche. All'inizio dell'elaborazione, sono state assunte le seguenti 12 variabili: Pioggia(dd-4), Pioggia(dd-3), Pioggia(dd-2), Pioggia(dd-1), Pioggia(dd-0), portata(dd), Taria(dd), Nitrati(dd), Cloruri(dd), Calcio(dd), C22(dd), C37(dd), dove dd rappresenta il giorno di riferimento.

Come si nota, sono stati inclusi nella classificazione pure gli eventi di pioggia fino a 4 giorni prima, sulla base delle considerazioni pervenute dall'analisi delle autocorrelazioni tra la portata e la pioggia.

Questa scelta è risultata di fatto la vera novità di tutto lo studio, perché è equivalente ad includere nella classificazione direttamente la dipendenza causale nel tempo fra le variabili (nel nostro caso come la carica batterica risponde agli eventi di pioggia).

Per poter valutare le due tecniche usate per classificare, si sono per primo elaborati i dati con il metodo non gerarchico. Con questo metodo, la partizione ottimale ottenuta consiste di 5 cluster i cui centroidi (espressi in unità di misura naturali) sono dati in Tabella 3. Già con questa prima elaborazione, si può notare come l'aver incluso nel modello i dati di pioggia a diversi lag temporali consenta di interpretare immediatamente le possibili cause di inquinamento batterico. Si nota infatti per entrambe le sorgenti come i massimi di carica batterica si abbiano in concomitanza dei picchi di portata, ma soprattutto in corrispondenza di eventi eccezionali di pioggia, per cui cadono mediamente 31 mm di pioggia per Lasen A e 24 mm per Lasen B per 5 giorni consecutivi. Inoltre si intravede pure a quali livelli di carica batterica corrispondono situazioni di scarsa piovosità e di media piovosità.

Il dato che comunque è evidenziato dall'approccio classico è che essenzialmente la carica batterica risponde differentemente a seconda che piova lo stesso giorno e quello precedente o dal 2° al 4° giorno prima.

Tenendo in mente questa indicazione, sono stati elaborati gli stessi dati con la rete di Kohonen usando come variabili per la pioggia la media giornaliera dal 4° al 2° giorno precedenti (PG(432)) e la pioggia del giorno precedente e dello stesso giorno (PG(10)).

Così facendo, le variabili usate nella classificazione sono scese a 9 dalle 12 della elaborazione classica.

La rete di Kohonen, con i valori dei parametri di apprendimento e il raggio della bolla definiti precedentemente, ha fornito per entrambe le sorgenti una partizione a 10 cluster, la cui composizione dei centroidi è data in Tabella 4.

Sia per Lasen A che B si verifica che gli eventi di massima carica batterica costituiscono lo 0,7% del totale. Al fine di interpretare il significato dei cluster, sono stati calcolati due rapporti caratteristici definiti come:

$$R_{carica} = C22/C37$$

$$R_{pioggia} = PG(432)/PG(10)$$

Quest'ultimo rapporto è indicativo della prevalenza della pioggia che mediamente è caduta dal 4° al 2° giorno prima e dal 1° allo stesso giorno, al netto del valore. Quando il rapporto vale 1, significa che l'intensità è stata la stessa, quando è minore di uno è piovuto maggiormente lo stesso giorno o quello precedente mentre se è maggiore di 1 è prevalente la pioggia mediamente caduta 3 giorni prima. Per i cluster corrispondenti al massimo della carica batterica questo rapporto vale 0,5 per Lasen A e 2.5 per Lasen B.

Si osserva che i livelli medi di C22 e C37 sono nettamente più alti per Lasen B rispetto a Lasen A e il fatto che i massimi si verificano in situazioni opposte potrebbe dimostrare che la vulnerabilità biologica delle due sorgenti è differente. Per Lasen A sembrerebbe che gli eventi legati al ruscellamento ($R_{pioggia} < 1$) siano la causa principale dell'improvvisa comparsa di massimi di carica batterica, mentre per Lasen B lo siano i contributi di falda ($R_{pioggia} > 1$).

Riguardo i valori di R_{carica} si possono fare delle considerazioni interessanti. Tale numero esprime la disproporzione esistente tra C22 e C37. Se l'origine della carica batterica fosse la stessa si dovrebbe ottenere sempre lo stesso rapporto nelle diverse situazioni, a prescindere dai livelli di intensità. Mediamente su tutti i cluster, le due sorgenti hanno rapporti diversi (3,0 per Lasen A e 4,8 per Lasen B) denotando che in Lasen B è favorita la C22 rispetto a C37 e che l'origine dell'inquinamento batterico è differente per le due sorgenti come si nota in Tabella 4. Il cluster No. 1 di Lasen A presenta $R_{carica} = 5,4$, ben più grande rispetto al valore medio di 3,0, e $R_{pioggia} = 0,1$, ossia una aggregazione fortemente legata al ruscellamento.

Questo significa che se piove molto lo stesso giorno o quello prima, ci si deve aspettare una disproporzione a favore di C22 rispetto a C37 per Lasen A.

Per Lasen B il minimo di $R_{pioggia}$ è per il cluster No. 4 ($R_{pioggia} = 0,2$), ma R_{carica} è 4.1 ossia minore del valore medio 4,8. Sembrerebbe che, per gli eventi di ruscellamento, la disproporzione favorisca la C37 rispetto alla C22, ossia che Lasen B è più sottoposta all'impatto dell'inquinamento microbiologico di origine antropogenica legato alla C37.

Per cercare di sintetizzare le informazioni derivanti dalla classificazione con Kohonen, in Figura 5 e Figura 6 sono stati riportati i valori dei centroidi della Tabella 4 delle variabili C22 e C37 sia in funzione degli eventi di pioggia che mediati su tutti e cinque i giorni per le due sorgenti.

Per Lasen A si evidenzia un trend lineare per gli eventi di pioggia immediati, mentre per Lasen B questo avviene con gli eventi dal 4° al 2° giorno prima.

Se si considera il valore globale medio della pioggia su tutti i giorni fino al 4° (PG(01234)), si è ottenuta la seguente relazione analitica con i relativi valori dei parametri:

$$C = \alpha \exp(\beta \text{ PG}(01234)) \quad (1)$$

dove C è la carica batterica totale, α e β sono i parametri calcolati della regressione e rappresentano rispettivamente i valori iniziale e il tasso di variazione della carica. Per le due sorgenti i valori calcolati dei parametri sono:

	Lasen A	Lasen B
C22	$\alpha=1,99$	$\alpha=11,89$
	$\beta=0,073$	$\beta=0,083$
C37	$\alpha=1.22$	$\alpha=2.24$
	$\beta=0.030$	$\beta=0.103$

Queste relazioni sono molto interessanti perché potrebbero quantificare numericamente l'esposizione all'inquinamento microbiologico delle due sorgenti.

Quando PG(md 01234)=0 (assenza di pioggia) è evidente come la C22 influisca maggiormente su Lasen B ($\alpha=11,89$) che su Lasen A ($\alpha=1,99$).

Il tasso di sensibilità alla pioggia media è maggiore per C22 rispetto a C37 per Lasen A ($\beta(\text{C22})=0,073$ contro $\beta(\text{C37})=0,030$) ed è invertito per Lasen B ($\beta(\text{C22})=0,083$ contro $\beta(\text{C37})=0,103$). Questo dimostrerebbe che Lasen B, anche se con livelli di inquinamento microbiologico basso, è più esposta all'impatto di inquinamento di natura antropogenica rispetto a Lasen A.

La relazione trovata (1) potrebbe inoltre essere applicata dal punto di vista legislativo, perché fornirebbe la carica batterica aspettata in relazione ad un ipotetico evento di pioggia o, invertendo la questione, fissato un livello di attenzione (valore guida) per la carica (Cvg) batterica fornire indicativamente i mm di pioggia che mediamente devono cadere in cinque giorni (PG(01234)).

Quest'ultimo aspetto può essere ricavato facilmente invertendo l'equazione (1), ottenendo la seguente relazione che fornisce i livelli di pioggia medi su 5 giorni che producono un livello stabilito di carica batterica:

$$\text{PG}(01234) = 1/\beta \ln(\text{Cvg} / \alpha) \quad (2)$$

Applicando alla (2) i valori guida di legge per la carica batterica $\text{C22vg}=100$ e $\text{C37vg}=10$ (DPR n. 236) e sostituendo ad α e β i valori dei parametri trovati, si ottengono i seguenti valori dei mm di pioggia (mm(C22) e mm(C37)) che deve cadere mediamente in cinque giorni per le due sorgenti:

	Lasen A	Lasen B
mm(C22)	53,7	25,5
mm(C37)	70,0	14,6

Ne emerge un dato interessante sotto molteplici aspetti.

- Viene confermato che Lasen A è generalmente più protetta per entrambe le forme di contaminazione microbica esaminate. Infatti deve cadere circa 2,1 volte di pioggia in più rispetto a Lasen B per C22, e circa 4,7 in più per la C37 per raggiungere i valori guida di legge.

- Lasen A inoltre risulta più esposta all'impatto dell'inquinamento biologico di origine naturale, perché deve piovere mediamente di meno per raggiungere i limiti di legge rispetto all'inquinamento antropogenico.

- Lasen B presenta una situazione nettamente peggiore e di impatto predominante opposto, perché bastano solo 14,6 mm di pioggia media su 5 giorni contro i 25,5 per raggiungere i limiti di legge per la C37 e la C22 rispettivamente. Questo dato confermerebbe la maggiore vulnerabilità delle acque di sorgente di Lasen B all'inquinamento di natura antropogenica.

Conclusioni

I risultati finora ottenuti hanno permesso la determinazione di alcune situazioni "tipo" legate alla portata media e alla composizione chimico-fisica delle acque sorgive. Si può notare che la composizione chimica media dei cluster così ottenuti potrebbe riflettere quella degli strati di terreno attraversati dalle acque sorgive.

Dal momento che esiste presumibilmente una relazione tra i parametri chimici, fisici e quelli microbiologici, per ogni classificazione è stata associata la relativa caratterizzazione biologica, ottenendo una corrispondenza tra cariche batteriche totali e composizione chimico-fisica del cluster.

La classificazione con la rete di Kohonen ha permesso di individuare delle situazioni verosimili dal punto di vista microbiologico, fornendo una possibile giustificazione per i livelli di carica osservati. Dalle classificazioni così ottenute, è stato inoltre calcolato un modello analitico che fornisce i valori di carica batterica a 22°C e a 37°C in funzione degli eventi di pioggia che si verificano nello stesso giorno e nei quattro precedenti.

Tale metodologia appare sicuramente promettente, ma necessita di ulteriori approfondimenti e verifiche utilizzando un protocollo sperimentale "ad hoc" per meglio studiare le relazioni esistenti tra parametri chimico, fisici e microbiologici e per ovviare agli inconvenienti derivati dalla discretizzazione eccessiva dei dati.

Tabella 1.- Lasen A (1996-1998). Statistica descrittiva dei dati.

	media	Dev Stn	Cv	Min	Max
PIOGGIA [mm/g]	3,93	11,12	2,83	0,0	114,0
PORTATA [L/sec]	0,74	0,60	0,81	0,1	4,7
pH	7,64	0,06	0,01	7,3	7,8
COND. [μ S/cm]	377	11	0,03	329	440
CLORURI [ng/L]	0,85	0,08	0,09	0,5	1,5
NITRATI [ng/L]	3,71	0,71	0,19	2,3	6,4
OSSIDAB. [ng/L]	0,53	0,21	0,39	0,3	3,8
CALCIO [ng/L]	68,92	2,47	0,04	60,0	78,0
MAGNESIO [ng/L]	13,19	1,13	0,09	11,0	18,0
SOLFATI [ng/L]	5,81	0,44	0,08	4,8	8,6
ALCALINI [ng/L]	275,17	8,78	0,03	240,0	299,0
SODIO [ng/L]	1,40	0,22	0,16	0,9	2,0
POTASSIO [ng/L]	0,33	0,08	0,23	0,2	0,5
T ACQUA [°C]	10,0	0,5	0,05	7,5	11,5
T ARIA [°C]	9,8	6,4	0,65	-8,0	25,0
C22 [ufc/mL]	14,91	287,43	19,27	1	7000
C37 [ufc/mL]	2,04	14,51	7,12	0	350
COL.Tot. [ufc/100mL]	0,94	6,12	6,51	0	120
COL.FEC. [ufc/mL]	0,53	5,18	9,87	0	120
E.COLI [ufc/100mL]	0,41	5,00	12,29	0	120
STR.FEC. [ufc/100mL]	0,62	7,59	12,30	0	138
AER. hidr [ufc/100mL]	13,23	25,18	1,90	0	120
ELMINTI [n°/L]	1,02	5,21	5,10	0	100

Tabella 2.- Lasen B (1996-1998). Statistica descrittiva dei dati.

	media	Dev Stn	Cv	Min	Max
pH	7,61	0,09	0,01	7,4	7,9
COND.	387	14	0,04	340	429
CLORURI	0,77	0,11	0,14	0,4	1,5
NITRATI	2,78	0,45	0,16	1,6	5,0
OSSIDABILITA	0,51	0,14	0,27	0,1	1,8
CALCIO	69,66	2,93	0,04	45,0	79,0
MAGNESIO	14,28	1,27	0,09	12,0	19,0
SOLFATI	6,20	2,23	0,36	5,1	54,0
ALCALINITA	283,05	11,59	0,04	244,0	317,0
SODIO	1,67	0,26	0,15	1,0	2,6
POTASSIO	0,21	0,07	0,34	0,1	0,5
T ACQUA	10,22	0,96	0,09	8,0	12,0
C.BATT.22	32,89	295,04	8,97	1	7000
C.BATT.37	7,73	61,97	8,02	0	1400
COL.TOT.	2,67	7,17	2,68	0	90
COL.FEC.	0,78	3,97	5,11	0	61
E.COLI	0,61	3,90	6,39	0	61
STR.FEC.	0,71	5,17	7,31	0	80
R.AER.	25,11	37,74	1,50	0	120
ELMINTI	4,02	4,85	1,21	0	50
PORTATA	0,47	0,55	1,17	0,1	5,9

Tabella 3.- Centroidi dei cluster calcolati con il metodo non gerarchico.

Lasen A	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
PG(dd-4)	1,1	7,1	1,3	23,0	2,2
PG(dd-3)	1,1	5,1	2,3	37,4	2,1
PG(dd-2)	1,4	6,1	1,4	36,1	2,2
PG(dd-1)	2,1	4,6	2,0	39,6	3,6
PG(dd)	2,7	3,0	1,2	20,3	6,9
CLORURI	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9
NITRATI	3,2	3,9	3,9	4,6	4,1
CALCIO	69,1	67,4	67,4	71,2	71,6
C22	3,1	2,2	2,2	18,3	4,2
C37	1,7	1,1	1,2	2,5	1,7
PORTATA	0,7	0,7	0,7	2,8	0,7
Temperatura	9,8	17,6	2,5	9,2	16,7

Lasen B	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
PG(dd-4)	24,2	4,0	1,5	2,1	1,0
PG(dd-3)	24,4	3,6	1,7	2,7	0,7
PG(dd-2)	25,2	3,5	2,0	2,7	0,8
PG(dd-1)	25,4	3,2	2,1	3,2	0,6
PG(dd)	22,0	2,4	1,6	5,5	0,2
CLORURI	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8
NITRATI	2,7	2,9	2,5	2,8	2,8
CALCIO	70,2	70,0	67,7	70,1	69,7
C22	249,4	21,0	12,9	21,8	22,0
C37	58,8	5,1	2,5	5,1	5,1
PORTATA	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Temperatura	9,2	16,7	7,1	5,1	4,3

Tabella 4.- Centroidi provenienti dalla rete di Kohonen.

Lasen A	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
PG_234	4,4	1,6	1,7	3,4	2,1	1,3	12,7	1,4	28,6	36,1
PG_01	31,7	1,7	3,9	3,4	1,3	2,3	5,7	0,9	53,3	14,0
Rpioggia	0,1	1,0	0,4	1,0	1,6	0,6	2,2	1,5	0,5	2,6
PG(md 01234)	15,3	1,6	2,6	3,4	1,7	1,7	9,9	1,2	38,5	27,2
CLORURI	0,8	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8
NITRATI	4,4	3,7	3,7	3,5	4,2	3,0	4,5	3,8	4,1	4,9
CALCIO	69,4	73,4	68,2	66,3	69,3	69,6	69,4	67,3	71,3	70,3
C22	20,2	2,2	2,1	1,8	1,8	4,0	2,9	1,8	35,7	7,8
C37	3,7	1,4	1,1	1,1	1,1	2,1	1,2	1,2	5,0	1,5
Rcarica	5,4	1,5	1,9	1,6	1,6	1,9	2,4	1,6	7,1	5,1
PORTATA	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	8,5	0,9
TEMPERATURA	12,2	16,5	12,2	18,1	16,7	7,5	15,7	1,5	10,4	8,4
N Eventi (Tot=425)	16	42	46	74	77	74	31	51	3	11
[%]	3,8	9,9	10,8	17,4	18,1	17,4	7,3	12,0	0,7	2,6

Lasen B	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
PG_234	15,2	0,9	1,7	9,6	3,9	2,6	2,1	2,2	0,6	51,3
PG_01	8,6	1,5	1,9	50,0	5,2	2,0	2,2	2,4	1,3	20,3
Rpioggia	1,8	0,6	0,9	0,2	0,7	1,3	0,9	0,9	0,5	2,5
PG(md 01234)	12,5	1,2	1,8	25,8	4,4	2,4	2,1	2,3	0,9	38,9
CLORURI	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9	0,7
NITRATI	3,1	2,4	2,7	2,5	2,3	2,9	3,3	3,2	2,7	2,4
CALCIO	71,6	68,5	72,2	71,6	67,6	73,1	69,5	69,0	64,1	70,3
C22	37,3	6,7	14,5	88,1	14,6	14,7	13,6	15,4	25,8	330,0
C37	7,0	1,4	3,4	21,6	2,3	5,5	2,8	1,9	5,0	168,7
Rcarica	5,4	4,6	4,2	4,1	6,4	2,7	4,8	8,2	5,2	2,0
PORTATA	1,2	0,2	1,0	1,9	0,4	0,3	0,3	0,6	0,3	12,6
TEMP_FOEN	14,7	9,6	3,0	11,4	16,9	17,2	18,4	6,1	3,9	11,2
N Eventi (Tot=415)	29	60	47	8	71	54	80	41	22	3
[%]	7,0	14,5	11,3	1,9	17,1	13,0	19,3	9,9	5,3	0,7

