



***RIMOZIONE DI MICROINQUINANTI INORGANICI  
NATURALI NELLE ACQUE DESTINATE AL  
CONSUMO UMANO***

*Mercoledì, 14 Giugno 2006  
ACOS Novi Ligure (AL)*

*Intervento:*

**Inquinamento da boro un problema non solo  
italiano: Progetto BOREMED**

Dott. Antonio Muti

Azienda Servizi Ambientali SpA.,

Via del Gazometro, 9 - Livorno

[a.muti@asa.livorno.it](mailto:a.muti@asa.livorno.it)

# BOREMED

*Contaminazione da boro delle risorse idriche nella regione mediterranea:  
distribuzione, origine, risanamento e impatto sociale*

## Sintesi del rapporto finale



## Progetto BOREMED: premessa

*Maddalena Pennini (IGG/CNR) e Antonio Muti (ASA S.p.A.)*

Il progetto BOREMED “Boron contamination of water resources in the Mediterranean regio: distribution, social impact and remediation”, (<http://www.boremed.brgm.fr>), coordinato dal BRGM (responsabile Dr W. Kloppmann) e finanziato dalla Unione Europea, durante il triennio 2001-2004 ha avuto lo scopo di:

- acquisire un database sulla distribuzione del boro (e della salinità) in acque sotterranee del bacino del Mediterraneo, tramite la raccolta dei dati esistenti e la loro elaborazione in un Geographical Information System (GIS);
- identificare, attraverso un dettagliato studio geochimico che include l'applicazione delle tecniche isotopiche, le cause più frequenti degli arricchimenti in boro nelle acque, distinguendo tra sorgenti naturali e/o antropogeniche;
- modellizzare il trasporto del boro negli acquiferi;
- studiare gli effetti del boro sull'organismo umano;
- sviluppare nuove tecnologie per la rimozione del boro dalle acque;
- valutare l'impatto socio-economico causato dallo sfruttamento delle risorse idriche, ivi compresi i conflitti di gestione;

Al progetto hanno partecipato le istituzioni italiane IGG/CNR, CIGRI S.P.A. (oggi ASA S.p.A) e la TECHNE s.r.l., svolgendo un lavoro coordinato sul sito della Val di Cornia che è stato selezionato quale esempio di acquifero contaminato in boro.

I principali risultati ottenuti nel corso del progetto sono presentati nel volume del rapporto finale, che può essere richiesto all'indirizzo: [w.kloppmann@brgm.fr](mailto:w.kloppmann@brgm.fr)

Le sezioni relative alla descrizione generale del progetto e dei risultati geochimici ed isotopici ottenuti per il sito della Val di Cornia sono presentati in questo estratto in italiano

(traduzione a cura del Dott. Mario Fanelli). Per quanto riguarda la Val di Cornia ci preme segnalare anche il GIS sviluppato da TECHNE s.r.l., che ha riunito tutti i dati acquisiti per la zona, che possono adesso essere restituiti come carte tematiche.

I risultati ottenuti su circa 90 campioni di fluidi (acque termali, sorgenti fredde, acque superficiali e acque sotterranee, pozzi geotermici) e 22 campioni di sedimento (campionati in due diversi sondaggi) hanno permesso di formulare le seguenti ipotesi riportate di seguito.

Il boro presente nelle acque sotterranee non è causato da contaminazione antropica, dovuta all'attività urbana, agricola o industriale (detersivi, fertilizzanti, ecc.), ma è prevalentemente riferibile all'attività geotermica pleistocenica dell'area.

Le acque superficiali del fiume Cornia e dei suoi affluenti che costituiscono la principale ricarica dell'acquifero alluvionale hanno concentrazioni in boro significativamente superiori a quelle in genere misurate nelle acque superficiali. È stato riconosciuto un apporto attuale di fluidi geotermici nella parte alta del bacino del Cornia. I contenuti in boro del Cornia (e dei suoi affluenti) non sono tuttavia sufficiente per spiegare le concentrazioni di boro misurate nelle acque sotterranee della pianura di Piombino e l'aumento osservato dalla zona nord-est verso quella costiera.