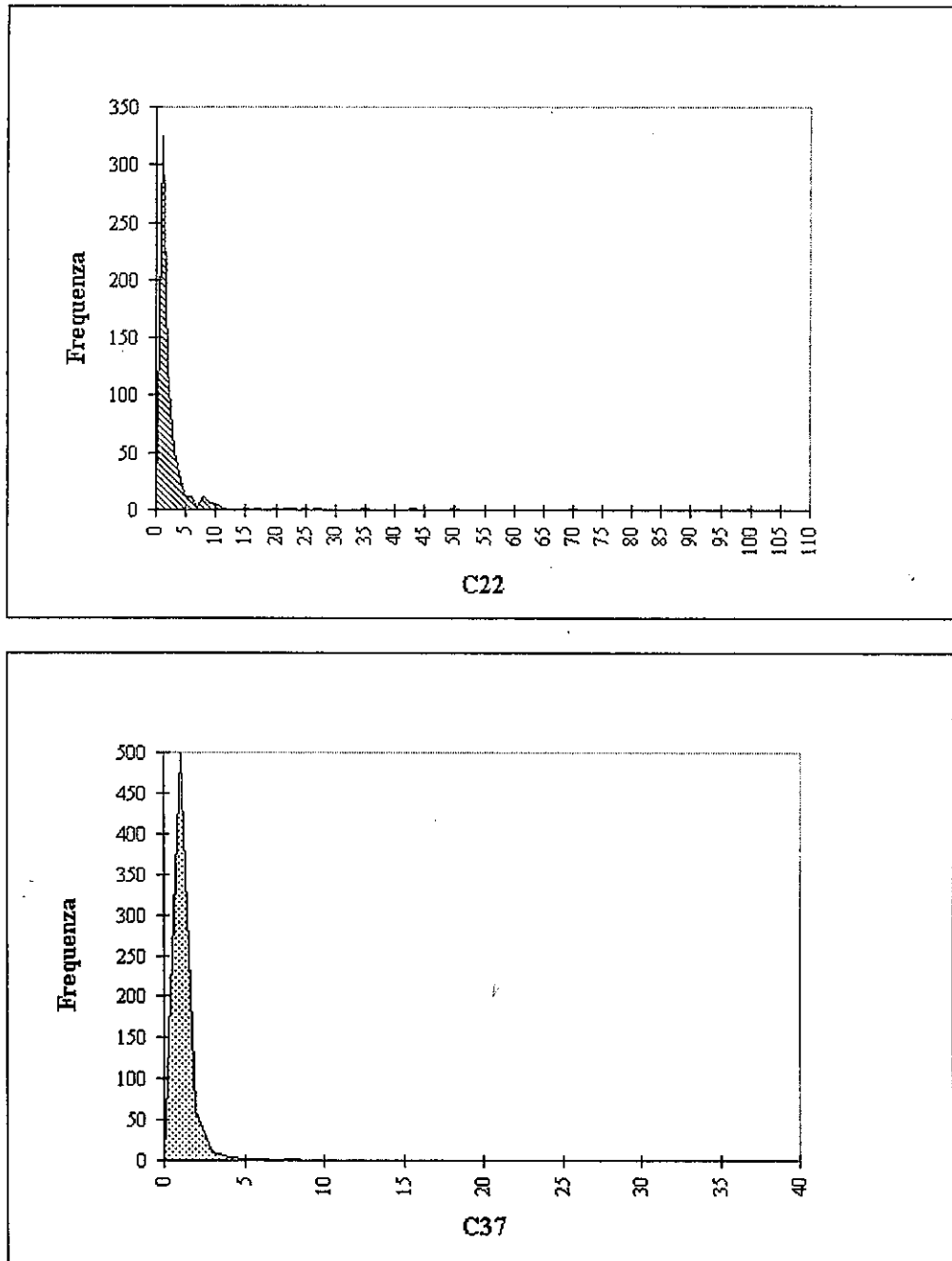


Fig. 1 - Lasen A. Funzione di Distribuzione

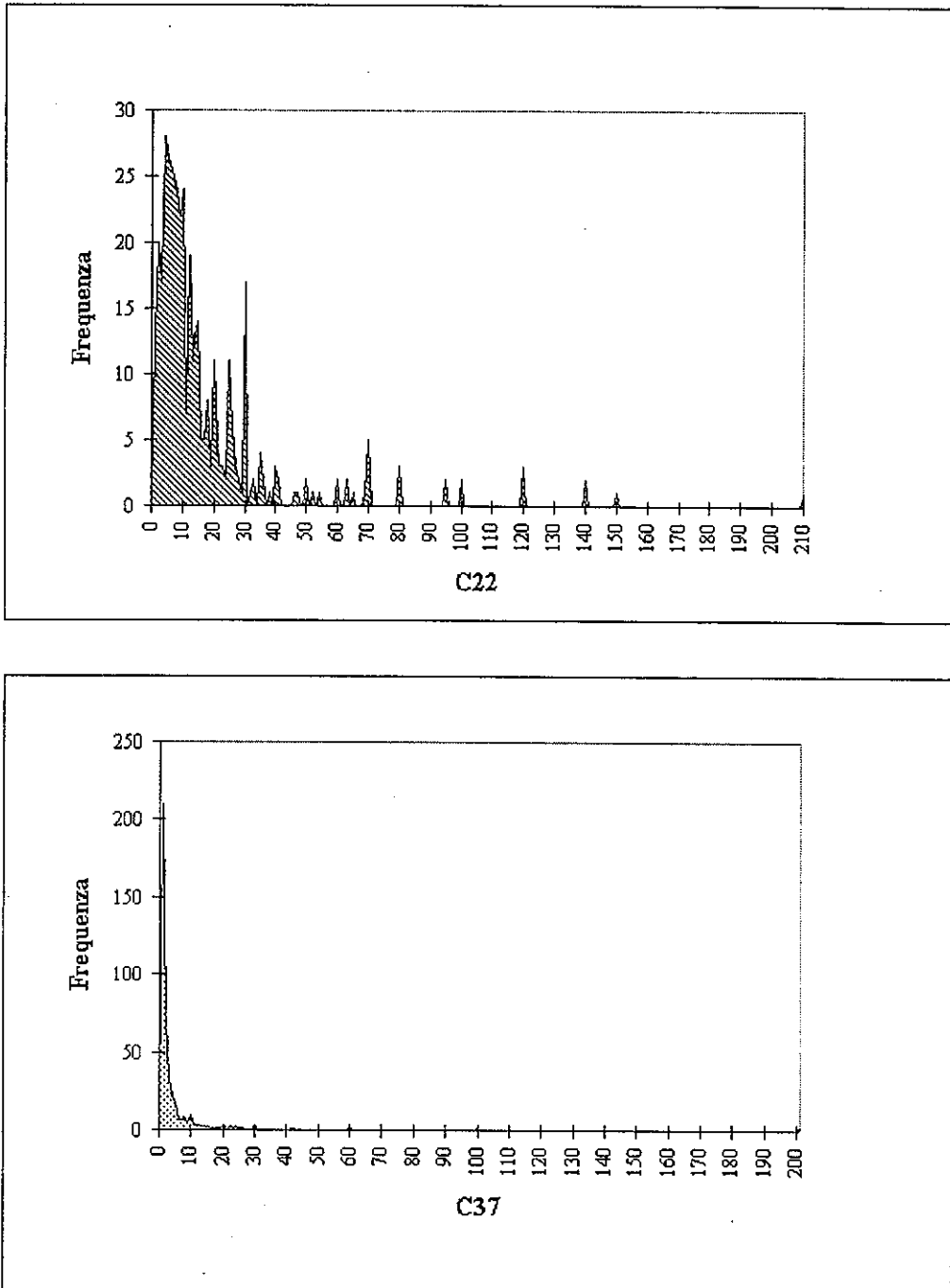


Fig. 2 - Lasen B. Funzione di Distribuzione

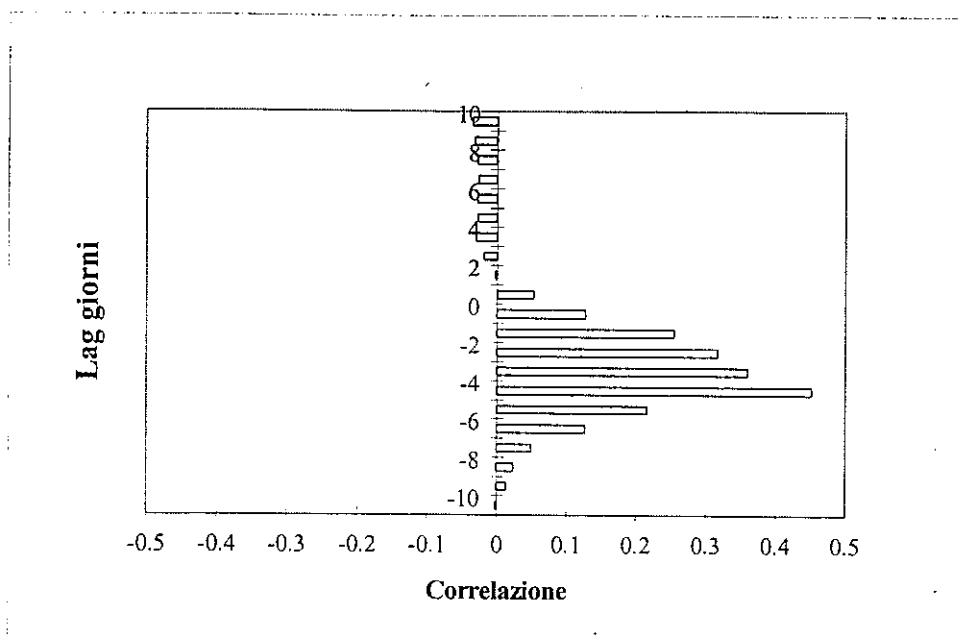


Fig. 3.- Lasen A. Cross-correlazione tra Pioggia-Portata

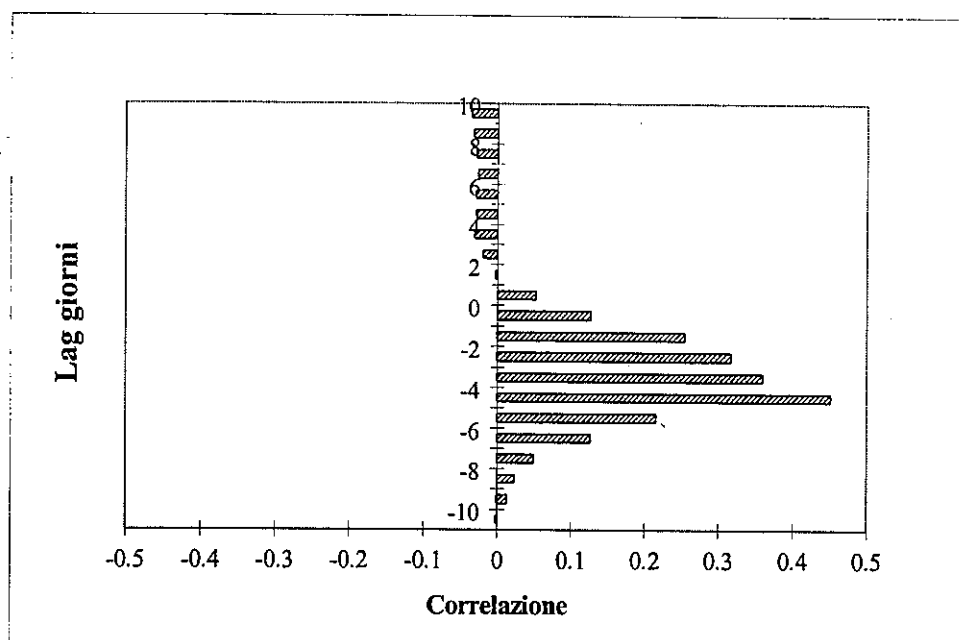


Fig. 4.- Lasen B. Cross-correlazione tra Pioggia-Portata

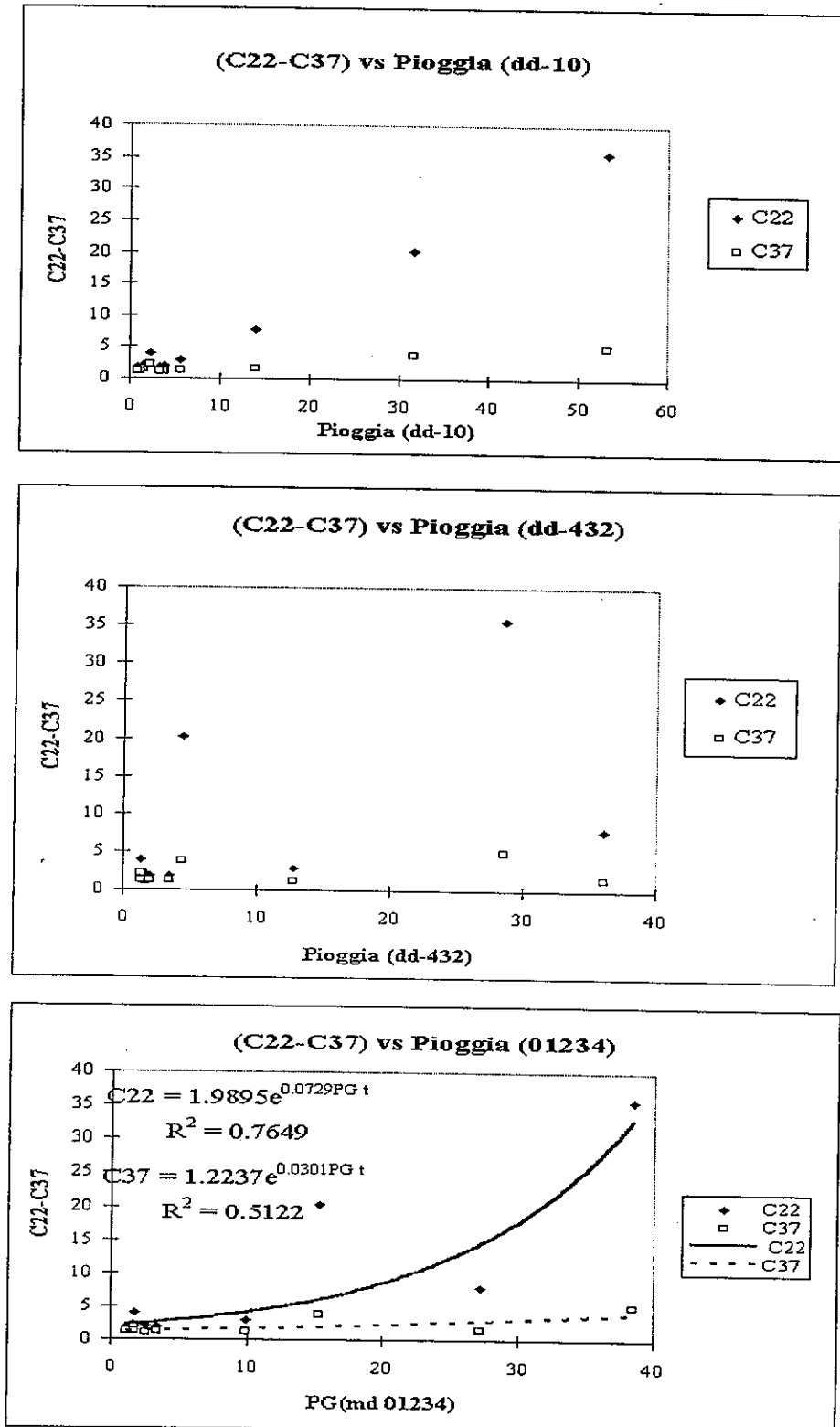


Fig. 5. Rete di Kohonen: Analisi dei centroidi (Las A)

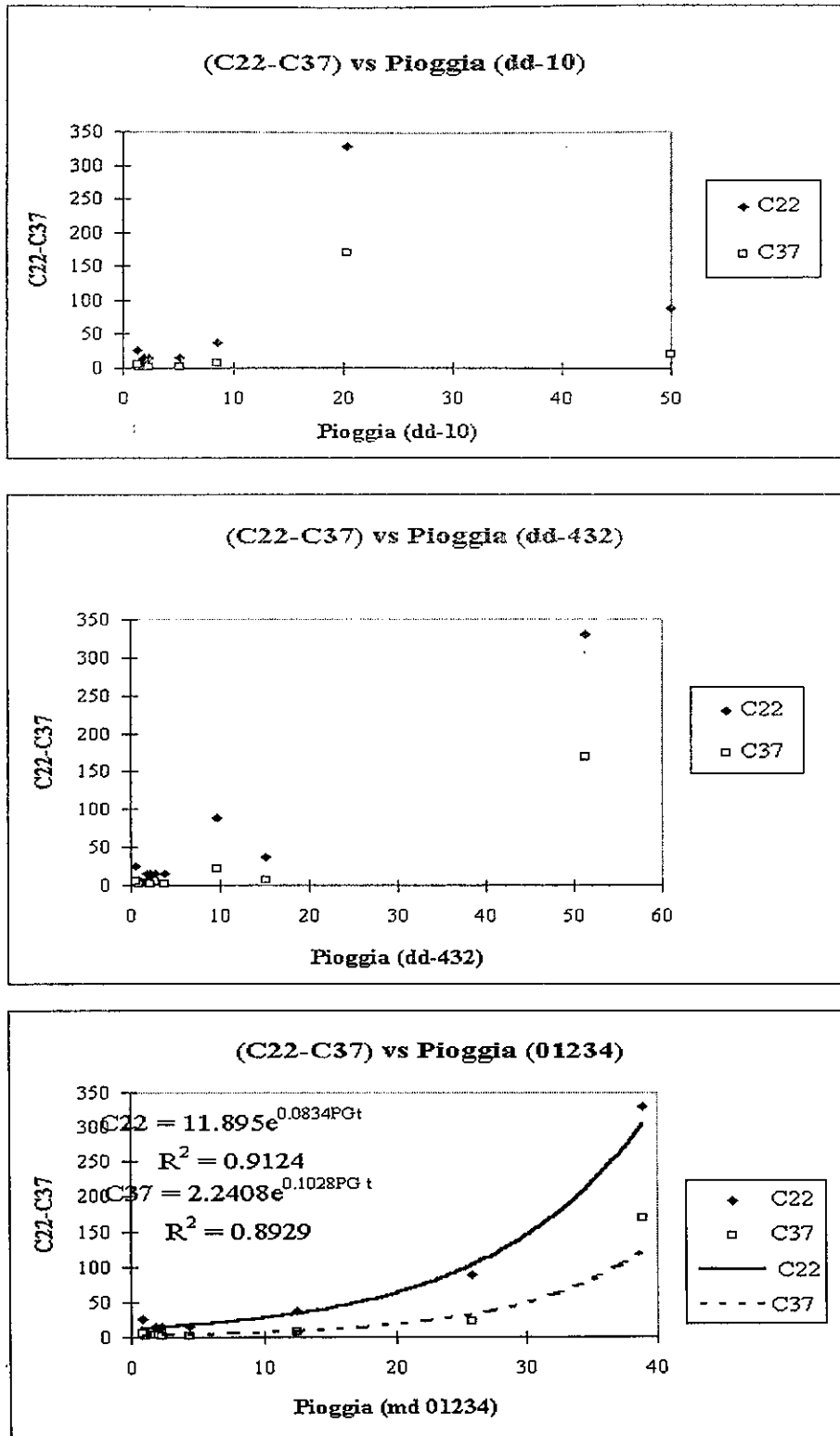


Fig.6- Rete di Kohonen: Analisi dei centroidi (Las B)

Bibliografia

Anderson T.W., 1958. An introduction to multivariate statistical analysis. Wiley. New York.

Cooley W.W., Lohnes P.R., 1971. Multivariate data analysis. Wiley. New York.

Fraire M., 1994. Metodi di analisi multidimensionali dei dati. Cisu. Roma.

Kohonen T., 1984. Self-Organization and Associative Memory. Springer. Berlin-Heidelberg-New York.

DPR 24.5.88 n. 236. Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987. n. 183. Suppl. Ord. 60 alla Gazzetta Ufficiale n. 152 del 30 Giugno 1998. Serie Generale pp. 1-22.

Pessa E., 1993. Reti neurali e processi cognitivi. *Di Renzo Editore*. Roma.

Cammarata S., 1990. Una introduzione all'«altra» intelligenza artificiale. *Etaslibri*. Milano.

Sadocchi S., 1990. Manuale di analisi statistica multivariata. *Franco Angeli*. Milano.

PROBLEMI IGIENICO-SANITARI DELLE ACQUE DI FALDA IN UNA PROVINCIA MONTANA DEL NORD-EST

Domenico Grazioli^o, Filippo Baratto*

^oULSS 2 Feltre, Dipartimento di Prevenzione

*Libero professionista – Studio Geologico Veneto

Premessa

A dieci anni dall'entrata in vigore del DPR n° 236 del 24.05.1988 può essere utile una riflessione sulla sua applicazione.

Si tratta della prima normativa organica effettivamente adottata in Italia con cui venivano posti vari adempimenti a carico di molti Enti e soggetti pubblici e privati.

Mentre alcuni aspetti risultano inapplicati ad altri adempimenti per esempio i controlli analitici le ULSS diedero subito seguito. Pochi mesi dopo, infatti, nella nostra Provincia di Belluno si ebbe una fotografia dell'esistente relativo alla qualità delle acque che mancava nel passato.

Il substrato geologico

L'Indice di Potabilità (IP) era chiaramente visibile per ogni acquedotto o punto routinario di prelievo ed analisi e differenziato per aree, costantemente anche nel tempo cioè l'indice di potabilità era sempre migliore nella parte alta della Provincia di Belluno che occupa l'area settentrionale del territorio provinciale, con limite la direttrice Ospitale di Cadore-Valle del Mis-Primiero ed è costituita da tipologie di prevalente età triassica a componente carbonatica: Dolomie-Calcarei e tipologie intermedie (se si escludono limitate zone con formazioni metamorfiche pre-carbonifere Agordo-Gosaldo) e della catena Paleo Carnica del Comelico. L'IP era peggiore nella seconda parte che occupa l'area meridionale della Provincia e si localizza essenzialmente nell'ampia Sinclinale di Belluno.

Le calcareo-litologie che caratterizzano il vallone bellunese appartengono ad età che dal giurassico e Cretaceo (litologie calcareo-dolomitiche e marnose) arrivano al terziario caratterizzato da terreni flyscoidi, molasse, marne.

È risultata quindi importante la presenza, nell'ambito del territorio provinciale, di tali differenti complessi litologici, di spessori e tipologie diverse dei terreni sciolti di origine gravitativa (falde detritiche) o deposizionali (morene, alluvioni attuali e/o recenti, coperture fluviali per alterazione del substrato), associati alle condizioni strutturali tettoniche che hanno normalmente un ruolo non marginale nella circolazione idrica sotterranea nel recapito sorgivo (vedasi compartimentazione dei domini idrogeologici, mineralizzazione dell'acqua, etc.) favoriscono una sostanziale diversità tra emergenze dell'area nord e quelle meridionali.

A ciò va associato l'utilizzo del suolo, prevalentemente boschivo-prativo oppure sterile (rocce affioranti) nell'area settentrionale, prativo ma anche a vocazione colturale (mais, foraggio, vite) nell'area meridionale.

La stessa componente antropica intesa come superfici edificate, sia come infrastrutture di rete ha una valenza diversificata tra le due aree suddette, con un prevalente peso di quella meridionale. Da qui la differente qualità intrinseca della risorsa idropotabile e le conseguenti opere di salvaguardia.

Nel vallone bellunese predominano le sorgive ai margini delle conoidi in quanto le caratteristiche idrologiche sono legate a condizioni prevalenti di permeabilità per porosità di terreni alluvionali.

Nel Cadore e nell'Agordino predominano le sorgenti create da strati impermeabili supportanti rocce permeabili.

Le linee interpretative

Il fatto che l'indice di potabilità fosse sostanzialmente influenzato in maniera negativa da diffusi problemi di carattere microbiologico specie nelle zone carsiche nella stagione calda ha dato luogo a varie indagini, su diversi piani, per cercare di interpretare, se possibile prevenire od almeno prevedere il fenomeno e i conseguenti negativi effetti per le Comunità locali delle zone Alpine e montane in genere, di ordine igienico-sanitario, gestionale, economico, amministrativo e, in taluni casi, anche sotto il profilo penalistico. Si sono così elaborati i dati anche per sottozone (es. Feltrino orientale in cui l'IP è migliore e occidentale in cui è peggiore), si è svolta un'opera sistematica e capillare di censimento, rilevazione e valutazione di tutte le 147 sorgenti acquedottistiche dei 18 Comuni dell'ULSS N° 2 e delle 548 fontane acquedottistiche e non acquedottistiche dei suddetti Comuni e del parco Nazionale Dolomiti Bellunesi oltre al sistematico e continuo controllo routinario previsto dall'allegato II del DPR 236/88, cercando di correlarli anche con i dati meteorologici, (Tabella 1-2).

Questa migliore conoscenza del nostro territorio, specie per quello che succede nell'atmosfera e sopra il suolo, non ci ha però consentito di capire cosa succede sottoterra, quando le precipitazioni si infiltrano nel sottosuolo ed interagiscono con il suolo stesso e gli strati geologici.

La ricerca di un modello

Per cercare di elaborare un modello interpretativo di questi fenomeni che potesse essere valido per sorgenti montane (orogenetiche) è stata attivata dal SIAN Acque Potabili del Dipartimento di Prevenzione ULSS N° 2 di Feltre (BL) dal 1995 una vasta collaborazione con Enti pubblici e soggetti privati, in questa sede parzialmente rappresentati, che su base volontaria, hanno collaborato per gli obiettivi sopra accennati al fine di fornire alla popolazione un'acqua di migliore qualità complessiva,

possibilmente senza trattamenti o almeno di prevedere la necessità di potabilizzazione con cloro o U.V. sulla base dell'ipotesi che:

$$\text{In.P.} = \text{Qpr} \times T$$

dove In: P. indice di non potabilità = $1/IP$

Q pr = quantità delle precipitazioni

T = temperatura dell'aria.

Il modello Lasen Alta e Bassa

A tale scopo il Servizio Igiene Alimenti Nutrizione-Acque Potabili del Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda ULSS n° 2 di Feltre (BL), ha individuato due piccole sorgenti captate ad uso acquedottistico dal Comune di Feltre, denominate Lasen Alta e Lasen Bassa, vicine fra loro, come modello di sorgenti in zona montagnosa di tipo carsico.

Dal 19.02.1996 al 18.04.98 queste sorgenti sono state quotidianamente campionate, rilevando la portata, temperatura dell'aria e dell'acqua; i campioni sono stati analizzati dalla Sezione Medico-Biotossicologica e dalla Sezione Chimica del PMP ULSS n° 1 di Belluno (ora ARPAV) e tutti i dati rilevati correlati alle precipitazioni dal Centro Sperimentale Neve e Valanghe di Arabba della Regione Veneto.

I dati e le correlazioni sono stati oggetto di studio e valutazione da parte dell'Istituto Superiore di Sanità, dall'Istituto Superiore per la Sicurezza del Lavoro, discussi con lo studio Geologico Veneto e anche con gli aderenti al progetto INAC della Federazione Speleologica Veneta, con l'ex Dipartimento Igiene Pubblica della Regione Veneto, con la Comunità Montana Feltrina e con il Comune di Feltre in cinque giornate di studio a carattere seminariale.

In questa relazione sono sintetizzati in parte i risultati di questi studi i cui Atti sono raccolti in volumetti, in cui si sono cercati di esaminare sotto i vari profili specialistici dati risultanti da più di due anni di monitoraggio di Lasen A e B nella speranza di poter elaborare una chiave di interpretazione di questo modello di sorgenti montane (orogenetiche) utile, ci auguriamo, a gestori e controllori di acquedotti in zone analoghe, ma anche a coloro che stanno rivedendo la normativa CEE su questo settore tanto delicato e tanto prezioso per la nostra vita.

Riprendendo quanto detto sopra, in sintesi, i caratteri peculiari del comportamento idraulico e chimico-microbiologico della sorgente Lasen Alta e Bassa scaturiscono sia dal suddetto controllo in sito e di laboratorio quotidiano, sia anche dal monitoraggio in continuo della portata (nov.'97-giu.'98), che ha permesso di definire correttamente il tipo ed il tempo di risposta della sorgente alle sollecitudini idriche esterne (precipitazioni).

Pur non essendoci ancora delle conclusioni definitive, si possono fare le seguenti osservazioni:

La sorgente è dotata di un bacino d'alimentazione piccolo < 0,1 Kmq.

La sorgente capta sia acqua sotterranea profonda, sia acqua ipodermica percolante attraverso il suolo e il materasso detritico e ciò rientra nella casistica tipica delle prese del feltrino e più in generale della Provincia di Belluno.

L'acqua sotterranea ha un tempo di permanenza nel sottosuolo di circa tre mesi, come dimostra la generale stabilità geochimica, mentre l'acqua sub-superficiale ha tempi di percorrenza di alcune ore. Quest'ultima caratteristica è stata dimostrata mediante acquisizione in continuo del comportamento idraulico della sorgente nei confronti delle precipitazioni.

La componente idrica superficiale è percentualmente bassa nel quantitativo erogato annualmente, raggiunge, infatti il 10-12% sul totale, ma è la causa principale delle variazioni negative di alcuni parametri chimici, come la torbidità, e, soprattutto microbiologici, anche se non di origine umana.

È quest'ultimo aspetto che caratterizza la non conformità della sorgente al DPR 236 in occasione di particolari condizioni meteorologiche sfavorevole soprattutto in relazione all'intensità del fenomeno. Tali condizioni sembrano avere una reale correlazione con i fenomeni d'inquinamento microbiologico verificatesi durante il periodo di controllo.

L'IP medio, inteso come tra il numero di campioni d'acqua analizzati non conformi al DPR 236/88 e numero totale di campioni analizzati nell'anno per i parametri microbiologici, ha un valore di 0,77, quindi scadente.

Ciò è da imputare all'interazione di più fattori predisponenti quali l'idrodinamica ipodermica dotata di elevata velocità e, quindi, di capacità di trasporto solido, la presenza di abbondante suolo, carattere peculiare nell'area feltrino-bellunese più che in altre aree a quote maggiori, la tipologia della presa e soprattutto le sue precarie condizioni, che impediscono l'ingresso di acqua superficiale/ipodermica.

Lineamenti idrogeologici del feltrino

Ora se analizziamo, pur sinteticamente, sia le condizioni idrogeologiche del territorio feltrino, nel quale è inserita la sorgente Lasen, sia la tipologia ed i caratteri di vulnerabilità di alcune sorgenti feltrine per verificare, in primis, i punti di contatto tra il comportamento di queste e quello della Lasen, con la validazione del modello "Lasen" emerso.

Il territorio feltrino è geologicamente e sinteticamente costituito da tre tipologie litologiche che danno luogo a tre domini idrogeologici, ciascuno dotato di caratteristiche intrinseche di conduttività e di vulnerabilità. Fattori, questi, che hanno un ruolo determinante sia nell'idrodinamica locale, sia nella disponibilità di quantitativi idrici sfruttabili, sia nella protezione degli stessi.

Le tre litologie rappresentanti sono, partendo dalle più recenti geologicamente.

I depositi quaternari sia di fondo valle come i materassi alluvionali recenti ed attuali, sia di versante come le falde detritiche e i corpi morenici. Si tratta di terreni dotati di permeabilità primaria, e sede di falde acquifere, importanti nelle alluvioni vallive, modeste e frammentarie nelle morene. Il grado di vulnerabilità è elevato nelle prime,

costituite da granulometrie grossolane, è sicuramente inferiore nei depositi morenici per la presenza di abbondante matrice fine inglobante granulometrie eterogenee.

I terreni terziari costituiscono un complesso litologico granulometricamente eterogeneo poiché si va da formazioni marnoso-argillose a corpi arenaceo-conglomeratici, ma hanno affinità idrogeologica. È dotato, infatti, di proprietà idrodinamiche scarse con bassa permeabilità sia primaria che secondaria. Ciò, se da un lato sfavorisce il percolamento e l'accumulo idrico sotterraneo, dall'altro favorisce generali condizioni di bassa vulnerabilità intrinseca e limitata vulnerabilità effettiva. Tali terreni occupano il fondo-valle e le quote medie dei versanti.

Infine c'è il complesso carbonatico, nel quale si raggruppano, qui, le formazioni tardo-triassiche e giurassiche, poiché, pur con le distinzioni mineralogiche che le caratterizzano, hanno simile comportamento idraulico e grado di vulnerabilità. L'idrodinamica è, infatti, governata dal diffuso e complesso reticolo fessurativo e dall'esteso fenomeno carsico. Ciò conferisce al complesso una permeabilità elevata di tipo secondario. La vulnerabilità intrinseca è pure elevata, mancando generalmente la copertura del suolo ed essendoci i condotti carsici che favoriscono il percolamento dei potenziali inquinanti verso i punti di recapito sorgivi con tempi minimi, insufficiente a qualsiasi intervento di prevenzione. I centri di pericolo in tale contesto sono di tipo reale legati all'attività di pascolo ovino/bovino. Il complesso carbonatico caratterizza le quote più elevate del territorio feltrino.

Sorgenti captate ed inquinamento nel feltrino.

Dopo quanto detto sinteticamente nell'inquadramento idrogeologico del territorio e quanto riportato sopra circa la sorgente Lasen A e B, vagliamo il comportamento di alcune (25) sorgenti significative distribuite nel territorio feltrino, al fine di verificare, pur con le precauzioni che si deve avere a studi non ancora ultimati, la validità dei dati emersi da Lasen come modello.

Si sono presi alcuni parametri chimici e microbiologici. In particolare si sono valutati i parametri Cl , NO_3 , in quanto indicatori di eventuale inquinamento chimico esterno, ed i parametri microbiologici come C_{22} , C_{37} , Coli totali e Coli fecali.

In premessa si dice che esiste una discrepanza tra i dati di Lasen A che sono media di un lungo periodo di controllo e i dati delle altre sorgenti, pur con tali limiti si possono fare le seguenti deduzioni, esplicitate anche con le Figure sottostanti.

Il tenore di cloruri è altamente variabile nei punti considerati ($CV=93\%$), ma Lasen è al di sotto della media (1,29 mg/L) tendente al limite fiduciario inferiore (0,81). La sorgente Lasen riceve un contributo di Cl da parte del suolo, come quasi tutte le sorgenti feltrine.

Lo stesso comportamento si ha nei confronti dei Nitrati: (Lasen = 3,68 mg/L, media 5,12 mg/L, L.F. inf=2,25 L.F. sup=7,98 mg/L).

Relativamente alla carica batterica a C_{22} e C_{37} , il comportamento di Lasen A è in media con i valori registrati nelle restanti sorgenti analizzate: C_{22} e Lasen=3 media=4; C_{37} Lasen=1, media=2.

Entrambi i parametri sono conformi al DPR 236/88, ma ai fini del progetto modellistico, significa che esiste un carattere di superficialità dell'acqua che s'infiltra sia in Lasen che nelle sorgenti feltrine-parametro C_{22} (flora saprofitica idrotellurica); esistono degli episodi d'inquinamento potenziale che rendono sfavorevole il trend nei confronti del DPR 236 parametro C_{37} (flora adatta alla temperatura di animali a sangue caldo).

Per quanto riguarda i parametri coli totali e fecali Lasen presenta a due anni valori minimi (1) rispetto alla media (6,33), regolata da 6 sorgenti sulle 25 analizzate per coliformi totali; valori nulli rispetto alla media (5,17) regolata da 5 sorgenti su 25. Ciò sta a significare che anche per questi parametri il comportamento microbiologico di Lasen rientra nello standard delle sorgenti feltrine e può essere proposto a modello.

Infine, da una prima analisi dei dati reperiti presso il SIAN/Acque Potabili emerge che circa 26% delle sorgenti feltrine presenta fenomeni d'inquinamento microbiologico nell'intero anno solare e che tale fenomeno è prettamente concentrato nelle prese ubicate nel substrato calcareo o nel materasso detritico calcareo di versante. Il restante numero di sorgenti e, comunque, interessato da fenomeni d'inquinamento microbiologico distribuiti nelle varie stagioni, con picchi nelle stagioni estiva ed autunnale, quando è maggiore non tanto o solo la quantità, ma anche l'intensità delle precipitazioni.

Il bacino alimentante è mediamente piccolo (raramente $>1\text{Km}^2$), mentre i casi d'inquinamento microbiologico statisticamente maggiori sono nelle sorgenti di bassa (300-400 m) e media quota (900-1000), dove si hanno rispettivamente presenze antropiche e di alpeggio.

Tali sorgenti hanno una portata medio-piccola inferiore a 10L/s e più frequentemente $<5\text{L/s}$. La tipologia dei manufatti di presa maggiormente a rischio è rappresentata dal bottino (circa 42%) anche se accompagnato da opere filtranti, ma, pur distanziati, sono a elevato rischio anche opere profonde come i cunicoli e le traverse. Tutto ciò sta a significare che, comunque, esiste un'elevata precarietà delle condizioni di recupero delle acque sotterranee e convogliamento nella rete acquedottistica, con conseguente abbassamento delle garanzie igienico-sanitarie dell'acqua erogata.

Questa precarietà captativa associata alle condizioni citate nei punti precedenti, ed al fatto che molte sorgenti recuperano non solo acqua profonda, ma superficiale e/o ipodermica percolante velocemente attraverso il suolo ed arricchendosi di sostanze sospese (vedasi torbidità) e di organismi microbici (vedasi Coliformi totali e/o Streptococchi), fa sì che il territorio sia caratterizzato da un IP basso. Per IP si intende in rapporto tra numero di campioni d'acqua analizzati sfavorevoli, quindi non conformi al DPR 236/88, ed il totale dei campioni analizzati in laboratorio. Tale parametro permette di fotografare le condizioni della qualità idropotabile erogata dalla sorgente/sorgenti dell'acquedotto comunale. Secondo tale metodologia il feltrino ha un IP medio nel periodo 1988-97 pari a 0,79, quindi basso, anche se il valore medio annuale è in crescita, passa, infatti, da 0,63 nel 1988 a 0,82 nel 1997 con punte di 0,94.

Conclusioni

Confrontando quanto detto sinteticamente nell'inquadramento idrogeologico del territorio e nel paragrafo relativo allo *status I.s.* delle sorgenti feltrine, con quanto riportato sopra circa la sorgente Lasen A e B si può, pur con le precauzioni che si deve avere a studi non ancora ultimati, valutare l'esperienza di monitoraggio idraulico-chimico-batteriologico di Lasen positivamente, avendo permesso di conoscere scientificamente e professionalmente quanto magari era possibile, in precedenza, ipotizzare conoscenze del territorio e della propria materia.

Ha, inoltre, permesso d'individuare la metodica più appropriata e corretta da proporre per lo studio della qualità delle sorgenti, in ambiente montano, destinate all'uso umano, arricchendo la casistica degli approcci allo studio ed al progetto finalizzati a correggere, in adeguamento e compatibilmente con le caratteristiche del territorio nel quale è inserita la risorsa idropotabile, quanto stabilito dal DPR 236/88.

Tabella 1.- Monitoraggio di fontane pubbliche ULSS 2.

Comuni n. 18	N. Fontane	Numero di campioni		N. Campioni non Conformi		Suppletivi	Non campionati
		C2	C4	C2	C4		
Alzano di Piave	17	17	/	3	/	3+3	/
Arsiè	71	60	10	11	9	/	2
Cesiomaggiore	18	13	5	1	3	/	/
Feltre	60	44	9	1	6	/	9
Fonzaso	24	24	1	3	/	2	/
Lamon	22	15	4	6	3	/	3
Pedavena	1	/	1	/	1	/	/
Quero	8	5	1	/	1	/	2
San Gregorio	22	14	10	/	2	1	/
Santa Giustina	36	34	2	/	/	/	/
Seren del Grappa	22	20	1	3	/	3+3+2	1
Sovramonte	37	24	5	12	3	19	8
Vas	13	9	3	/	3	/	1
Mel	55	13	33	/	22	/	8
Lentiai	13	12	1	6	1	7	/
Sedico	70	22	11	3	6	/	37
Sospirolo	25	11	9	/	1	/	5
Trichiana	34	5	29	/	21	/	1
Totale	548	342	135	49	82	43	77

Tabella 2.- Intervento di miglioramento della qualità delle acque.

Opere di presa censite ed ispezionate	130
Vasche serbatoi, partitori ed ispezionati	132
Reti acquedottistiche controllate	75
Fotografie eseguite	594
Campionamenti e relative analisi effettuati in sorgente (C4)	106
Campionamenti e relative analisi effettuati in vasche/utenza (C2-C3)	214
Determinazioni della radioattività	101
Litri di acqua campionati ed analizzati	1812

Il Settore di Igiene Pubblica (SIP) di Feltre ha censito tutte le risorse idriche comunali destinate al consumo umano presenti nel territorio dell'USL nel periodo tra il 24/10/1991 e il 22/12/1993.

In totale, sono stati effettuati 320 campioni, le cui analisi ne hanno evidenziato 267 favorevoli e 53 sfavorevoli di cui 51 lo sono per parametri batteriologici e 2 per parametri chimico-fisici.

Per quanto concerne la radioattività, sono stati eseguiti 101 campioni, risultati tutti regolamentari.

Bibliografia

Berbenni P., 1993. Verso la revisione della normativa sull'acqua potabile – *Inquinamento*. 12.

Burigo R., Oppo C. Atti 1° giornata di studio Modello Lasen A e B – Feltre 26.07.97

Cremonini L. Esperienze in una ULSS coincidente con una Comunità Montana. *Atti Convegno Nazionale Igiene Pubblica nelle Zone Montane* – S. Pellegrino 01.06.91.

D'Aramengo C.B. Martel Riv. CAI 109/5-1988.

Decet F., Grazioli D., Pierobon F., Burigo R., 1993. Approccio multidisciplinare ai problemi igienico-sanitari delle acque di cisterna della malghe della Comunità Montana Feltrina. *Igiene Moderna* 99/4.

D.P.R. 24 maggio 1988, n° 236. Attuazione della Direttiva CEE n° 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. Suppl. G.U. n° 152 del 30.06.88.

Gasparo F. Semeraro I., 1974. Considerazioni su una risorgiva temporanea in Val Canzoi. *Atti Mem. Comm. Grotte*. E. Boegan 13.

Giampietro P., 1993. La tutela delle risorse idriche: attualità e prospettive – *Gea 5* –

Grazioli D., 1990. Problemi igienico sanitari nelle malghe della Comunità Montana Feltrina ULSS n° 4 del Veneto – *Tec. San. I/XXVIII*.

Gruppo Speleologico CAI, 1993. Nota preliminare sul carsismo dei Piani Eterni. Valdobbiadene – CAI Feltre.

Legge n° 36 del 05.01.1994. G.U. n° 14 del 19.01.94.

Merlo G. ed Altri 1993. I sottoprodotti della disinfezione nella potabilizzazione delle acque. *Ingegneria Ambientale*, n. 10.

Pelliccioni A., Burigo R., Oppo C. L'analisi con le reti neurali Workshop - Roma 26-27.10.1998.

Servizio Geologico d'Italia. Carta geologica d'Italia. Foglio 22. Feltre. Seconda edizione.

UN TEST DI QUALITÀ DELLE SORGENTI DELLE DOLOMITI (ALPI ORIENTALI) BASATO SUGLI EQUILIBRI CALCITE -CO₂- ACQUA E DOLOMIA -CO₂ - ACQUA

Fabio Decet

Agenzia Regionale di Protezione Ambientale Veneta, Sez. Chimica, Belluno.

Introduzione

Una questione attualmente di particolare interesse riguarda la possibilità di descrivere i sistemi idrogeochimici reali in modo sufficientemente preciso per mezzo della termodinamica (Tauson e Akimov, 1997). Un prerequisito essenziale di tale approccio è che i sistemi esaminati siano all'equilibrio, cosa che probabilmente non è sempre verificata. Anche in questi ultimi casi è tuttavia importante cercare -come fece notare Sillen (Stumm e Morgan, 1981) - quale particolare equilibrio approssimi la realtà e chiarire quali siano i fattori che lo disturbano. Nel caso delle acque naturali in ambiti calcarei è noto che i sistemi carbonatici controllano in larga misura il pH e la concentrazione dello ione calcio (Stumm e Morgan, 1981; Balck, 1998) ed in letteratura sono riportati numerosi modelli di calcolo, piuttosto complicati ed usualmente gestiti da computer (Bail e Trudgill, 1995; Hem, 1992), che si possono usare per calcolare le concentrazioni dei soluti a partire da pochi parametri - chiave oppure per verificare il grado di deviazione dall'equilibrio. Tutto questo non elimina, come è stato fatto notare da Hem (1992), la necessità di schemi interpretativi semplici, quali ad esempio i metodi grafici.

Scopo di questo lavoro è verificare se tramite questi ultimi sia possibile identificare gli equilibri interessati (in particolare gli equilibri in ambiente aperto e chiuso relativi a calcite e dolomia) e distinguere gli ambienti naturali indisturbati (intendendo con tale termine l'assenza di apporti antropici) da quelli che non lo sono.

Tutto questo può costituire la base per un modello che consenta di prevedere in modo rapido e semplice la qualità delle acque da utilizzare in base ad un numero ristretto di parametri e quindi diminuire i costi dei programmi di campionamento ed analisi.

Materiali e metodi

In questo lavoro sono stati presi in considerazione 155 sorgenti della Provincia di Belluno campionate nel corso degli anni 1996-97.

I metodi analitici utilizzati sono stati indicati in dettaglio in precedenti lavori (Decet e Salmaso, 1997; Decet, 1993).

Sono stati considerati i campioni che presentavano un errore del bilancio ionico inferiore al 5%;

per ciascuna specie determinata (eccetto l'alcalinità) sono state tenute carte di controllo utilizzando come standard interno un campione di acqua naturale stabilizzato le cui concentrazioni relative a Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K erano state controllate in precedenza mediante lo standard BCR 298.

L'affidabilità delle metodiche relative ai parametri principali sono state verificate inoltre tramite la partecipazione ai circuiti di controllo della Comunità Europea (Progetto MED-BAS, "Fresh water")(Mosello *et al.*, 1997).

La determinazione del pH è stata eseguita in laboratorio entro 3-6 ore dal prelievo.

Lo strumento impiegato è stato calibrato con tamponi Merck (pH 4,0 e 7,0) controllati a loro volta con gli standard certificati Radiometer i quali infine sono riferibili direttamente all'elettrodo standard ad idrogeno (Christensen *et al.*, 1991).

Scelta degli equilibri termodinamici

Poichè le modalità con le quali le acque pervengono alla scaturigine variano sia da sorgente a sorgente sia temporalmente, la riduzione dei molteplici casi reali a pochi e semplici modelli ideali va considerata fin d'ora una drastica semplificazione.

Gli equilibri tra la roccia calcarea e l'acqua si possono ridurre a 3 casi limite (per chiarezza si considererà in seguito la calcite come l'unica fase solida):

1) Sistema chiuso bifase calcite-acqua. Per la regola delle fasi (Stumm e Morgan, 1981) esso presenta 3 gradi di libertà e quindi la concentrazione dello ione calcio ed il pH sono definiti una volta fissate pressione, temperatura e concentrazione totale del carbonio inorganico (per una discussione dettagliata si rimanda al testo di Stumm e Morgan).

In condizioni tipiche si ottengono valori di ione calcio di circa 20 mg/l ed un pH di circa 9,9 (Stumm e Morgan, 1981), notevolmente differenti rispetto ai valori usuali riscontrati nelle acque sorgive dell'ambito dolomitico (si confronti la Tabella 1 dalla quale risulta che, per tale ambito, i valori di pH sono compresi tra 7,32 8,17 e le concentrazioni di calcio tra 32 e 91 mg/l). Per tale motivo il sistema bifase non sarà più considerato in seguito.

2) Sistema trifase aperto acqua-calcite-CO₂. In questo caso i gradi di libertà sono 2 e quindi è sufficiente fissare la pressione e la temperatura per definirlo completamente. La situazione descritta da questo sistema è probabilmente rappresentativa delle condizioni incontrate dall'acqua nel suo passaggio attraverso il suolo e la zona insatura dell'acquifero (Morse, 1990; Voigt, 1990) e come si vedrà in seguito i valori di pH e di concentrazione dello ione calcio ottenuti con tale sistema sono compatibili con quelli reali dell'area esaminata.

3) Sistema trifase chiuso acqua-calcite-CO₂. Anche in questo caso i gradi di libertà sono 2 e quindi è sufficiente fissare P e T per definirlo completamente; la pressione parziale di CO₂ iniziale diminuisce fino al raggiungimento dell'equilibrio. Il procedimento di calcolo (per il quale si rimanda ai testi Stumm & Morgan (1981) e Morse (1990) non è affatto semplice. Nell'ipotesi che si abbiano inizialmente una

pressione di CO_2 inferiore a 0,01 atm e pH pari a 5,0 (condizioni che si possono ritenere rappresentative di quelle presenti nel suolo) si otterrebbero, dopo equilibrio con calcite, valori finali di pH nettamente superiori a 8,5, incompatibili con i valori rilevati nelle sorgenti (Stumm e Morgan, 1981).

Per calcolare il prodotto di solubilità della calcite si è adottata l'eq:

$$P_s \text{ calcite} = (\text{Ca}^{++}) * (\text{CO}_3^{--}) * f_{\text{Ca}} * f_{\text{CO}_3} \quad 1)$$

I coefficienti di attività f_{Ca} ed f_{CO_3} sono stati calcolati in base all'equazione di Güntelberg (2):

$$-\log f = \frac{A * z^2 * (I) \exp(0.5)}{1 + (I) \exp(0.5)} \quad 2)$$

Per A è stato assunto il valore di 0.500 (Stumm e Morgan, 1981; Morse, 1990). z indica la carica dello ione considerato ed I la forza ionica calcolata in base all'equazione:

$$I = 0,5 * (\text{Somatoria } (c_i * z_i^2)) \quad 3)$$

La forza ionica delle sorgenti considerate in questo lavoro è di norma inferiore a 0,01. Le correzioni dovute alla coppia ionica CaHCO_3^+ non sono state considerate sia nel computo delle rette teoriche di equilibrio di calcite (dolomia)- CO_2 -acqua, sia nel caso dei campioni reali perchè implicano correzioni trascurabili. È stato infatti calcolato che in una soluzione contenente 28 mg Ca/l, 125 mg HCO_3^- /l e con pH pari a 8,0, circa il 99% dello ione HCO_3^- è presente come specie libera (Stumm e Morgan, 1981).