L'insieme dei dati ottenuti sulle acque sotterranee suggeriscono che le anomalie in boro (superiore fino a otto volte al valore limite di 1 mg/l per le acque potabili) siano causate dall'interazione delle acque con la matrice fine dei sedimenti che costituiscono l'acquifero.

Nel settore nord-est della pianura, dove l'acquifero alluvionale è sfruttato per usi idropotabili, le acque hanno salinità bassa e una composizione bicarbonato-calcica. In queste acque il boro è l'unico elemento che supera i limiti di concentrazione imposti dalla vigente Normativa Europea. Nonostante manchino

evidenze di tipo chimico-fisico (anomalie termiche, gradienti di concentrazione del boro con la profondità) non si può escludere che in questa zona ci possa essere un apporto da parte di una circolazione geotermica regionale.

Nel settore costiero l'intrusione marina è responsabile della variazione osservata sul chimismo delle acque, che da bicarbonato-calcico evolvono a clorurato-sodico e calcico. In questo settore si misurano le massime concentrazioni del boro che non possono essere giustificate unicamente dall'apporto di boro d'origine marina. E' stato messo in evidenza che le acque a salinità elevata rendono più efficiente il processo di scambio con i sedimenti, e di conseguenza l'estrazione del boro. La qualità delle acque in questo settore non soddisfa molti dei parametri di legge.

Le caratteristiche chimiche ed isotopiche dei sedimenti sono in accordo con i dati ottenuti sulle acque. I sedimenti del settore nord-est del bacino e quelli analizzati nella zona costiera hanno una composizione isotopica del boro che spiega i tipici valori negativi misurati nelle acque a boro più elevato.

Inoltre i sedimenti delle zone esaminate sono arricchiti in boro, cesio, litio, arsenico ed antimonio rispetto a sedimenti provenienti da in aree non interessate dall'attività geotermica. Questi sedimenti hanno acquisito anomalie geochimiche in alcuni elementi tipici dell'ambiente geotermico, tra cui il boro, e li stanno attualmente rilasciando nelle acque.

Sulla base delle indicazioni ottenute, alcune azioni che possono essere suggerite per limitare il problema boro:

- Regolamentare gli apporti dalle manifestazioni geotermiche naturali localizzate nell'alto bacino del Cornia. Ciò permetterà di alimentare l'acquifero alluvionale con acque a basso tenore di boro.
- Promuovere progetti di ricarica naturale e/o artificiale delle acque superficiali a basso tenore di boro che contribuiscano ad aumentare l'alimentazione

dell'acquifero freatico o semi-confinato (R. Ghezzi, 2004 in Rapporto Regione Toscana)

- Concentrare lo sfruttamento nei campi pozzi localizzati nell'acquifero freatico o semi-confinato, dove gli scambi con i sedimenti argillosi sono più rapidi ed il rischio di intrusione marina ridotto
- Promuovere soluzioni tecniche locali per rimuovere il boro dalle acque (vedi risultati Work package 5, Boremed)
- Incrementare lo sfruttamento nei serbatoi delle aree collinari, dove acque di qualità possono essere distribuite con un nuovo servizio d'imbottigliamento e consegna a domicilio (Muti et al., 2004)
- Segnalare alle autorità competenti (Commissione Acque della Comunità Europea) che nelle zone in cui l'arricchimento in boro è causato da particolari contesti geologici (attività geotermica e/o idrotermale, depositi di evaporiti, intrusione marina ecc), le soluzioni da adottare per adempiere alla legislazione europea sono complesse (e di conseguenza molto più onerose), rispetto a casi in cui la contaminazione osservata siano riferibili all'attività antropica.