Assai modeste sono anche le differenze che si possono avere nel caso di equilibrio acqua- CO_2 -dolomie non considerando (come è stato fatto in questo lavoro) la presenza di coppie ioniche dello ione magnesio.

La concentrazione dello ione calcio in equilibrio nel sistema aperto calcite - acqua - CO_2 è stata calcolata in base all'equazione semplificata riportata da Drever (1988):

$$(\text{Ca}^{++})^3 = \frac{K1 * P_s * K_h * p\text{CO}_2}{4 * K2 * f_{\text{Ca}} * f_{\text{HCO}_3}^2} \quad 4)$$

K1 indica la prima costante di dissociazione dell'acido carbonico, K2 indica il valore della seconda costante di dissociazione dell'acido carbonico, P_s il prodotto di solubilità della calcite, $p\text{CO}_2$ la pressione di equilibrio dell'anidride carbonica (calcolata come di seguito), K_h la costante di Henry relativa alla CO_2 . In Appendice 1 sono riportati i

valori delle costanti in funzione della temperatura. Applicando l'equazione esatta (riportata ad esempio da Morse (1990) si ottengono valori praticamente identici.

Per il calcolo della concentrazione della pressione parziale di equilibrio dell'anidride carbonica, nelle stesse condizioni, si è adottata l'espressione (Drever, 1988):

$$p^2\text{CO}_2 = \frac{(\text{H}^+)^3 * 2 * P_s * f\text{HCO}_3}{K^2_1 * K^2 * K^2_H * f\text{Ca}} \quad 5)$$

Il prodotto di solubilità della dolomia è stato calcolato in base all'equazione :

$$(\text{Ca}^{++}) * (\text{Mg}^{++}) * (\text{CO}_3^{--})^2 * f\text{Ca} * f\text{CO}_3 * f\text{Mg} \quad 6)$$

La concentrazione dello ione calcio nel sistema aperto dolomia- acqua -CO₂ è stata stimata in base all'equazione semplificata :

$$(\text{Ca}^{++})^6 = \frac{P_s \text{ dol} * K^2_1 * K^2_h * P^2 \text{CO}_2}{K^2_2 * 256 * f\text{Ca} * f\text{Mg} * f^4 \text{HCO}_3} \quad 7)$$

$P_s \text{ dol}$ indica il prodotto di solubilità della dolomia, $f\text{HCO}_3$ ed f_{Mg} i coefficienti di attività dello ione bicarbonato e magnesio.

La concentrazione di equilibrio dell'anidride carbonica per lo stesso sistema è stata calcolata in base all'equazione:

$$P^4\text{CO}_2 = \frac{P_s \text{ dol} * (\text{H}^+)^6}{0,0625 * K^4_1 * K^4_H * K^2_2 * f^2 \text{Ca} * f^2 \text{HCO}_3} \quad 8)$$

In Appendice 2 è riportato il procedimento per ricavare le equazioni 7 ed 8.

Nelle eq. 5) ed 8) non è stato impiegato il coefficiente di attività per lo ione idrogeno in quanto il pHmetro offre una stima, anche se non rigorosamente esatta, dell'attività di H^+ . È stata omessa la correzione del pH in base alla temperatura -come indicato da Morse (1990)- in quanto comporterebbe variazioni dell'ordine di 0,01 unità di pH.

Risultati

Di seguito si esaminano le sorgenti appartenenti ai 4 ambiti geologici prevalenti nella regione esaminata (Decet, 1993):

- 1- calcari e calcari magnesiaci
- 2- dolomie

- 3- vulcaniti
- 4- gessi
- 5- substrato siliceo (scisti e porfidi)

L'attribuzione delle sorgenti a ciascun ambito è stata effettuata in base all'esame della geologia del bacino e confermata mediante gli indici chimici elaborati in precedenza (Decet, 1993).

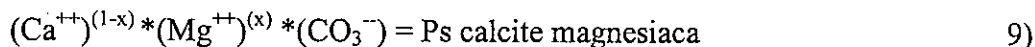
1-Sorgenti di ambito a calcari e calcari magnesiaci

La Figura 1 riporta i valori di pH e -pCa relativi a 58 sorgenti di ambito calcareo e le rette di equilibrio del sistema aperto calcite-acqua-CO₂ calcolate alle temperature di 5°C e di 10°C (entro tali limiti si situano le temperature delle acque considerate).

Va fatto notare che il valore di -pCa corretto per il fattore di attività differisce sensibilmente da quello corretto (di circa 0,17 unità pCa a livello di 70 mg Ca/l) e pertanto in Figura 1 e successive sono sempre stati riportati i logaritmi delle attività dello ione calcio.

I punti della figura che risultano al disopra della retta a 5°C (e che indicano per tale temperatura condizioni di sovrasaturazione rispetto alla calcite) possono essere interpretati sia come effetto di perdite di CO₂ per degasamento sia come risultato di equilibrio con calcite magnesiacca (la solubilità della quale è leggermente superiore a quella della calcite e cresce all'aumentare della frazione molare del magnesio)(Stumm e Morga, 1981; Morse, 1990).

Se la causa fosse attribuibile a quest'ultimo fattore si dovrebbe avere una relazione tra il prodotto di solubilità e la frazione molare di Mg nella calcite calcolato in base all'equazione:



ove x indica la frazione molare del magnesio nella calcite

Supponendo che il rapporto Ca/Mg nella roccia in equilibrio con l'acqua sia uguale a quello rilevato nell'acqua si sono calcolati i prodotti di solubilità in base all'eq. 9 senza tuttavia riscontrare alcuna correlazione significativa (P=0,01) tra la frazione molare del magnesio ed il prodotto di solubilità sperimentale.

Per indagare l'effetto delle perdite di CO₂ in Figura 1 sono riportati i dati relativi ai campioni prelevati alla scaturigine della sorgente Lasen (una sorgente studiata mediante prelievi giornalieri per due anni e la cui temperatura media annua è di 10,0±0,5°C (Decet *et al.*, 1997)) e, rispettivamente nelle successive vasche di calma ed accumulo; i tempi di permanenza stimati in queste ultime sono rispettivamente di 10 e 20 minuti. È evidente il progressivo aumento della sovrasaturazione rispetto alla calcite. È ben noto infatti come la precipitazione della calcite possa esser inibita da concentrazioni anche assai modeste di acidi umici (presenti nella sorgente in esame) e ioni fosfato.

L'ipotesi più probabile per spiegare la dispersione dei punti sperimentali nel campo della sovrasaturazione sembra quindi quella di perdite di CO_2 , le quali possono aver luogo sia nella fase di venuta a giorno dell'acqua sia nel percorso più profondo. In base ai dati a disposizione non è possibile discriminare tra queste due ultime possibilità.

I punti della Figura 1 che risultano al disotto della retta teorica a 10°C indicano probabilmente condizioni di insaturazione rispetto alla calcite.

Nel valutare la dispersione dei dati in Figura 1 occorre inoltre tener presenti le incertezze relative alla misura del pH, della concentrazione del calcio, della temperatura e, non di minore importanza, dei valori delle costanti termodinamiche adottate.

L'indice di correlazione tra pH e $-\text{Log}(\text{Ca})$ per i dati di Tabella 1 risulta pari a 0,78; considerando un outliers esso diviene pari a 0,80 (pendenza della retta 0,42, deviazione standard della medesima pari a 0,042).

La pendenza della retta teorica relativa all'equilibrio della calcite nel sistema trifase suddetto vale 0,517 (si può considerare rettilineo il breve campo compreso tra pH 7,2 ed 8,4). Applicando il test t (14) non si rilevano differenze statistiche significative rispetto al valore sperimentale a livello $P=0,01$.

Se si confrontano i valori dello ione calcio reali con quelli stimati per interpolazione del pH sperimentale sulla retta teorica calcite- CO_2 - acqua a 10°C si ottiene una retta di pendenza 0,939, deviazione standard della stessa pari a 0,083 ed indice di correlazione 0,834.

I valori del calcio così stimati concordano con i valori reali per il 71% dei casi entro $\pm 20\%$ e per il 87 entro $\pm 25\%$.

Il modello sembra quindi consentire previsioni semiquantitative in particolare nel caso di sorgenti che non siano interessate da perdite di anidride carbonica.

Sempre in base alla Figura 1, le sorgenti considerate risultano in equilibrio con pressioni parziali di anidride carbonica sempre superiori a quella atmosferica ed è quindi necessario supporre una fonte alternativa di CO_2 ; essa è facilmente identificabile nel suolo che interessa tutti i rispettivi bacini idrografici.

In definitiva l'equilibrio trifase in sistema aperto calcite- CO_2 -acqua sembra in grado di spiegare in modo sufficientemente preciso le concentrazioni degli ioni calcio ed idrogeno al punto di emergenza delle sorgenti esaminate.

È bene notare a questo punto che una correlazione non indica di per sé una relazione di causa ed effetto e quindi è cosa diversa affermare che il sistema trifase della calcite consente di modellare le concentrazioni di H^+ e Ca^{++} dal dedurre che esso sia realmente seguito all'interno degli acquiferi esaminati.

Per supportare affermazioni di quest'ultimo tipo sono necessarie ulteriori informazioni -come si vedrà in seguito - relative ad esempio al tipo di copertura del bacino idrografico, al tipo di sorgente e di acquifero.

Infine dalla Tabella 1 si può notare che il valore medio del logaritmo del prodotto di solubilità della calcite risulta pari a 8,19 indistinguibile statisticamente ($P=0,01$) dal valore teorico (a 10°C di -8,33 Appendice 1). Si può quindi ipotizzare che negli acquiferi in esame la velocità di dissoluzione/precipitazione non sia, mediamente, un fattore importante.

2-Sorgenti di ambito a dolomie

Sono state considerate 43 sorgenti ubicate in ambiti a dolomie. Va ricordato a tal proposito che non esiste in natura un'unica dolomia ben definita e di composizione teorica (Krauskopf e Bird, 1995).

Sono state prese in esame le acque per le quali il rapporto in moli Ca/Mg è inferiore a 1,7 in modo da eliminare i casi relativi ad equilibri misti calcite/dolomia (in tal caso infatti si dovrebbe raggiungere all'equilibrio un valore Ca/Mg pari appunto a 1,7 (Drever, 1988).

Le incertezze relative al prodotto di solubilità della dolomia sono molto maggiori che nel caso della calcite. Secondo Krauskopf e Bird (1995) le stime del $\log(P_s)$ della dolomia variano di circa 2 ordini di grandezza, da circa -17 a -19; Stumm ritiene che un valore probabile a 25°C sia $10^{-16,7}$ (Stumm e Morgan, 1981). Nel seguito è stato adottato, anche sulla scorta di tali indicazioni, il valore di $10^{-17,0}$ a 5°C. In base all'eq. 7 si può tuttavia notare che la concentrazione dello ione calcio dipende dalla radice sesta del prodotto di solubilità e quindi incertezze anche grandi in quest'ultimo comportano modeste variazioni in pCa.

La retta di regressione calcolata in base ai valori reali (Figura 2) ha un indice di correlazione di 0,70 (pendenza pari a 0,457, deviazione standard della stessa di 0,072).

La differenza tra la pendenza reale e quella teorica (pari a 0,543) relativa all'equilibrio (sistema aperto) dolomia-acqua -CO₂ a 5°C non è significativa a livello $P=0,01$.

La correlazione è evidentemente peggiore se si confrontano i dati reali con la retta relativa all'equilibrio della calcite (Figura 3). In questo caso un buon numero di sorgenti di ambito a dolomie risulterebbero (considerando il sistema calcite-acqua-CO₂) in equilibrio con una pCO₂ inferiore a quella atmosferica il che porterebbe a supporre condizioni di sistema chiuso trifase, difficilmente compatibili con la circolazione di tipo prevalentemente carsico di tali sorgenti.

La dispersione mostrata in Figura 2 può essere spiegata in base a:

- 1- perdita di CO₂ (come visto per la calcite);
- 2- deposizione di calcite; in tal caso l'equilibrio in gioco non è più costituito da dolomia-CO₂- acqua;
- 3- soluzioni insature rispetto alla dolomia;
- 4- equilibri misti calcite-dolomia per i quali non sia stato raggiunto l'equilibrio.

I fattori 1, 2 e 4 hanno l'effetto di spostare i punti sperimentali nella zona di sovrasaturazione della dolomia.

Riguardo al punto 2) va fatto notare che la dolomia, pur essendo più stabile della calcite nel campo di pH in esame, non precipita come tale.

Se si confrontano i valori dello ione calcio reali con quelli stimati per interpolazione del pH sperimentale sulla retta teorica dolomia-CO₂- acqua a 5 °C (retta 2 di Figura 2) si ottiene una retta di pendenza 1,20, deviazione standard della stessa 0,14, indice di correlazione pari a 0,795.

I valori del calcio così stimati concordano con i valori reali per l' 81 % dei casi entro $\pm 20\%$ e per il 93 entro $\pm 25\%$. Il modello sembra quindi consentire previsioni semiquantitative in particolare nel caso di sorgenti che non siano interessate da perdite di anidride carbonica.

In base alla Tabella 2 il valore medio del prodotto di solubilità (pPs) della dolomia calcolato con l'eq. 6) risulta essere di 17,13. Se fosse seguito l'equilibrio della calcite si otterrebbe (eq. 1) un valore del corrispondente pPs pari a 8,47 (più elevato rispetto a quello teorico a 5°C ma ancora non statisticamente differente (P = 0,01)).

Tuttavia la Figura 3 mostra che le sorgenti di ambiti a dolomie costituiscono un dominio a sè stante rispetto a quelle provenienti da calcari e che possono esser meglio descritte dal sistema aperto dolomia-CO₂-acqua anzichè da quello (sempre aperto) calcite - CO₂- acqua.

In base alla Figura 2 è anche possibile stimare un valore minimo del pPs della dolomia in base ai dati sperimentali.

A tale scopo ipotizzo che l'equilibrio dolomia- CO₂ atmosferica - acqua sia raggiunto nelle sorgenti il cui bacino è privo di suolo (e quindi supponendo che siano praticamente assenti le fonti di CO₂ diverse da quella atmosferica); nella realtà si può ritenere che tali condizioni siano approssimate in sorgenti con bacino situato a quote superiori a circa 1800 m e che in Figura 2 sono indicate dai punti prossimi alla condizione $p\text{CO}_2 = 0,00035\text{ atm}$.

Adottando l'eq. 8, (ed inserendo i valori di $p\text{CO}_2 = 0,00035\text{ atm}$, $\text{pH}=8,3$ e $T= 5^\circ\text{C}$) si ricava un valore di pPs per la dolomia pari a 17,62.

Esso costituisce in base alle ipotesi fatte un valore minimo del pPs in quanto la presenza di anidride carbonica nel suolo comporterebbe una diminuzione del pH ed in definitiva (si confronti l'eq. 8) un valore di pPs maggiore. Si noti come piccole variazioni nel pH comportino- a causa dell'elevamento a potenza (eq. 8), grandi differenze nel valore del Ps della dolomia.

3- Sorgenti in ambito a vulcaniti

Le sorgenti a vulcaniti interessano una ristretta area dello Zoldano e Alto Agordino (Decet, 1993). Le rocce sono costituite da depositi di ceneri vulcaniche (per lo più costituite da silicati ed in particolare da albite) frammiste a calcari e dolomie.

Per una individuazione delle sorgenti ci si è avvalsi oltre che dei dati geologici anche del fatto che esse si differenziano rispetto a quelle finora esaminate per elevate concentrazioni di ione sodio e silicio ed elevato rapporto Na/Cl (Decet, 1993).

In Tabella 3 sono riportati i valori di pH, Ca e Ps della calcite di 23 sorgenti in tale ambito geologico. È evidente come il prodotto di solubilità per la calcite, calcolato in base all'eq. 1, mostri un ampio intervallo di variazione. Valgono anche in questo caso le cause indicate a proposito di calcari e dolomie ed in più occorre considerare che:

- 1- sono presenti sia calcari che dolomie
- 2- gli equilibri interessano, anche in modo prevalente, i silicati (anortite ed albite in particolare)

Il punto 2 è evidenziato in particolare dalle sorgenti 2, 15, 16, 17 (Tabella 3) che risultano fortemente sottosature rispetto sia alla dolomia che alla calcite.

L'indice di correlazione pH/pCa in Figura 4, eliminando queste ultime sorgenti, diviene pari a 0,77 e la pendenza (-0,539, dev.std. 0,109) non differisce statisticamente ($P=0,01$) da quella della retta teorica della calcite. È tuttavia evidente che i punti sperimentali mostrino un'ampia dispersione che unita al ristretto numero di campioni non consiglia una trattazione statistica ulteriore, come quella effettuata nei due casi precedenti.

4- Sorgenti su substrati a gessi

Nell'area in esame la fonte principale di solfati è costituita dalla formazione del Bellerophon (Bosellini, 1989) costituita da livelli di solfato di calcio intercalati da dolomie, calcari e depositi ricchi in sostanze organiche. Sovrapposte ad essa, e sovente parte integrante degli acquiferi, vi sono formazioni a dolomie e calcari.

Sono state considerate solo le sorgenti provenienti da tali ambiti con concentrazione in solfato superiore a 100 mg/l.

In questo caso è stato necessario considerare gli effetti delle coppie ioniche relative a CaSO_4° (i contributi derivanti da CaHCO_3° e MgSO_4° sono pari a meno di 1-2 % della concentrazione di Ca totale e quindi si possono ritenere trascurabili).

La concentrazione di CaSO_4° è stata calcolata come indicato in App. 3.

Il grafico pH/-Log (Ca) (Figura 5) mostra una scarsa correlazione che diviene significativa (indice pari a 0,68) solo dopo aver escluso i punti che cadono al disopra della retta teorica dell'equilibrio Calcite- CO_2 -acqua (e dovuti probabilmente a perdite di CO_2).

La dispersione dei punti rimane tuttavia notevole ed è imputabile alla complessa geologia degli acquiferi considerati.

5- Sorgenti su substrato siliceo

È interessante considerare queste sorgenti, benchè non siano evidentemente interessate da equilibri carbonatici, in quanto la loro identificazione sul grafico pH /pCa

risulta facile ed immediata. La Figura 6, relativa a 20 sorgenti, mostra come le acque di questa origine siano in prevalenza insature rispetto alla calcite. In questo caso gli equilibri che determinano il pH sono essenzialmente a carico delle reazioni di dissoluzione dei silicati; attualmente esiste una notevole incertezza riguardo l'esatta natura di queste ultime (Drever, 1988).

APPLICAZIONI DEL GRAFICO pH/-pCa

In Figura 7 sono riportati alcuni esempi, non ristretti al campo delle sorgenti, allo scopo di illustrare come le deviazioni dall'equilibrio possano esser attribuite a specifiche condizioni ambientali.

I punti 1a, 1b, 1c indicano tre pozzi dell'acquifero del T, Stizzon (Feltre, BL) posti ad una altitudine di circa 300 m s.l.m. in zona dedita a coltivazioni, captanti una falda tra -5 e -20 m; è evidente l'equilibrio rispetto alla calcite e l'elevata pressione parziale di CO₂ di equilibrio, segno degli apporti da parte del suolo.

Il punto 2 è relativo ad una piccola sorgente il cui acquifero è costituito da detrito di falda e depositi morenici (costituiti da dolomie) mentre il bacino è completamente ricoperto da suolo di tipo rendzina. È chiara la condizione di equilibrio rispetto alla dolomia e la presenza di apporti da parte del suolo, indicati anche in questo caso dal valore elevato della pCO₂ di equilibrio.

Il punto 3 tratta un'acqua affiorante in una grotta scavata in dolomie (l'origine è confermata dal rapporto in moli Ca/Mg pari a 1,2); è evidente la perdita di CO₂ per degasamento.

Il punto 4 è relativo ad acqua piovana raccolta in una cisterna di conglomerato cementizio. La pCO₂ di equilibrio è di molto inferiore a quella atmosferica e ciò induce ad ipotizzare la presenza di un equilibrio trifase chiuso (si veda l'equilibrio di tipo 3 illustrato in precedenza).

Il punto 5 è relativo allo strato superficiale del lago di S. Croce (BL). Si rileva lo stato di insaturazione rispetto alla CO₂ e di sovraturazione rispetto alla calcite. Questo esempio illustra l'intervento di biomasse e di fattori cinetici (le prime assumono CO₂ che non viene rifornita se non lentamente dall'atmosfera).

Infine il punto 6 indica una piccola sorgente ubicata all'interno della zona coltivata. Si noti l'elevato apporto di anidride carbonica dal suolo; le concentrazioni di cloruro (20 ppm Cl) e nitrato (75 ppm NO₃) indicano chiari influssi antropici.

Una generalizzazione di tali considerazioni è data in Figura 10 che riporta sette aree (la cui estensione è puramente indicativa) ciascuna associabile ad una particolare condizione geologica, di saturazione rispetto all'anidride carbonica, alla calcite (oppure alla dolomia) e di apporti da parte del suolo:

1- Ambito siliceo: insaturazione rispetto alla calcite e dolomia; non è possibile trarre immediate deduzioni rispetto ad apporti da parte del suolo.

2- Ambito a calcari: situazione di equilibrio rispetto alla calcite; sono presenti apporti da parte del suolo.

3- Ambito a dolomie: situazione di equilibrio rispetto alla dolomia; sono presenti apporti da parte del suolo.

4- Ambito a calcari: situazione di equilibrio rispetto alla calcite; non sono presenti sensibili apporti dal suolo.

5- L'ambito di provenienza è da verificare in base al rapporto Ca/Mg; sono presenti apporti del suolo.

6- Sono presenti sia una sovrasaturazione rispetto alla calcite sia apporti da parte del suolo (indicati da equilibrio con $p\text{CO}_2$ superiore a quella atmosferica).

7- Condizioni di sovrasaturazione rispetto alla calcite ed alla dolomia. È da verificare (ad esempio mediante ispezioni sul campo) che non vi sia presenza di ambiente chiuso; non è possibile indicare l'ambito geologico se non conoscendo il rapporto Ca/Mg. Vi sono condizioni di sottosaturazione rispetto all'anidride carbonica atmosferica.

L'operazione di far corrispondere ad una particolare area del grafico pH/-pCa una determinata situazione non è tuttavia priva di rischi nè in assoluto sempre possibile, come sarà chiaro dall'esame della Figura 9 la quale illustra l'ipotetico percorso di una goccia d'acqua dall'atmosfera fino alla sorgente.

Il punto A (Figura 9) indica la situazione dopo che la goccia ha disciolto i sali dispersi come aerosol nell'atmosfera (il punto rappresenta la media ponderata delle acque piovane del 1997 in loc. Lasen (13); B la condizione dopo l'equilibrio con la roccia superficiale ($p\text{CO}_2 = 0,0003 \text{ atm.}$, sistema aperto, eq. 4 e 5); C l'assunzione di CO_2 nel suolo ($p\text{CO}_2 = 0,01 \text{ atm.}$); D l'avvenuta dissoluzione (sistema aperto; eq. 4 e 5) di calcite fino al raggiungimento dell'equilibrio.

Il percorso dal punto B al punto C comporta assunzione di CO_2 da parte della soluzione e quindi restano invariate sia l'alcalinità che la concentrazione dello ione calcio. Una stima del pH al punto C si ottiene facilmente tramite l'equazione (Butler e Cogley, 1998):

$$(\text{H}^+) = \frac{K_1 * \text{KH} * \text{PCO}_2}{(\text{HCO}_3^-)} \quad (10)$$

È da notare che il punto B può esser riferito ad una serie praticamente infinita di differenti percorsi. Ciò illustra bene le difficoltà ed i pericoli connessi col passaggio dal modello alla realtà. In altre parole se si vogliono trarre indicazioni circa il percorso o per meglio dire riguardo "la storia dell'acqua" non è possibile farlo basandosi esclusivamente sul modello. Quest'ultimo può solo aiutare nell'individuare alcune ipotesi che necessitano di conferme ulteriori.

Osservando ancora la Figura 9 si nota infatti che mentre per il punto D è evidente l'apporto da parte del suolo, anche per il punto B tale possibilità non si può escludere senza valutare dei dati aggiuntivi (quali la formazione di cementazioni nella zona di emergenza; le concentrazioni di ioni indicativi di apporti da parte del suolo quali Cl^- e NO_3^- ; il tipo di sorgente: carsica, di affioramento etc.).

Se ad esempio l'equilibrio con la calcite viene raggiunto in un suolo coltivato, ricco di anidride carbonica, alla dissoluzione dei calcari si accompagna la cessione di quantità sensibili di cloruro (va ricordato a tal proposito che il cloruro è stato usato quale indicatore di apporti da parte del suolo (Voigt, 1990; Steinheimer e Scoggin, 1998; Pearce *et al.*, 1986)) le quali rimarranno invariate anche se nella fase di emergenza si avranno sia perdite di CO₂ sia precipitazione di calcite. Come si vedrà in seguito questa situazione è riscontrata comunemente nell'area in esame.

Poichè in ambienti indisturbati (cioè in assenza di apporti antropici) le concentrazioni di ioni cloruro in sorgente sono all'incirca dell'ordine delle concentrazioni medie annuali presenti nelle precipitazioni mentre in presenza di apporti antropici (Voigt, 1990; Steinheimer e Scoggin, 1998) raggiungono concentrazioni nettamente superiori (tipicamente, per l'area esaminata >1 mg Cl/l e >5 mg NO₃/l (Decet *et al.*, 1997), è possibile discriminare tra queste due fonti.

Una conferma che le condizioni prevalenti sono quelle di un sistema aperto deriva anche dall'esame degli acquiferi i quali, nell'area considerata, sono in genere di modeste dimensioni e superficiali. In tali condizioni il raggiungimento dell'equilibrio avviene probabilmente nella zona insatura (ove sono presenti appunto condizioni di sistema aperto (Voigt, 1990)) senza che poi seguano sostanziali modifiche.

In definitiva le sorgenti dell'area esaminata sembrano portare con sé con evidenza le tracce del loro percorso passato ed un grafico pH/-pCa consente di ripercorrerle in modo semplice.

Poichè i parametri chimici di una sorgente di norma variano poco su base annua (Decet, 1993; Decet *et al.*, 1997), le indicazioni sopra elencate si possono trarre sulla base di pochissimi prelievi (al limite uno solo).

Due esempi relativi a sorgenti indagate negli anni 1995-98 possono infine illustrare concretamente le applicazioni del grafico pH/-pCa.

Il primo è costituito da 71 piccole sorgenti del vallone bellunese a quote inferiori ai 700 m s.l.m., i cui bacini sono situati in aree coltivate ed il cui acquifero è costituito da depositi morenici ed alluvionali di tipo calcareo (Figura 10).

In questo caso il prelievo è stato effettuato sempre a rete con conseguente aumento della probabilità di perdite di anidride carbonica e dispersione dei dati sul grafico pH/-pCa.

È evidente in molti casi l'elevata pressione parziale di equilibrio della CO₂ (sintomo di presenza di un suolo ricco); essa si accompagna a concentrazioni di ioni cloruro superiori di molto ai valori presenti nelle deposizioni umide (nell'area esaminata la concentrazione media ponderata annua nelle piogge vale circa 0,38 mg Cl/l) e quindi se ne può dedurre la presenza di apporti antropici (Figura 11).

Concentrazioni elevate di Cl⁻ sono presenti anche nel caso di sorgenti che presentano condizioni di quasi equilibrio con l'atmosfera, segno che è intervenuta sia una perdita di CO₂ sia precipitazione di calcite in acque che inizialmente sono transitate in terreni interessati da apporti antropici.

Due sorgenti mostrano condizioni pronunciate di insaturazione rispetto alla calcite e concentrazioni molto elevati di cloruri (e nitrati); ciò può indicare una circolazione estremamente superficiale in un suolo sostanzialmente privo di calcio.

La Figura 12 illustra l'ubicazione di 6 sorgenti situate a quote variabili tra i 450 ed i 1950 m s.l.m. sul versante sud delle Vette Feltrine su substrati calcarei (Belluno). Per ciascuna di esse è riportata inoltre la posizione sul grafico pH/ -pCa.

Si può rilevare come al diminuire dell'altitudine le sorgenti 1, 2, 3, 4 si allontanano progressivamente dal punto di equilibrio calcite-CO₂-acqua. Ciò è coerente con l'aumento progressivo dell'importanza del suolo e delle attività antropiche al diminuire dell'altitudine.

Il grafico pH/-pCa di Figura 12 permette inoltre di svelare l'influsso del suolo anche quando quest'ultimo non sembra immediatamente evidente in base all'altitudine.

Ad esempio la sorgente n. 6 dovrebbe occupare, a giudicare dall'altitudine, sul grafico una posizione simile a quella della sorgente n.1, mentre risulta in equilibrio con pressioni parziali di anidride carbonica assai più elevate. La fonte aggiuntiva di CO₂ è ascrivibile ad una torbiera che costituisce l'alimentazione della sorgente.

Al contrario la sorgente n. 5 (Figura 12) presenta le caratteristiche tipiche di quote assai superiori ed in effetti, a causa della sua notevole portata (circa 50 l/sec) il bacino di alimentazione si estende a quote ben superiori a quelle di emergenza.

La "storia dell'acqua": un filone di ricerca smarrito?

Che nel secolo scorso fossero disponibili chiare nozioni riguardo le relazioni tra geologia, suolo e composizione delle acque può suscitare (come nel caso di un recente articolo apparso su *Geochimica Cosmochimica Acta* (Berner e Kamasch, 1996) una certa sorpresa.

Alla fine del secolo era ad esempio ben noto che (Nuova Enciclopedia di Chimica, 1925):

- "nei componenti dell'acqua si può leggere la sua storia o almeno le ultime vicende della sua storia";

- "nei terreni con lussureggiante vegetazione il residuo delle acque cresce per azione di CO₂ sui costituenti mineralogici delle rocce";

- "la composizione delle acque nelle diverse formazioni (geologiche) è di grande valore nel giudizio delle stesse in quanto procura un indispensabile elemento di paragone fra la composizione delle acque analizzate e quella delle acque pure o normali di una data località".

Affermazioni simili si basavano su lavori pubblicati da chimici ben noti quali Frankland (Frankland, 1980), Reichardt (Reichardt, 1880) e Tiemann e Gartner (1889) costituivano parte di uno schema di valutazione delle acque sorgive che richiedeva una ben definita serie di indagini quali lo studio del bacino idrologico, l'analisi chimica e batteriologica dell'acqua, l'esame del sedimento, le variazioni temporali della portata, della temperatura dell'acqua etc.

In seguito tali protocolli sembrano aver lasciato il campo ad un approccio quasi completamente di tipo laboratoristico, basato sulla ricerca di un numero sempre più elevato di specie rilevanti dal punto di vista tossicologico. Probabilmente ciò è stato

favorito dall'uso preferenziale, come fonte d'acqua potabile, di acque trattate provenienti da fiume o lago e dallo sviluppo della chimica analitica strumentale.

Solo recentemente le correlazioni tra ambito geologico e caratteri delle acque sembrano aver ripreso vigore anche se limitatamente al campo idrogeochimico (Garrels e Mackenzie, 1967; Drever e Zobrist, 1992).

Gli attuali criteri di valutazione sembrano tuttavia comportare qualche effetto negativo, almeno riguardo:

- favore eccessivo rivolto alle analisi chimiche/batteriologiche (che sembrano sempre rincorrere con affanno il crescente numero di contaminanti presenti nelle acque) trascurando le indagini geologiche e pedologiche e dimenticando che la condizione di un corpo idrico dipende sostanzialmente da ciò che vi si sversa;

- attenzione rivolta prevalentemente alla fine del processo di produzione dell'acqua, anzichè all'intero processo;

- separazione tra chi effettua le analisi e le relative valutazioni e gli utenti ed utilizzatori dei bacini con conseguente perdita di interesse da parte di questi ultimi riguardo l'uso del bacino.

Quanto esposto in queste note vuole essere un tentativo di rimediare, almeno in parte, a questi difetti.

Conclusioni

Gli equilibri termodinamici relativi ai sistemi aperti calcite- CO₂-acqua e dolomia- CO₂-acqua consentono di modellare e di interpretare il pH e la concentrazione dello ione calcio delle sorgenti dell'area dolomitica interessate da calcari, dolomie ed, in parte, vulcaniti.

I punti critici che limitano tale descrizione sono riassumibili in:

- 1- incertezze riguardo il prodotto di solubilità della dolomia e di calcari magnesiaci
- 2- conoscenze incomplete riguardo i processi reali che avvengono a vari livelli dell'acquifero (ad esempio nei vari orizzonti del suolo, nella zona insatura ed in quella di emergenza)
- 3- interpretazione "statica" dei fenomeni in quanto gli equilibri suddetti non sono in grado di predire il tempo di trasporto dalla zona di infiltrazione alla sorgente (Decet *et al.*, 1997) e quindi fornire un criterio di effettiva pericolosità.

Le deviazioni dalle condizioni previste dai sistemi aperti sopra indicati si possono attribuire a precise situazioni ambientali che possono essere individuate mediante grafici logaritmici del tipo pH/-pCa.

Mediante questi ultimi è possibile:

- 1- identificare l'ambito geologico di provenienza di una sorgente

2- valutare la presenza o meno di apporti da parte del suolo ed antropici e quindi trarre indicazioni circa la vulnerabilità degli acquiferi. Nel caso siano disponibili i dati relativi a cloruri e nitrati in sorgente e nelle deposizioni umide è possibile discriminare tra ambienti naturali ed antropizzati.

3- valutare le condizioni di saturazione rispetto alla calcite, alla dolomia ed alla anidride carbonica.

Essi consentono inoltre di verificare la fondatezza o meno delle ipotesi avanzate a seguito di ispezioni sul campo e dell'analisi di carte geologiche e pedologiche.

In definitiva il grafico in oggetto permette di effettuare un test della qualità delle sorgenti dell'area esaminata e quindi di risparmiare nei costi di indagine ed analisi.

APPENDICE 1

I valori delle costanti di prima (K1) e seconda (K2) dissociazione dell'acido carbonico, della costante di Henry relativa alla CO₂ (Kh) e del prodotto di solubilità della calcite (Ps) riportati di seguito sono stati desunti da Stumm e Morgan (1981).

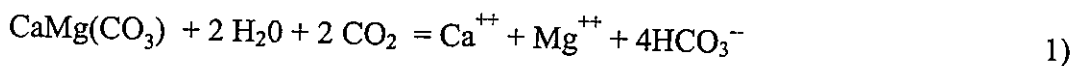
Temp. °C	-log K1	-log K2	- log Kh	-Log(Ps calcite)
0°	6,58	10,63	1,11	8,29
5°	6,52	10,56	1,19	8,31
10°	6,46	10,49	1,27	8,33
15°	6,42	10,43	1,32	8,38
20°	6,38	10,38	1,41	8,43

APPENDICE 2

Viene riportato il procedimento per il calcolo semplificato delle concentrazioni degli ioni calcio ed idrogeno nel caso dell'equilibrio dolomia-acqua- CO₂.

Per non appesantire la trattazione trascurò i coefficienti di attività.

Le variabili in gioco sono 8 (H⁺); (OH⁻); (Ca⁺⁺); (H₂CO₃); (HCO₃⁻); (CO₃⁻⁻); (Mg⁺⁺); (pCO₂) e sono quindi necessarie 8 equazioni per risolvere il sistema in modo esatto:



$$1) \text{ Ps} = (\text{Ca}^{++}) (\text{Mg}^{++}) (\text{CO}_3^{--}) \quad 2)$$

$$(\text{H}^+)(\text{OH}^-) = \text{Kw} \quad 3)$$

$$\frac{\text{pCO}_2}{(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \text{Kh} \quad 4)$$

$$\frac{(H^+) (HCO_3^-)}{(H_2CO_3)} = K1 \quad 5)$$

$$\frac{(H^+) (CO_3^{2-})}{(HCO_3^-)} = K2 \quad 6)$$

$$2(Ca^{++}) + 2(Mg^{++}) + (H^+) = (HCO_3^-) + 2(CO_3^{2-}) + (OH^-) \quad 7)$$

$$\frac{(Ca^{++})(Mg^{++})(HCO_3^-)^4}{(pCO_2)^2} = Ps \quad 8)$$

Per ottenere una equazione finale di semplice soluzione è necessario adottare delle semplificazioni.

A tale scopo trascuro CO_3^{2-} , H^+ e OH^- nella 7) (e si potrà verificare al termine che l'approssimazione è corretta) che diventa in tal modo:

$$2(Ca^{++}) + 2(Mg^{++}) = (HCO_3^-) = 4(Ca^{++}) \quad 9)$$

sostituisco HCO_3^- ricavato dall'eq. 9) nella 8) ed ottengo:

$$\frac{2(Ca^{++})^4 (Ca^{++}) (Mg^{++}) 256}{(pCO_2)^2} = Ps \quad 10)$$

dalla 4) ricavo pCO_2 e sostituisco in 10); poichè $(Ca^{++}) = (Mg^{++})$ ottengo infine:

$$(Ca^{++})^6 = \frac{Ps K1^2 Kh^2 (pCO_2)^2}{K2^2 256} \quad 11)$$

Per calcolare il valore di (H^+) posso far uso dell'equazione seguente:

$$(Ca^{++}) (Mg^{++}) (CO_3^{2-})^2 = Ps \quad 12)$$

poichè $(Ca^{++}) = (Mg^{++})$ si ottiene:

$$(Ca^{++})^2 (CO_3^{2-})^2 = Ps \quad 13)$$

Sostituendo CO_3^{2-} nella 13) col valore ricavato dall'eq. 6) e tenuto conto che $Ca^{++} = 1/4 (HCO_3^-)$ ottengo:

$$\frac{(Ca^{++})^2 K_2^2 (HCO_3^-)^2}{(H^+)^2} = P_s \quad 14)$$

Esprimendo HCO_3^- in funzione di pCO_2 (eq. 4 e 5) e riarrangiando ottengo infine:

$$(H^+)^6 = \frac{0,0625 K_1^4 K_h^4 (pCO_2)^4 K_2^2}{P_s} \quad 15)$$

APPENDICE 3

Calcolo della concentrazione della coppia ionica calcio- solfato ($CaSO_4^\circ$)

Le variabili in gioco sono 5: $CaSO_4^\circ$, Ca_{totale} , $SO_{4totale}$, Ca^{++} , SO_4^{--}
Poichè sono noti Ca_{totale} e $SO_{4totale}$ necessitano 3 equazioni :

$$Ca^{++} + SO_4^{--} = CaSO_4^\circ \quad 1)$$

$$Ca_{tot} = CaSO_4^\circ + Ca^{++} \quad 2)$$

$$SO_{4tot} = CaSO_4^\circ + SO_4^{--} \quad 3)$$

La soluzione porta ad una equazione di secondo grado :

$$K_f * (CaSO_4^\circ)^2 - (CaSO_4^\circ * (K_f * Ca_{tot} + K_f * SO_{4tot} + 1) + K_f * Ca_{tot} * SO_{4tot}) = 0 \quad 4)$$

Il valore della costante di equilibrio (K_f) dell'eq. 2) è stato considerato pari a 204 (Stumm e Morgan, 1981).

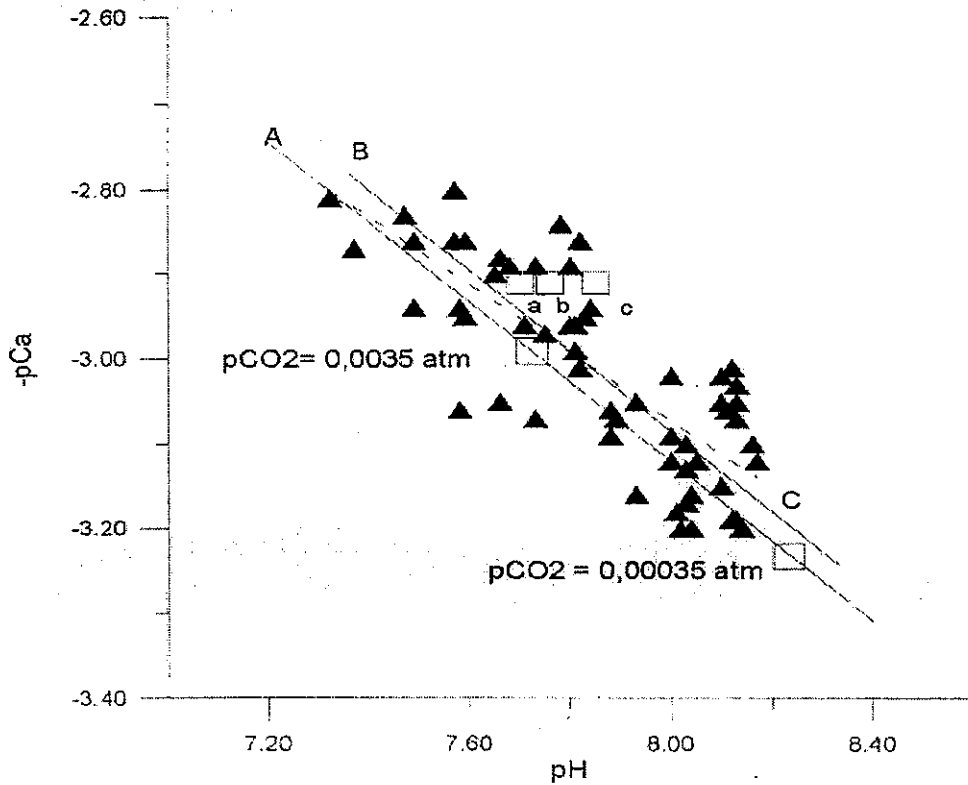


Figura 1.- Sono riportati i valori di pCa e di pH relativi a sorgenti ubicate in ambiti geologici a calcari. L'equilibrio calcite- CO_2 -acqua (sistema aperto) è indicato dalla retta B per la temperatura di $5^\circ C$ e dalla retta A per la temperatura di $10^\circ C$; la retta di regressione riscontrata in base ai dati reali è indicata da C; sono riportate (quadrati) le condizioni di equilibrio con pressioni parziali di CO_2 pari a $0,00035\ atm$ e $0,0035\ atm$; i punti indicati con a, b, e c sono relativi alla sorgente Lasen e indicano rispettivamente le condizioni alla scaturigine (a), ed alle successive vasche di calma (b) ed accumulo (c).

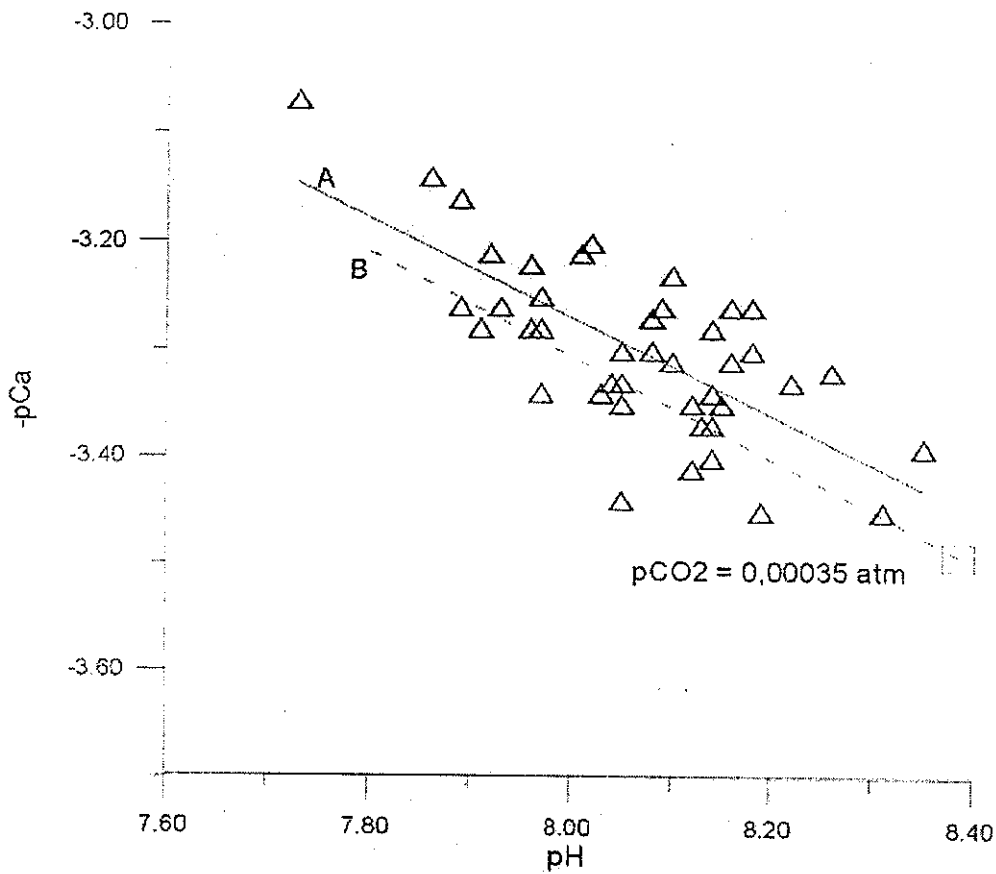


Figura 2.—Sono riportati i valori di pCa e di pH relativi a sorgenti i cui acquiferi sono costituiti da dolomie. La retta di regressione dei dati reali è indicata con A mentre la retta relativa all'equilibrio dolomia- CO_2 - acqua ($5^\circ C$. sistema aperto) è indicata da B ; il quadrato rappresenta le condizioni di equilibrio con $pCO_2 = 0,00035 atm$.