Per il progetto Boremed, il bacino del fiume Cornia ha costituito, insieme a Cipro, uno degli esempi di contaminazione d'origine naturale, citati a questo proposito (vedi pubblicazione allegata, Weinthal et al., 2004)

Nonostante la complessità delle problematiche affrontate e la necessità di continuare lo studio in quest'area in grande espansione e crescente fabbisogno idrico, questi risultati vengono divulgati nella speranza che possano essere di qualche utilità per quanti sono oggi costantemente impegnati nel difficile lavoro di raggiungere, entro i limiti di tempo stabiliti dall'attuale regime di deroga, il valore di concentrazione di 1 mg/l, imposto per il boro nelle acque distribuite a scopo potabile.

Hanno preso parte al progetto BOREMED dodici Istituzioni provenienti da sette paesi (Cipro, Francia, Grecia, Italia, Olanda, Autorità Palestinese)



Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM): France

**project co-ordinator**



Geological Survey Cyprus GSD  
Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment Cyprus

GEOINVEST

GEOINVEST Cyprus



INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) U472 (Epidémiologie et Biostatistique) Equipe „Epidémiologie toxicologique et environnementale“ France



Aristotle University of Thessaloniki, Department of Chemistry, Environmental Pollution Control Laboratory Greece



Ben Gurion University of Negev Israel



Tel Aviv University  
Department of Political Sciences Israel



Mekorot Water Co.  
Desalinisation and Special Projects Div. Israel



Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) del CNR Italy



ASA Livorno, Azienda Servizi Ambientali Italy

SELOR

SELOR eeig Netherlands



Al-Quds University  
Department of Applied Earth and Environmental Science Palestinian Authority

# Progetto Boremed: sintesi esecutiva del rapporto finale

W. Kloppmann, BRGM

## 1) Obiettivi

Gli obiettivi del progetto BOREMED sono stati quelli di valutare le alterazioni delle condizioni idriche nelle regioni aride e semi-aride del bacino mediterraneo che derivano da una combinazione di condizioni climatiche, elevata pressione umana e, spesso, da inadeguate strutture gestionali delle risorse. Le risorse idriche dell'area mediterranea frequentemente presentano gravi problemi di salinità, che mettono a rischio la loro utilizzazione attuale e futura ed anche lo sviluppo economico e sociale delle regioni da loro dipendenti. Inoltre, elevate concentrazioni di boro rendono le risorse idriche inutilizzabili per il consumo umano e per l'irrigazione.

Il progetto BOREMED ha consentito di valutare l'entità del "problema boro" con riferimento all'agricoltura ed agli standards EU per l'acqua potabile, di sviluppare una metodologia per individuare le origini e l'evoluzione nelle acque del boro e della salinità, di valutare gli effetti sulla salute del boro nell'acqua potabile. Ha inoltre permesso di sviluppare, provare ed applicare nuove tecnologie per eliminare il boro dalle acque sotterranee contaminate, dalle acque di discarica e da quelle salmastre e marine dissalate oltre che proporre una politica gestionale delle acque che integri le soluzioni tecniche nel vigente quadro istituzionale.

Le diverse fasi del progetto comprendono:

WP1: valutazione delle concentrazioni di boro nelle acque sotterranee a livello sovra-nazionale;

WP2: individuazione delle cause della contaminazione in boro;

WP3: l'individuazione delle vie di inquinamento;

WP4: valutazione degli effetti sulla salute;

WP5: sviluppo di soluzioni tecnologiche; WP6:

linee guida sull'attuazione dei regolamenti, sulla soluzione dei conflitti sull'acqua e sulla gestione delle risorse idriche sotterranee contaminate dal boro.

## 2) Risultati scientifici:

*WP1: valutazione delle concentrazioni di boro nelle acque sotterranee a livello sovranazionale.*

BOREMED ha raccolto un primo insieme di dati, con specifico riguardo al boro, sulla qualità delle acque in alcuni paesi mediterranei (Francia, Italia, Grecia, Cipro, Israele, Gaza).