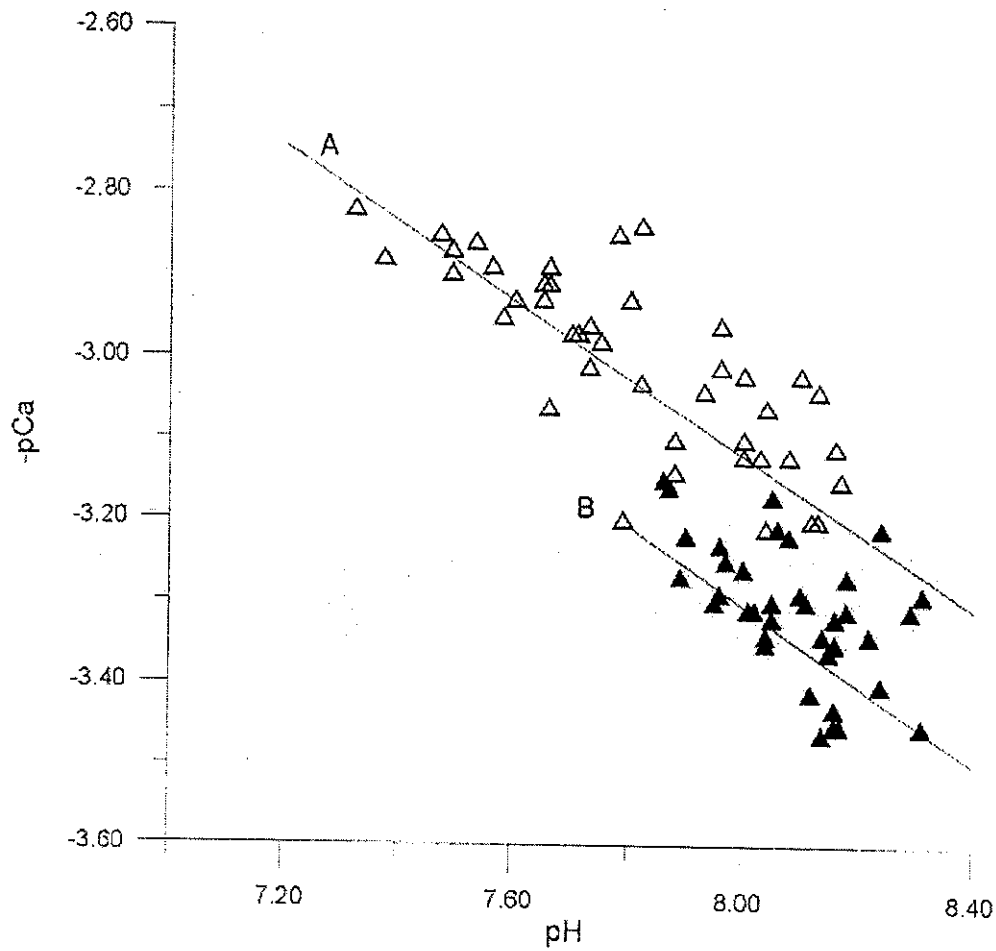


Figura 3.- Sono riportate le sorgenti da dolomie e da calcari di cui alle precedenti Figura 2 e 3. A: retta di regressione dell' equilibrio teorico calcite-acqua- CO_2 ($10^\circ C$, sistema aperto); B: retta di regressione dell'equilibrio dolomia- CO_2 - acqua ($5^\circ C$, sistema aperto).

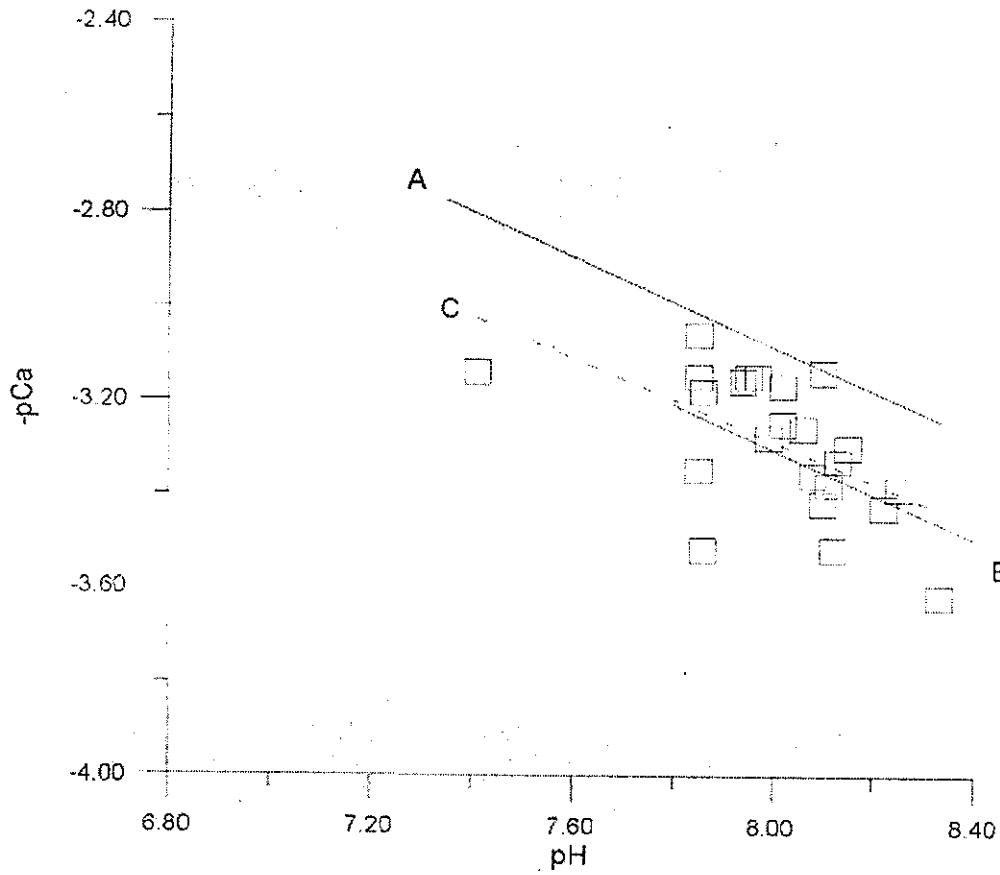


Figura 4.- Sono riportati i valori di pCa e di pH relativi a sorgenti ubicate in ambiti geologici a vulcaniti. *A*: retta relativa all'equilibrio calcite-acqua- CO_2 ($5^\circ C$, sistema aperto); *B*: retta relativa all'equilibrio dolomia- CO_2 -acqua ($5^\circ C$, sistema aperto); *C*: retta di regressione dei dati reali.

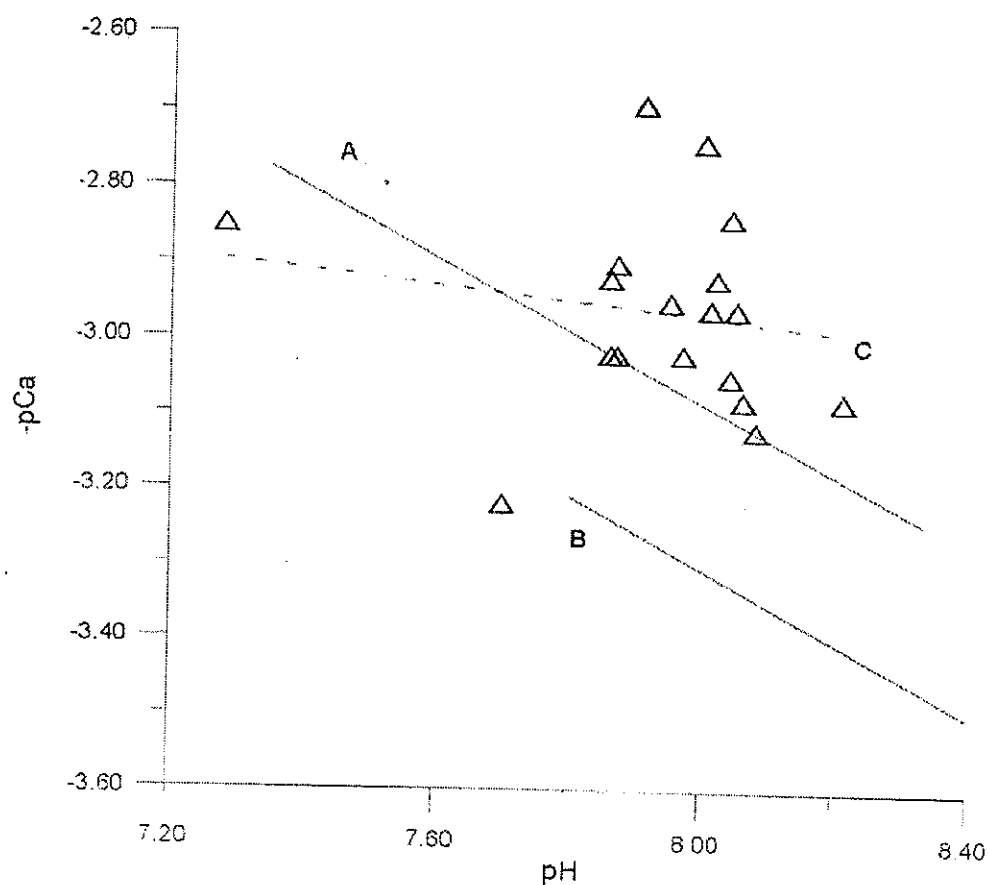


Figura 5.- Sono riportati i valori di pCa e di pH relativi a sorgenti ubicate in ambiti geologici a gessi. A: retta relativa all'equilibrio calcite-acqua- CO_2 ($5^\circ C$, sistema aperto); B: retta relativa all'equilibrio dolomia- CO_2 -acqua ($5^\circ C$, sistema aperto); C: retta di regressione dei dati reali.

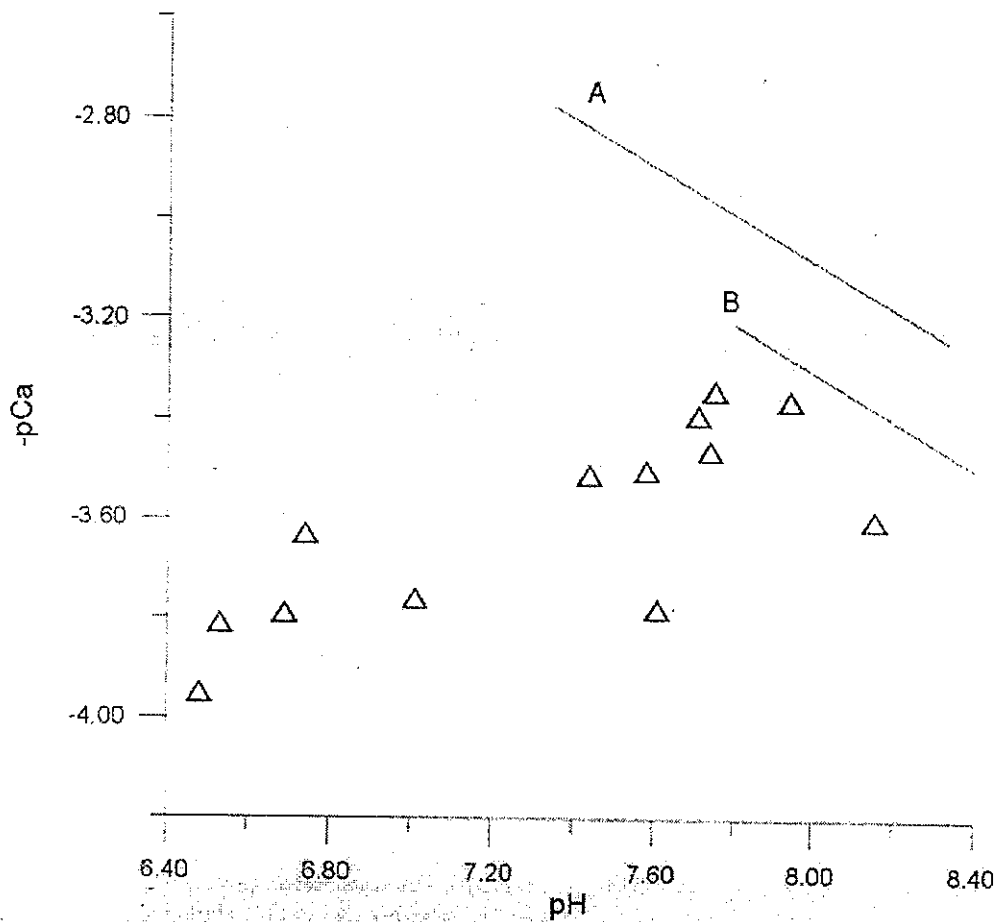


Figura 6.- Sono riportati i valori di pH e pCa per sorgenti ubicate in ambiti silicei. La retta A indica l'equilibrio calcite- CO_2 -acqua ($10^\circ C$, sistema aperto); B: retta relativa all'equilibrio dolomia- CO_2 -acqua ($5^\circ C$, sistema aperto).

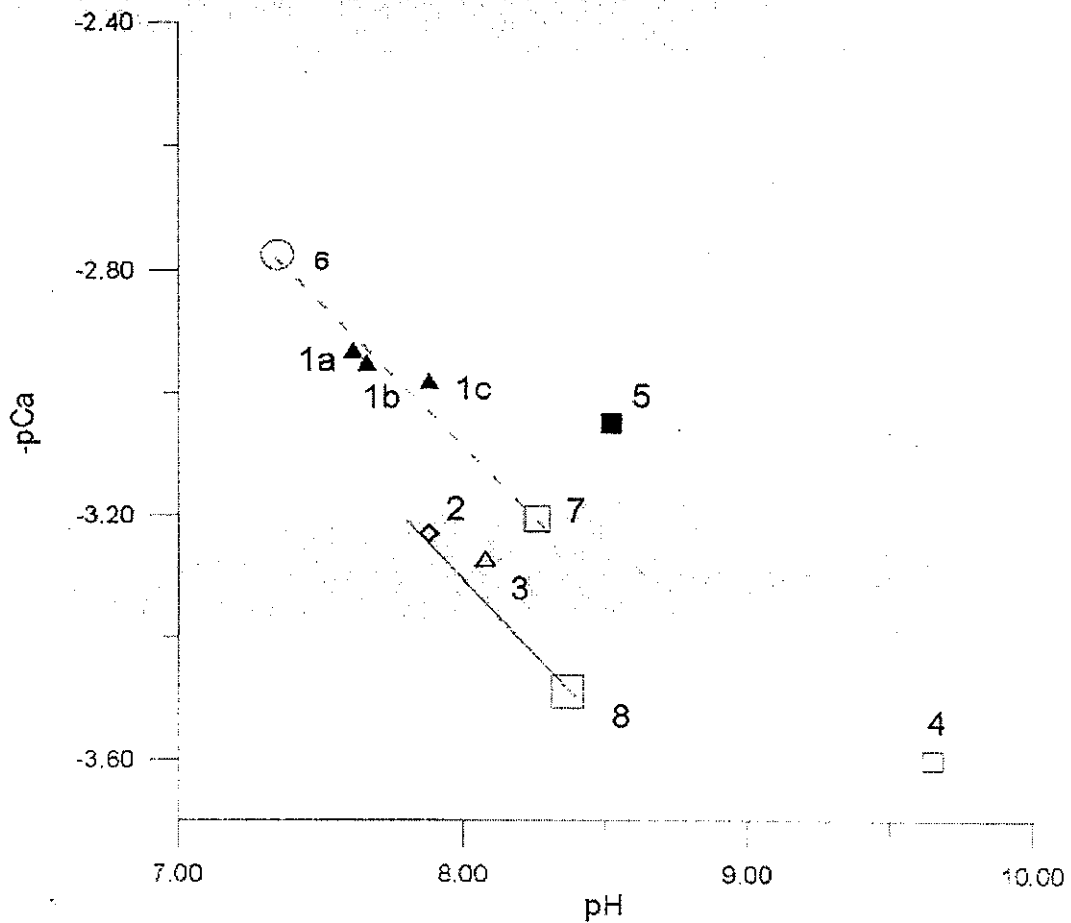


Figura 7.- Il grafico riporta i valori di pH e pCa relativi ad acque sotterranee e superficiali. Punti 1a, 1b, 1c: 3 pozzi in area Peschiera (Feltre, BL). Punto 2: sorgente Bernardi (630 m slm. Val Canzoi, BL). Punto 3: grotta dei Piani Eterni (Vette Feltrine, BL) a quota circa 1700 m slm (-170 m dal piano di campagna). Punto 4: cisterna di acqua piovana, M. Grappa. (BL) 1000 slm. Punto 5: Lago di S. Croce (BL) prelievo a centro lago, profondità -30 cm, Punto 6: Sorgente senza nome: 350 m slm.

I quadrati indicati con i numeri 7 ed 8 indicano rispettivamente le condizioni di equilibrio con la $p\text{CO}_2$ atmosferica della calcite e della dolomia. Retta tratteggiata: equilibrio in sistema aperto calcite- CO_2 -acqua (10°C); retta a tratto intero: sistema aperto dolomia- CO_2 -acqua (5°C).

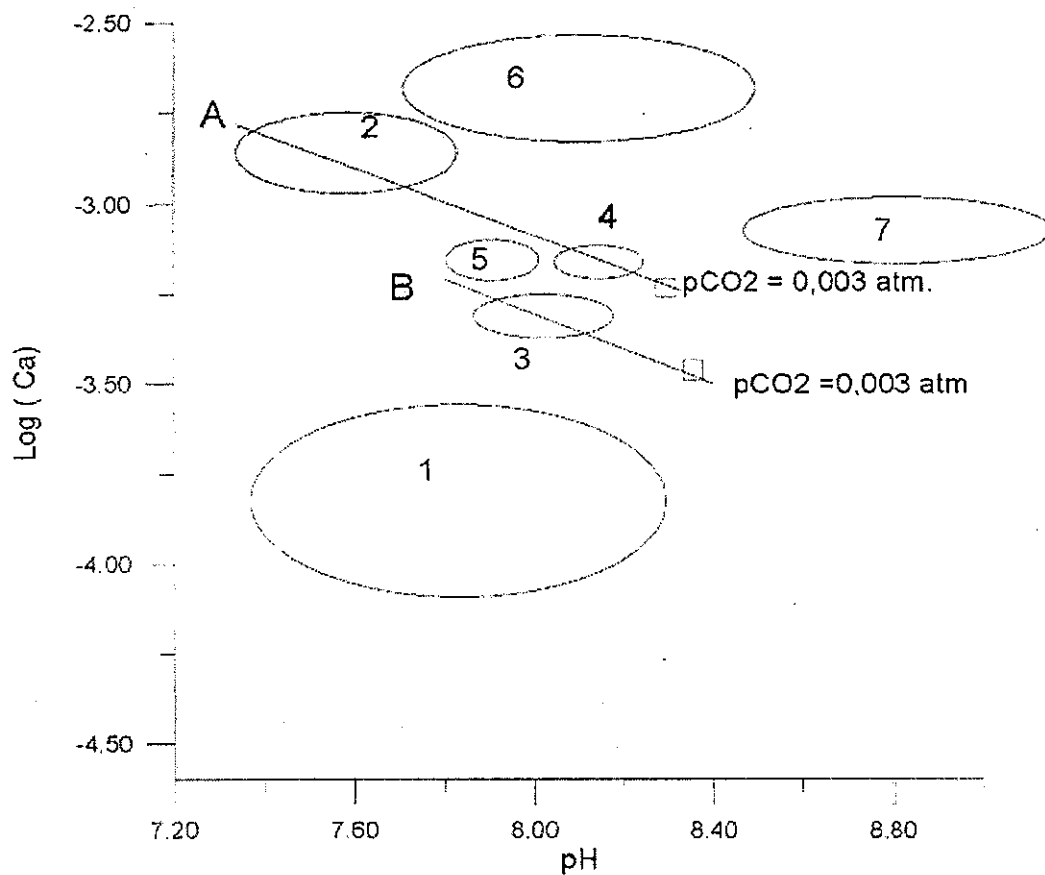


Figura 8.- Le ellissi indicano la posizione relativa ad alcune situazioni esemplari. 1: ambito a silicati, 2: ambito a calcari; sono presenti apporti da parte del suolo, 3: sorgenti in ambito a dolomie; sono presenti apporti da parte del suolo, 4: sorgenti in ambito a calcari; apporti da parte del suolo non rilevabili, 5: sorgenti in ambito a dolomie o calcari (per discriminare è necessario verificare il rapporto Ca/Mg); sono presenti apporti da parte del suolo, 6: sovraturazione rispetto alla calcite, 7: condizioni di elevata sovraturazione della calcite; probabile ambiente chiuso, Retta A: equilibrio in sistema aperto calcite-CO₂-acqua (10 °C); retta B: sistema aperto dolomia-CO₂-acqua (5°C).

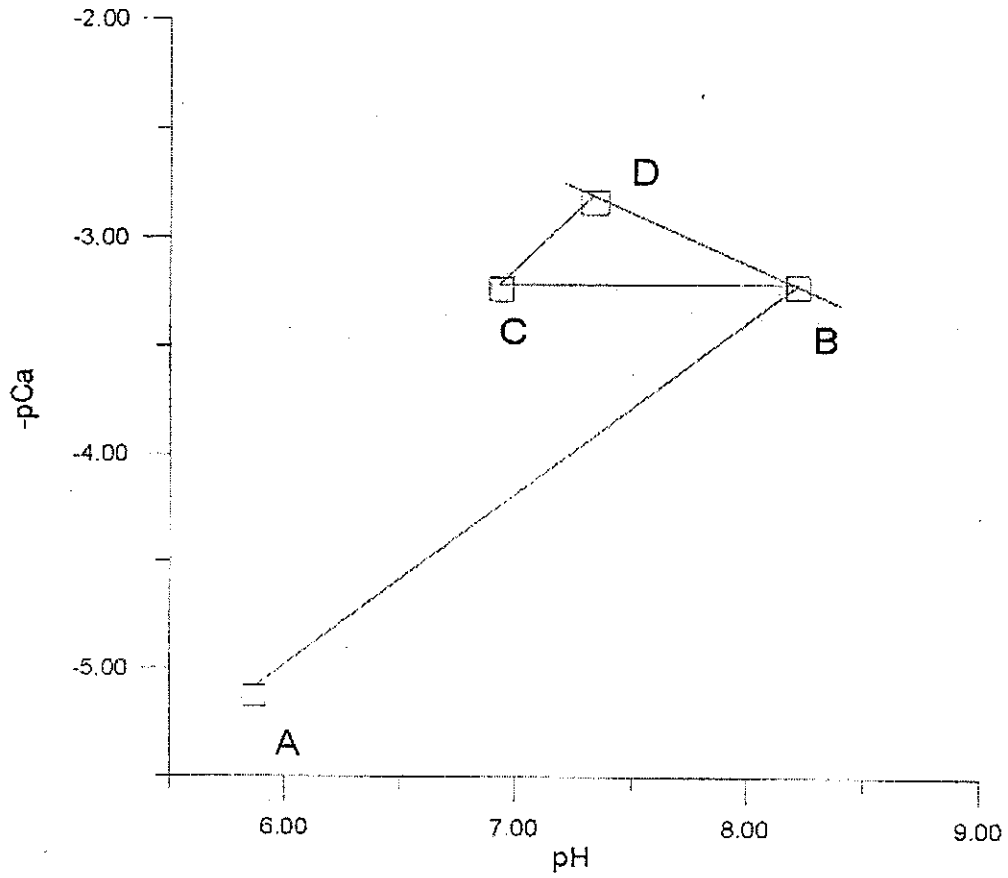


Figura 9.- Sono riportate le traiettorie ipotetiche relative al passaggio di una goccia d'acqua attraverso l'atmosfera (A), le rocce superficiali (B), il suolo (C), l'emergenza alla superficie (D).

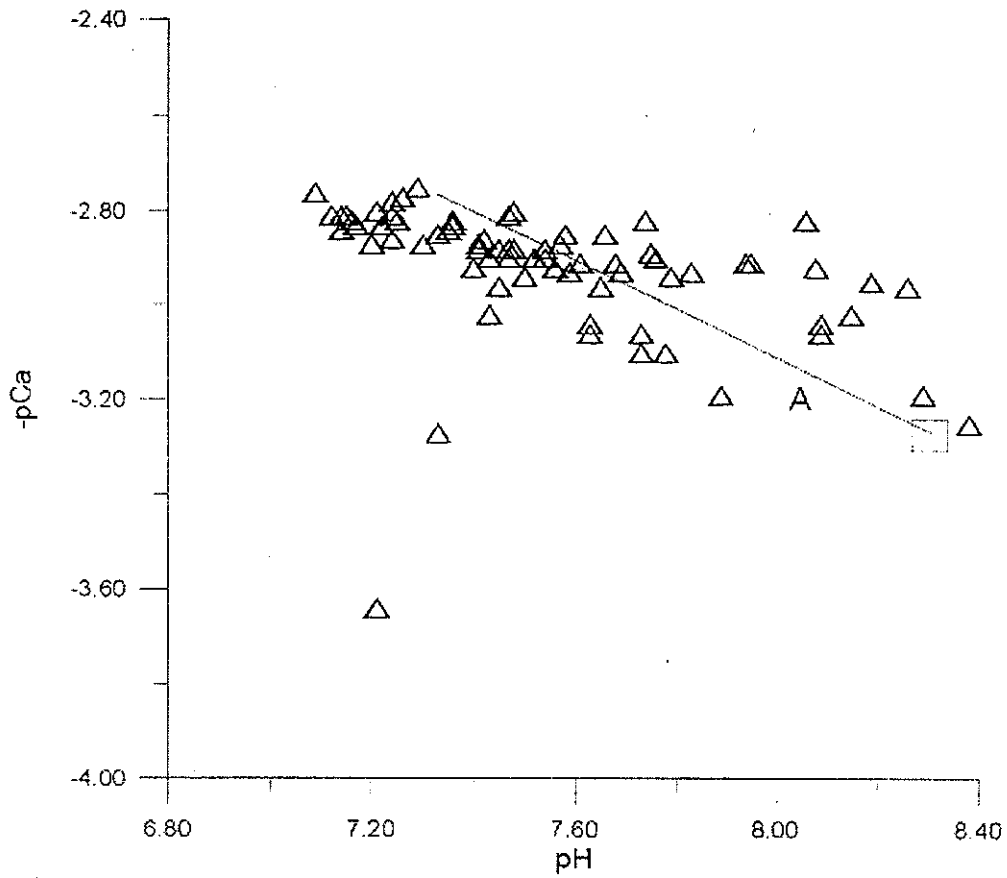


Figura 10.- Sono riportati i valori di pH e $-\text{Log}(\text{Ca})$ relativi a 71 piccole sorgenti ubicate nel Vallone Bellunese (BL) in aree coltivate a quote inferiori ai 600 m s.l.m. La retta A indica l'equilibrio calcite- CO_2 -acqua (10°C). Il quadrato indica le condizioni relative all'equilibrio della calcite con la $p\text{CO}_2$ atmosferica.

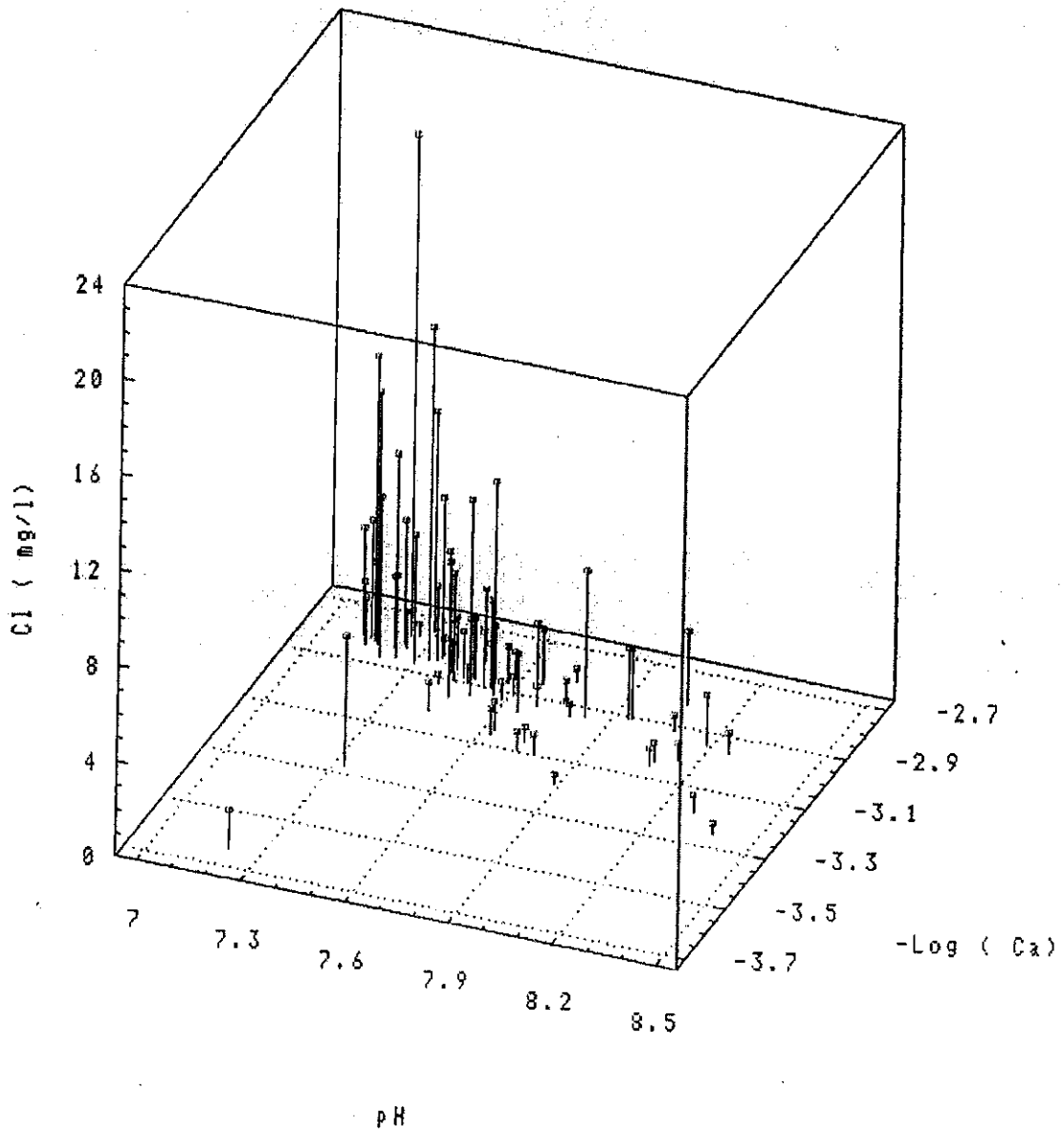


Figura 11.- Il grafico tridimensionale mostra le relazioni esistenti tra la concentrazione dello ione cloruro, il pH e $\log(Ca^{2+})$ delle sorgenti del vallone Bellunese riportate nella Figura 10.

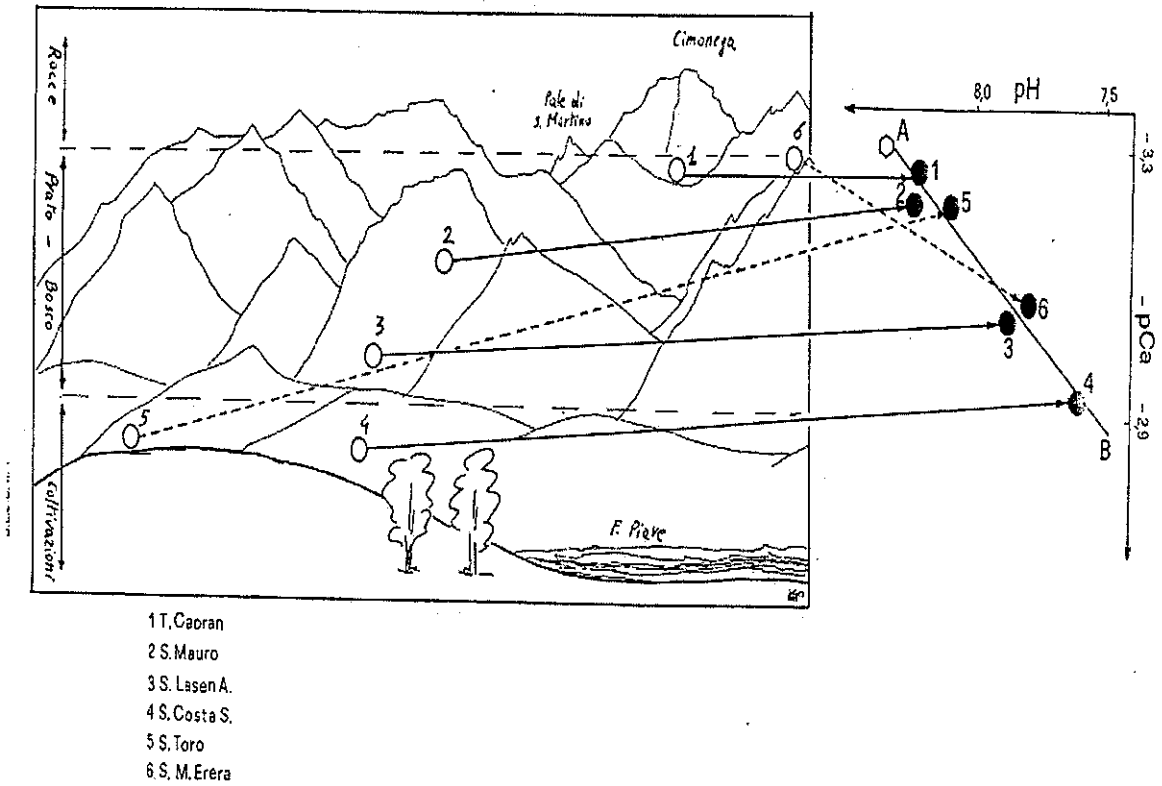


Figura 12.- La figura riporta l'ubicazione di 6 sorgenti situate sulle Vette Feltrine (Alpi Orientali) e la rispettiva collocazione su un grafico pH/-pCa.

1: Sorg. Torrente Caoran. 1950 m slm; 2: Sorg. S. Mauro. 1500 m slm; 3: Sorg. Lasen Alta. 700 m slm; 4: Sorg. Costa Solana. 450 m slm; 5: Sorg. Toro. 450 m slm; 6: Sorg. Malga Erera. 1700 m slm. Il tratteggio relativo alle sorgenti Toro e Malga Erera vuole indicare che la loro emergenza non è direttamente visibile dal punto di osservazione adottato.

Tabella 1.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l) e -Log (prodotto di solubilità calcite) per le sorgenti di ambito a calcari e calcari magnesiaci riportate nella Figura 1.

	pH	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Ca	Na	mg	I	gCa	g*HCO ₃	pCa	gCO ₃	Ps calc	Ca calcol	% err ca	vero/calcol
volpere a	8.1	1	3.3	4.7	182	46	0.6	7.8	0.004692	0.12822	0.032055	-3.07	1.21E-05	-7.98	35.33	23.19	
salton	8	0.83	2.6	3.2	166	34	0.4	15	0.004486	0.125547	0.031387	-3.20	8.58E-06	-8.26	39.56	-16.34	
v pomer (a sorg)	7.7	0.91	0.77	7.5	261	76	1.7	8.8	0.007041	0.154834	0.038709	-2.88	5.79E-06	-8.11	62.47	17.80	
valgranda	7.8	1.3	3.7	4	211	62	1	3	0.005317	0.135922	0.033981	-2.95	7E-06	-8.10	49.76	19.74	
v masni	7.8	1.3	3.1	3	203	63	1.1	1.3	0.005115	0.133493	0.033373	-2.94	6.9E-06	-8.10	48.95	22.30	
sanzan	8	0.63	1.7	3	142	33	0.3	9.3	0.003744	0.115315	0.028829	-3.20	7.73E-06	-8.31	37.81	-14.57	
bigliarde	8	1	2.8	5.4	201	52	1.3	9.4	0.005321	0.135975	0.033994	-3.02	9.86E-06	-8.03	41.40	20.38	
c solana	7.6	0.93	1.9	4.3	292	80	1.4	11	0.007549	0.159875	0.039969	-2.86	5.25E-06	-8.14	69.67	12.91	
lasena	7.8	0.82	2.2	6.5	242	62	1.2	12	0.00641	0.148258	0.037065	-2.96	7.44E-06	-8.09	52.88	14.70	
V.Serana	8.2	1	2	5.9	136	41	0.8	3	0.003708	0.114796	0.028699	-3.10	9.76E-06	-8.11	33.16	19.11	
Tostè	8	1.5	1.9	14	174	44	2.4	11	0.005215	0.134707	0.033677	-3.09	8.54E-06	-8.16	41.28	6.18	
Molini	7.8	1.7	5.7	6.5	221	60	1.3	7.7	0.005823	0.1418	0.03545	-2.97	6.08E-06	-8.18	55.00	8.33	
Valmaggiore (pH a sorg)	7.7	0.72	1.3	4	190	59	0.7	1	0.004792	0.129491	0.032373	-2.96	4.8E-06	-8.28	55.83	5.38	
M Oliveto	7.8	1.2	3	9	203	56	1.7	9.9	0.005743	0.140884	0.035221	-2.99	6.41E-06	-8.19	51.43	8.15	
Caroip	7.8	1	4.8	9.7	289	74	1.3	13	0.007638	0.160745	0.040186	-2.89	8.82E-06	-7.95	54.43	26.45	
Boal d.scioson	7.8	2.6	7.5	5	182	62	0.7	0.6	0.004964	0.131639	0.03291	-2.94	6.19E-06	-8.15	48.74	21.38	
Oltra	8.1	0.8	1.1	4	150	47	0.7	1.3	0.003891	0.117434	0.029359	-3.05	1E-05	-8.05	34.47	26.67	
boal d'aron	8.1	0.68	1.1	6	160	52	0.4	0.5	0.00423	0.122129	0.030532	-3.01	1.04E-05	-7.99	35.22	32.27	
S. Donato	8.1	0.57	0.84	3.8	157	49	0.4	1.4	0.004036	0.11947	0.029867	-3.03	1.05E-05	-8.01	34.63	29.33	
p mastel	7.9	1	1.9	5	168	47	1.3	4.7	0.004385	0.124216	0.031054	-3.05	7.06E-06	-8.21	43.47	7.51	
aron	8.1	0.73	1.3	4.6	161	51	0.6	1.8	0.004244	0.122328	0.030582	-3.02	1E-05	-8.02	36.01	29.40	
molina	7.7	1.2	0.71	4.3	222	71	1	1.6	0.005727	0.140704	0.035176	-2.89	5.2E-06	-8.18	59.18	16.65	
Lavazzè	8	0.6	1.8	3.3	161	35	0.3	11	0.004154	0.121094	0.030273	-3.18	8.15E-06	-8.27	39.58	-13.08	
boa maragno	7.8	0.9	3.5	5.4	174	52	0.8	3.8	0.004626	0.127365	0.031841	-3.01	5.67E-06	-8.26	49.32	5.15	
rumarna nes.	7.8	1.3	4.5	6.9	234	61	1.4	9	0.006091	0.144794	0.036199	-2.96	7.37E-06	-8.09	51.90	14.92	
val dell'acqua	8.2	0.8	1.7	3	181	41	0.6	12	0.004696	0.128266	0.032066	-3.12	1.32E-05	-8.00	33.84	17.46	
fontanelle I	7.6	1.5	3.4	4	240	77	1.4	1.2	0.006164	0.145587	0.036397	-2.86	4.55E-06	-8.20	65.97	14.32	
valdelleI	8.1	0.8	1.7	4	140	37	0.5	6	0.0037	0.114686	0.028671	-3.15	8.75E-06	-8.21	35.38	4.38	
madonna mora	7.8	1.3	6.4	18	283	80	3.5	11	0.008133	0.16545	0.041363	-2.86	9.02E-06	-7.91	53.84	32.70	
Mel-Postia	7.5	3.1	18	13	348	88	2.3	16	0.009369	0.176505	0.044126	-2.83	4.92E-06	-8.14	80.66	8.34	
Ponte-Painane font	7.4	1.3	4.6	7.5	256	76	1.1	5	0.006708	0.151401	0.03785	-2.87	2.92E-06	-8.41	84.83	-11.62	
F Tonini S Vito Arsiè	7.8	1.3	9.7	6.7	265	83	1.2	2.5	0.006934	0.153737	0.038434	-2.84	7.75E-06	-7.95	54.73	34.06	
S. canalet -Arsiè	7.5	1.2	3	7	262	79	0.9	5.3	0.006891	0.153302	0.038325	-2.86	3.93E-06	-8.26	74.83	5.28	

Segue

Continua

Tabella 1.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l) e -Log (prodotto di solubilità calcite) per le sorgenti di ambito a calcari e calcari magnesiaci riportate nella Figura 1.

	pH	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Ca	Na	mg	I	gCa	g*HCO ₃	pCa	gCO ₃	Ps calc	Ca calcol	% err ca vero/calcol
Ponte F. dei Fil a	7.7	0.99	1.4	5	274	72	0.9	9	0.00685	0.152873	0.038218	-2.90	5.95E-06	-8.12	62.87	12.68
S Tanisoi Arsiè	7.6	0.98	0.57	7.1	270	66	0.5	14	0.007005	0.154465	0.038616	-2.94	4.98E-06	-8.24	68.07	-3.13
Arsiè S. Boldi	7.9	0.7	6.9	5.8	160	43	0.5	6.5	0.004323	0.123382	0.030846	-3.09	6E-06	-8.31	45.80	-6.51
Arsiè- Vech.	7.3	7.3	8.6	10	312	90	8.6	4	0.008169	0.165782	0.041446	-2.81	3.14E-06	-8.32	92.56	-2.85
Crossetta																
Vallalta	7.7	0.57	6.3	4.2	242	50	0.3	17	0.0061	0.144893	0.036223	-3.05	5.4E-06	-8.32	61.06	-22.12
Pietena	8	0.2	0.3	8.6	143	40	0.2	4	0.003873	0.117181	0.029295	-3.12	7.09E-06	-8.27	39.65	0.88
Vette Piccole	8.1	0.2	1	1.7	103	32	0.5	0.6	0.002583	0.096728	0.024182	-3.19	6.97E-06	-8.35	32.86	-2.69
Cavaren	8.1	0.2	1.3	1.9	98	32	0.2	0.3	0.002525	0.095696	0.023924	-3.19	6.49E-06	-8.38	33.14	-3.56
Venal vecchio	8.1	0.29	2.6	1.5	109	32	0.2	2.2	0.00277	0.09999	0.024998	-3.20	7.54E-06	-8.32	32.75	-2.35
Val di Polo	7.6	1	4.1	5.6	289	91	1.5	4.1	0.007574	0.160126	0.040031	-2.80	5.19E-06	-8.09	69.71	23.40
V. Nevera	7.7	1.1	3.2	7.8	213	71	1	2.2	0.005868	0.142304	0.035576	-2.89	5.59E-06	-8.15	56.27	20.75
V. Neva Bassa	7.9	0.4	3.1	7.2	143	36	0.2	7	0.003891	0.117436	0.029359	-3.16	6.03E-06	-8.38	42.80	-18.88
Toro	7.9	0.66	2.9	11	179	47	0.9	8.9	0.00505	0.132697	0.033174	-3.06	6.67E-06	-8.24	46.79	0.45
Nastasio 1	7.5	2.7	24	10	320	68	2.4	25	0.00881	0.171619	0.042905	-2.94	4.75E-06	-8.26	78.05	-14.78
Porcilla	7.6	1.9	3.7	5.7	210	62	0.8	4.7	0.005525	0.138379	0.034595	-2.95	4E-06	-8.35	64.88	-4.65
Cavaren 2	8	0.29	0.85	2.5	136	41	0.1	0.3	0.003308	0.108775	0.027194	-3.10	7.26E-06	-8.24	37.65	8.18
Monsampian	8.1	0.24	0.24	2.6	162	46	0.2	1	0.003829	0.116547	0.029137	-3.06	1.04E-05	-8.04	35.15	23.59
Peralba	8	0.33	1.5	5.9	128	38	0.3	3.4	0.003503	0.111751	0.027938	-3.13	6.82E-06	-8.30	37.91	0.25
Roncole 1	7.6	0.81	2.9	5.7	183	47	0.8	10	0.005007	0.13217	0.033042	-3.06	3.42E-06	-8.53	64.66	-37.57
V. Clusa	8	0.26	1.4	6.5	137	35	0.3	7.6	0.003799	0.116116	0.029029	-3.17	7.28E-06	-8.31	38.29	-9.40
Coppedello	7.9	0.72	1.8	6.2	186	46	0.8	7.1	0.004717	0.128539	0.032135	-3.07	7.11E-06	-8.22	45.85	0.34
Funesia	8	0.44	3.5	2	118	35	0.2	1.5	0.002966	0.103292	0.025823	-3.16	6.47E-06	-8.35	36.77	-5.07
S. Canidi	8.1	0.76	6	3.9	140	46	1	0.5	0.003735	0.115192	0.028798	-3.05	8.75E-06	-8.11	35.42	23.00
S. Gena media	7.7	0.9	2.9	4.4	238	48	0.7	20	0.006253	0.146559	0.03664	-3.07	6.23E-06	-8.27	56.82	-18.38
Pian dei Gatt	8.1	0.2	3.1	2.2	140	39	0.2	3.9	0.003547	0.112415	0.028104	-3.12	7.81E-06	-8.23	37.15	4.74
media	7.86	1.06	3.58	5.81	198.10	54.88	1.03	6.60	0.005226	0.13	0.03	-3.02	0.00	-8.19	49.97	7.16
mediana	7.86	0.91	2.85	5.40	182.50	50.50	0.79	5.15	0.004986	0.13	0.03	-3.03	0.00	-8.20	47.77	7.83
s	0.23	1.02	3.95	3.11	59.92	16.82	1.20	5.44	0.001614	0.02	0.00	0.12	0.00	0.13	14.88	15.86

Tabella 2.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l), -Log (prodotto di solubilità calcite) e -Log (prodotto da solubilità dolomia) per le sorgenti di ambito a dolomie riportate in Figura 2.

	pH	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na	I	gCa	g HCO ₃	pCa	Ps calc	Ps dol.	CO ₃	Ca calc	Err % cav/ca calc	
Mondeserto	8,1	0,48	2,7	5,3	155	26	15	2,3	0,0040787	0,76	0,93	-3,31	-8,39	-16,92	6,85445E-	23,39	10,04	
salton	8,02	0,83	2,6	3,2	166	34	15	0,41	0,0044532	0,75	0,93	-3,20	-8,33	-16,92	5,40752E-	25,86	23,95	
Mga	8,26	0,18	1,3	3,2	131	25	12	0,27	0,0034526	0,77	0,94	-3,32	-8,31	-16,82	1,03368E-	19,19	23,25	
Campobon																		
Fedarola	7,91	0,51	1,9	9,8	151	28	15	0,83	0,0042654	0,75	0,93	-3,28	-8,56	-17,29	2,70388E-	29,04	-3,71	
s mauro	8,18	0,52	2,1	4,5	160	29	15	0,28	0,0041928	0,76	0,93	-3,26	-8,25	-16,69	1,05382E-	21,48	25,92	
Schievenin	8,1	0,72	2,6	3,3	141	31	12	0,4	0,0038516	0,76	0,93	-3,23	-8,35	-17,01	5,69303E-	23,22	25,10	
Ambata	8,14	0,31	2,1	3,5	126	22	12	0,17	0,0032766	0,78	0,94	-3,37	-8,50	-17,14	5,52000E-	21,78	1,01	
Giralba	8,14	0,23	2,2	3,6	112	20	11	0,12	0,0029817	0,79	0,94	-3,40	-8,58	-17,31	4,38529E-	21,54	-7,71	
P. Spiriti	8,08	0,23	2,3	4,8	134	26	12	0,15	0,0035890	0,77	0,94	-3,30	-8,46	-17,15	4,71007E-	23,53	9,50	
Forame	8,08	0,22	1,7	1,6	121	27	7	0,14	0,0029983	0,79	0,94	-3,27	-8,48	-17,43	3,88148E-	23,04	14,68	
P. Madier	8,14	0,27	1,8	4,1	132	27	10	0,89	0,0034433	0,77	0,94	-3,28	-8,39	-17,10	6,04033E-	21,91	18,86	
Schiara	8,05	0,74	2,7	2	99	18	9,5	0,2	0,0025998	0,80	0,95	-3,44	-8,76	-17,68	2,28084E-	23,44	-30,25	
Malisia	8,05	0,28	1,9	3,4	127	23	13	0,25	0,0034147	0,78	0,94	-3,35	-8,57	-17,27	3,69605E-	24,18	-5,12	
Galassi	8,18	0,14	1,4	2,1	143	26	14	0,1	0,0037261	0,77	0,94	-3,30	-8,34	-16,84	8,48168E-	21,16	18,61	
Palmieri	7,96	0,17	1,8	2,2	134	27	13	0,1	0,0036258	0,77	0,94	-3,28	-8,57	-17,34	2,70866E-	26,91	0,34	
Carducci	8,22	0,1	1,3	3,3	125	24	13	0,1	0,0034366	0,77	0,94	-3,33	-8,39	-16,93	7,83040E-	20,04	16,48	
Giussani	8,05	0,28	2,1	9,1	121	24	12	0,79	0,0035457	0,77	0,94	-3,33	-8,57	-17,34	3,34743E-	24,29	-1,20	
Bosconero	8,31	0,24	2,5	2,5	112	18	11	0,15	0,0028462	0,79	0,94	-3,45	-8,46	-17,01	9,61896E-	17,75	1,38	
Carestiato	8,15	0,7	2,7	9,4	122	23	11	1,3	0,0034471	0,77	0,94	-3,35	-8,48	-17,18	5,40261E-	21,67	5,79	
Vazzoler	8,16	0,28	1,3	2,8	128	25	12	1,1	0,0034320	0,78	0,94	-3,31	-8,42	-17,04	6,22900E-	21,42	14,33	
Santo	7,97	0,39	3	9	157	30	14	0,26	0,0042998	0,75	0,93	-3,25	-8,46	-17,14	3,85125E-	27,20	9,33	
Prada	7,97	1,27	4,8	6,4	158	28	14	0,84	0,0041441	0,76	0,93	-3,28	-8,48	-17,16	3,90997E-	27,07	3,33	
Cadin bassa	8,04	0,42	2,3	9,3	126	24	12	0,79	0,0035954	0,77	0,94	-3,33	-8,57	-17,32	3,46347E-	24,60	-2,51	
Pisandre	8,12	0,32	2,9	4	122	23	12	0,15	0,0033175	0,78	0,94	-3,35	-8,51	-17,19	4,71627E-	22,30	3,05	
V. Piero	8,35	0,38	3,5	5,1	121	21	13	0,24	0,0033381	0,78	0,94	-3,39	-8,33	-16,75	1,33749E-	17,30	17,64	
V. Greva	8,09	0,56	5	5,5	148	29	14	0,11	0,0040663	0,76	0,93	-3,26	-8,37	-16,96	5,96924E-	23,64	18,48	
Ca del Verzo	8,03	0,55	2,1	6,1	130	24	13	0,9	0,0035999	0,77	0,94	-3,34	-8,56	-17,28	3,52066E-	24,88	-3,66	

Segue

Continua
Tabella 2.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l), -Log (prodotto di solubilità calcite) e -Log (prodotto da solubilità dolomia) per le sorgenti di ambito a dolomie riportate in Figura 2.

	pH	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na	I	gCa	gHCO ₃	pCa	Ps calc	Ps dol.	CO ₃	Ca calc	Err % cav/calc
R. Lunelli	7,89	0,29	1,6	20	183	38	18	0,72	0,0056311	0,73	0,92	-3,16	-8,39	-17,02	3,55173E-	30,87	18,76
Sass de la	8,13	0,28	1	6,3	122	22	11	0,16	0,0032495	0,78	0,94	-3,37	-8,52	-17,23	4,94458E-	22,00	0,01
Pegna																	
Rio del sasso	8,19	0,17	2	3,6	98	18	9,9	0,1	0,0026732	0,80	0,94	-3,45	-8,63	-17,40	4,25237E-	20,14	-11,87
Genà Media	7,73	0,9	2,9	4,4	238	48	20	0,7	0,0062109	0,71	0,92	-3,07	-8,34	-16,98	2,85392E-	37,41	22,05
Gaf	8,12	0,31	1,98	2,9	119	20	12	0,33	0,0031006	0,78	0,94	-3,41	-8,58	-17,26	4,50493E-	22,12	-10,61
Gardesana																	
Pian Palui	8,14	0,33	2,1	4,1	137	24	14	1,1	0,0036747	0,77	0,94	-3,34	-8,43	-16,99	6,48077E-	22,08	7,99
S Michele	7,89	0,37	7,1	3,5	156	29	15	0,3	0,0041663	0,76	0,93	-3,26	-8,55	-17,29	2,63607E-	29,60	-2,06
Pian Caiada	7,93	0,4	4,1	3,1	151	29	15	0,3	0,0040867	0,76	0,93	-3,26	-8,52	-17,23	2,97309E-	28,24	2,61
S,Stien	8,05	0,3	1,8	3,1	128	26	11	0,2	0,0033938	0,78	0,94	-3,30	-8,51	-17,28	3,75587E-	24,16	7,07
Rif Coldai	8,01	0,26	1,2	2,4	183	33	18	0,26	0,0047497	0,74	0,93	-3,21	-8,31	-16,80	6,24838E-	26,38	20,07
Rif Auronzo	7,97	0,24	2,4	8,5	134	24	12	0,43	0,0036258	0,77	0,94	-3,34	-8,61	-17,41	2,83632E-	26,61	-10,88
Saladen	7,92	0,4	1,4	2,8	195	33	19	0,3	0,0049480	0,74	0,93	-3,21	-8,38	-16,91	4,67402E-	29,31	11,19
F Mori	7,86	0,48	3,3	11	184	39	15	0,32	0,0051285	0,74	0,93	-3,14	-8,40	-17,12	3,14882E-	31,48	19,28
S lovatel	7,96	0,4	2,2	5,2	159	32	13	0,24	0,0041924	0,76	0,93	-3,22	-8,43	-17,15	3,77853E-	27,41	14,34
Col Bisce	8,14	0,12	1,8	1,8	121	22	12	0,12	0,0031723	0,78	0,94	-3,37	-8,51	-17,17	5,10024E-	21,70	1,39
cas maiolera	8,16	0,5	4,3	4,7	159	29	15	0,3	0,0042101	0,76	0,93	-3,26	-8,27	-16,73	9,48862E-	21,98	24,22
media	8,07	0,39	2,42	5,04	140,71	26,64	13,13	0,45	0,0037862	0,77	0,94	-3,30	-8,47	-17,13		24,32	7,05
mediana	8,08	0,32	2,10	3,80	133,00	26,00	13,00	0,28	0,0035976	0,77	0,94	-3,30	-8,47	-17,15		23,49	7,53
s	0,12	0,23	1,14	3,42	27,23	5,96	2,54	0,44	7,47261E-	0,02	0,01	0,08	0,11	0,21		3,95	12,28
Max	8,35	1,27	7,10	20,00	238,00	48,00	20,00	2,30	0,0062109	0,80	0,95	-3,07	-8,25	-16,69		37,41	25,92
min	7,73	0,10	1,00	1,60	98,00	18,00	7,00	0,10	0,0025998	0,71	0,92	-3,45	-8,76	-17,68		17,30	-30,25

Tabella 3.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l) e -Log(Prodotto di solubilità calcite) per le sorgenti di ambito a vulcaniti riportate in Figura 4.

	pH	Cond	Cl	NO3	so4	HCO3	Ca	mg	Na	I	GCa	pCa	gHCO3	Ps Calc
Ru Sorizze	7,94	274	0,37	0,44	23	168	40	8,2	14	0,007705	0,69	-3,16	0,91	-8,31
La Tiezza	7,85	145	0,34	0,98	6,9	92	23	1,9	7	0,003592	0,77	-3,35	0,94	-8,84
Piani Pezzè	8,02	235	0,34	0,58	9	166	38	7,5	7,2	0,006578	0,71	-3,17	0,92	-8,25
Aiva Nas	8,1	143	0,26	1,8	6	93	20	3,6	5,9	0,003668	0,77	-3,42	0,94	-8,65
La Boa	8,1	251	0,74	1,2	29	145	41	3,9	13	0,006891	0,70	-3,14	0,92	-8,19
Sa Sogrè	7,99	218	0,25	2,8	31	108	29	2,7	17	0,005754	0,72	-3,28	0,92	-8,57
Sief	8,22	171	0,34	0,76	26	81	20	2	16	0,004462	0,75	-3,43	0,93	-8,60
Le Fontane	8,02	213	0,98	3,9	13	110	31	5	10	0,005254	0,73	-3,25	0,93	-8,49
Le Valacie	8,11	170	0,36	1,1	21	92	22	2	13	0,004410	0,75	-3,38	0,93	-8,62
Col Lana	7,97	292	0,35	0,92	78	107	42	4,5	16	0,008574	0,68	-3,15	0,91	-8,47
Boresch	8,13	171	0,30	2,50	8,20	102,00	25,00	5,90	4,70	0,004501	0,75	-3,33	0,93	-8,50
Meriac	7,95	245	0,40	1,20	10,00	157,00	40,00	4,30	10,00	0,006172	0,72	-3,15	0,92	-8,31
Val Fontane	7,85	270	0,36	0,90	19,00	158,00	50,00	3,80	5,70	0,006788	0,70	-3,06	0,92	-8,32
Visine	7,86	205	0,34	0,10	12,00	126,00	36,00	2,40	3,50	0,004929	0,74	-3,18	0,93	-8,52
Padon	7,86	108	0,12	0,60	2,10	70,00	15,00	2,20	5,50	0,002604	0,80	-3,52	0,95	-9,12
Sopracordev ole	8,12	97	0,33	7,60	4,30	54,00	15,00	1,70	4,50	0,002427	0,81	-3,52	0,95	-8,97
L eVare	8,08	124	0,32	0,68	6,40	75,00	22,00	1,70	4,00	0,003073	0,79	-3,36	0,94	-8,71
Col Rocca	8,25	125	0,70	2,00	2,70	84,00	21,00	3,10	4,90	0,003322	0,78	-3,39	0,94	-8,52
F, Fosche	8,06	200	0,30	2,50	13,00	116,00	30,00	8,00	3,10	0,005460	0,73	-3,26	0,92	-8,45
La Stia	8,33	99	0,17	2,00	2,70	64,00	12,00	1,40	11,00	0,002510	0,80	-3,62	0,95	-8,78
Ciasota	7,41	271	5,4	0,22	24	159	42	5,8	12,4	0,007370	0,69	-3,14	0,91	-8,84
Fontanelle 2	7,85	248	0,23	4,6	25	146	40	4,8	9,6	0,006734	0,71	-3,15	0,92	-8,45
Milga Pramper	8,15	261	0,6	1,3	14	175	29	13	10,9	0,007581	0,69	-3,30	0,91	-8,22
media	8,00	194,32	0,60	1,79	16,92	112	29,73	3,93	9,00	0,005126	0,74	-3,29	0,93	-8,57
med	8,02	202,50	0,34	1,15	12,50	108	29,50	3,70	8,40	0,005092	0,74	-3,27	0,93	-8,52
s	0,19	62,25	1,09	1,74	16,45	36	10,84	2,10	4,49	0,001820	0,04	0,15	0,01	0,24
min	7,41	97,00	0,12	0,10	2,10	54	12,00	1,40	3,10	0,002427	0,68	-3,62	0,91	-9,12
max	8,33	292,00	5,40	7,60	78,00	168	50,00	8,20	17,00	0,008574	0,81	-3,06	0,95	-8,19

Tabella 4.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l) e -Log(Ca) per le sorgenti di ambito a gessi riportate in Figura 5.

	pH	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na	I	gCa	G HCO ₃	pCa (CaSO ₄) ⁹
Taunia	8,04	0,37	1,80	101,00	140,00	63,00	29,00	0,40	0,008	0,67	0,91	3,05
Bedarz	7,87	0,34	1,00	263,00	165,00	99,00	12,00	1,00	0,012	0,63	0,89	2,9
Vallesina	8,08	0,34	2,20	90,00	122,00	51,00	12,00	1,00	0,006	0,71	0,92	3,12
Antelao	8,06	0,26	1,00	133,00	189,00	66,00	13,00	0,60	0,008	0,67	0,91	3,08
Ru Caldiera	8,01	0,74	1,00	196,00	171,00	86,00	23,00	1,30	0,011	0,64	0,89	2,96
V. Cagnon	7,95	0,25	0,60	206,00	206,00	97,00	30,00	8,10	0,013	0,62	0,89	2,95
Scofat	8,05	0,34	2,00	134,00	184,00	58,00	33,00	2,10	0,010	0,66	0,90	2,96
Domadore	7,70	0,98	1,00	187,00	265,00	82,00	24,00	1,00	0,012	0,63	0,89	3,22
Camini	7,87	0,36	1,00	133,00	198,00	77,00	19,00	2,00	0,009	0,66	0,90	3,02
Col Lana	7,97	0,35	0,80	127,00	122,00	66,00	9,00	14,00	0,008	0,69	0,91	3,02
Chiggiato	7,91	0,30	1,00	620,00	148,00	277,00	15,00	1,00	0,029	0,51	0,85	2,69
Mietres	7,28	0,40	1,80	312,00	230,00	140,00	32,00	4,60	0,018	0,58	0,87	2,85
Padova	8,00	0,36	1,70	350,00	122,00	142,00	21,00	4,40	0,017	0,59	0,87	2,74
Gall. Anime	8,21	0,81	0,58	119,00	253,00	61,00	33,00	1,80	0,010	0,65	0,90	3,08
Focobon A	7,86	0,33	2,70	113,00	131,00	67,00	15,00	2,50	0,008	0,68	0,91	3,02
Focobon B	8,02	0,33	3,60	217,00	159,00	104,00	22,00	3,40	0,012	0,62	0,89	2,92
Tamarin	8,04	1,50	3,20	498,00	181,00	174,00	70,00	13,00	0,026	0,52	0,85	2,84
Starezza	7,86	0,41	1,00	159,00	165,00	90,00	18,00	0,57	0,010	0,65	0,90	2,92
media	7,94	0,49	1,59	223,47	176	101	24	4	0,01	0,63	0,89	2,97
mediana	8,00	0,35	1,00	187,00	171	82	22	2	0,01	0,64	0,89	2,96
s	0,203867	0,33225	0,90889	147,913	45	57	14	4	0,006	0,055171	0,020132	0,135418741
max	8,21	1,50	3,60	620,00	265	277	70	14	0,03	0,71	0,92	3,22
min	7,28	0,25	0,58	90,00	122	51	9	0	0,01	0,51	0,85	2,69

Tabella 5.- Sono riportati i valori di pH, Ca (mg Ca/l) e -Log(Ca) per le sorgenti di ambito siliceo riportate in Figura 6.

1		pH	HCO ₃	Ca	I	gCa	pCa
2	Less	7,94	101	22	0,002755	0,794778	-3,36
3	Schepp	7,74	74	17	0,002063	0,818660	-3,46
4	Lagon1	6,69	30	7,4	8,61803E-	0,876923	-3,79
5	Caviazza	6,53	18	7	6,45082E-	0,892198	-3,81
6	Fusinella	7,75	90	23	0,002625	0,798945	-3,34
7	Ponte Alto	7,58	46	15	0,001504	0,842035	-3,50
8	Lagon2	6,48	20	5	5,77869E-	0,897533	-3,95
9	Giuribritto	7,01	27	8	8,42623E-	0,878176	-3,76
10	Colbricon sup	8,15	49	12	0,001403	0,846807	-3,60
11	Caleghera	7,71	73	20	0,002196	0,813688	-3,39
12	Val d, caore	7,44	83	15	0,002110	0,816868	-3,51
13	Rinfredo	7,61	31	7,6	8,88197E-	0,875225	-3,78
14	Perussine	6,74	43	11	0,001254	0,854229	-3,63

Bibliografia

- Black P.E., 1998. Watershed Hydrology. Chelsea (USA). *Ann Arbor Press*, p. 449.
- Bail J., Trudgill S. 1995. Overview of solute modelling. In: Solute modelling in catchement system. S.T. Trudgill Ed. New York J. Wiley . pp. 3-56. 473p.
- Berner R.A. Kamasch K.A., 1996. Chemical weathering and controls on atmospheric O₂ and CO₂: fundamental principles were enunciated by Ebelmen in 1845. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60:1633-1637.
- Bosellini A., 1989. La storia delle Dolomiti. Pordenone. *Ed. Dolomiti*, 149 p.
- Butler J. N., Cogley D. R. 1998. Ionic Equilibrium. New York J. Wiley. 559 p.
- Christensen H.B., Salomon A., Koholm G. 1991. International pH scales and certification of pH. *Anal. Chem.*, 63(18):885A-891A.
- Decet F. 1993. Materiali per l'idrochimica delle sorgenti in area dolomitica. *Boll. Chim. Ig.*, 44: 331-348.
- Decet F., Azzalini G., Fontanive M., 1997. Regione Veneto-Direzione generale per la Prevenzione. Atti della Giornata di studio " Qualità delle acque ad uso umano nelle zone montane: il modello Lasen 'A e B". Feltre 26.7.1997. pag. 54-77.
- Decet F., Salmaso N. 1997. Indagini preliminari sulle caratteristiche chimiche dei principali affluenti e dell'emisario del Lago di Garda. *Acqua-Aria*. Agosto-Settembre. 1-7.
- Drever J.I., 1988. The Geochemistry of Natural Waters. New York. Prentice Hall, 437 p.
- Drever J.I. Zobrist J., 1992. Chemical weathering of silicate rocks as a function of elevation in the southern Swiss Alp. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 56: 3209-3216.
- Frankland E., 1880. Water Analysis. New York Ed. J. Van Voors, 139 p.
- Garrels R.M., Mackenzie F.Y., 1967. Origin of the chemical composition of some springs and lakes . *Amer. Chem. Soc. Adv. in Chemistry Series*. 67: 222-242.
- Hem. D.J 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. 3 Ed. US *Geological Survey, Water Supply Paper* 2254. 264 p.
- Krauskopf K.B., Bird D.K., 1995. Introduction to Geochemistry. Amsterdam Mc Graw Hill 3th Ed., 647p.
- Miller J.C., Miller J.N., 1988. Statistics for Analytical Chemistry. 2nd Ed. Amsterdam Ellis Horwood, Amsterdam, 227p.
- MINEQL 1998. Chemical Equilibrium Modeling System. Version 4.0. *Environmental Research Software*, Hallowell (USA).
- Morse J. W., 1990. Geochemistry of Sedimentary Carbonates. Amsterdam Elsevier, 707 p.
- Mosello R., Bianchi M., Geiss H., Marchetto A., Serrini G., Serrini-Lanza G., Tartari G.A., Muntau H., 1998. AQUACON MedBas PROJECT Subproject No. 5 -Freshwater Analysis. *Intercomparison 1/97*. Joint Research Centre, Ispra - European Commission 52 p.
- Nuova Enciclopedia di Chimica, fondata da I. Guareschi, 1925, Vol. 7. Torino, UTET, p. 872 e segg.

Pearce A.J., Stewart M.K., Sklash M.G. 1986. Storm runoff generation in humid headwater catchment 1. Where does the water come from? *Wat Res.*, 22(8):1263-1272.

Reichardt E. 1880. Beurtheilung des Trinkwasser. Halle a.S. Buchhandlung des Waisenhauses. 170 p.

Steinheimer T.R. Scoggin K.D., 1998. Agricultural chemical movement through a field-size watershed in Iowa: subsurface hydrology and distribution of nitrate in groundwater. *Environ. Sci. Technol.*, 32:1039-1047.

Stumm W. Morgan J.J., 1981. Aquatic Chemistry New York J. Wiley 780 p.

Tauson V.I., Akimov V.V., 1997. Introduction to the theory of forced equilibria: general principles, basic concept and definitions. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 61(23): 4935- 4943.

Tiemann F., Gartner A., 1889. Die Chemische und Microscopisch-Bakteriologische Untersuchungen des Wasser. Berlin, Baruschweig Verlag , 692 p.

Voigt H.J. 1990. Hydrogeochemie. Berlin. Springer-Verlag . 310 p.