Un *database* (MS Access) è stato derivato ed adattato alla banca dati nazionale francese per le acque sotterranee. Questa banca dati permette di gestire le analisi chimiche ed isotopiche delle acque (boro, elementi maggiori e minori associati, elementi in traccia selezionati) in relazione ai sistemi idrici, ai punti di campionamento e ai produttori di dati. I dati provengono da banche dati nazionali, regionali e locali, pubblicazioni scientifiche ed nuove informazioni prodotte dal progetto BOREMED. L'insieme di dati comprende le informazioni attualmente disponibili sul contenuto in boro nelle risorse idriche sotterranee dei paesi partner mediterranei, con 6400 punti d'acqua sotterranea, 17400 singole analisi di boro e un totale di 204000 analisi chimiche ed isotopiche. Esso comprende anche 940 punti d'acqua superficiale per l'Italia.

WP1 è stato messo a disposizione in rete mediante un Geographical Information System dedicato sul sito web BOREMED. L'interfaccia del sistema GIS usa un ambiente di sviluppo software Java-script, che permette di pubblicare tematismi GIS attraverso WWW Internet/Intranet o qualsiasi mezzo di distribuzione, senza necessità di un server dedicato. Un'analisi statistica preliminare mostra che circa il 30% dei valori di concentrazione del boro sono superiori a 0,3 mg/l, il 23% a 0,5 mg/l, che rappresenta precedente e l'attuale limite raccomandato dal WHO (1994 e 1998), e il 14% eccedono il limite fissato dall'EU Drinking Water Directive (1 mg/l). I valori più alti sono stati misurati in Italia, in particolare nelle aree con attività

geotermica, nella Grecia settentrionale e nell'Attica, nella parte centrale di Cipro ed in quella orientale della striscia di Gaza. Un GIS specifico per gestire le risorse idriche dell'acquifero del Cornia è stato sviluppato dall'azienda regionale per le acque ASA, che è uno dei partner del progetto BOREMED.

*WP2: individuazione delle cause della contaminazione in boro.*

Il WP2 ha sviluppato ed applicato una metodologia per individuare le sorgenti della contaminazione da boro, basata su indicatori isotopici (isotopi del B, Sr, O, H) e traccianti geochimici. Quattro paesi sono stati selezionati per lo studio geochimico ed isotopico delle acque sotterranee contaminate dal boro: Italia (acquifero del Cornia), Autorità Israele/Palestinese (NE della striscia di Gaza, acquifero costiero mediterraneo), Cipro (tre piccole aree rappresentative delle caratteristiche geologiche dell'isola) e Grecia (sistema carsico Katsika-Petralona nella penisola calcidica). Tutti i dati sul boro (più i relativi parametri), disponibili per le località selezionate, sono stati integrati nella banca dati del progetto (WP1). Sono state svolte vaste campagne di campionamento delle acque sotterranee e superficiali, sono state eseguite analisi chimico/isotopiche e sono state effettuate intercalibrazioni tra laboratori per le analisi chimiche e per analisi isotopiche del boro. Sottoprogrammi specifici sono stati svolti sui fluidi geotermici di Larderello (area di studio del Cornia), sul boro nei sedimenti dell'acquifero (Cornia), sugli indicatori isotopici nelle acque marine dissalate (Israele, Cipro) e sul boro di dilavamento del loess (Israele). I dati mostrano la necessità di studi chimici dettagliati combinati con dati isotopici del B, Sr, O e H, in aggiunta ai metodi tradizionali, come il contenuto in cloruri. La conclusione principale del WP2 è che, in tutte le situazioni studiate, la contaminazione da boro ha origini naturali. L'interazione acqua/roccia sembra essere la maggior fonte di boro negli acquiferi studiati, mentre l'intrusione di acqua marina o i fluidi geotermici sono fonti secondarie o indirette. Il boro antropogenico, proveniente da acque di discarica e da attività agricole o industriali, è trascurabile nei casi esaminati e

probabilmente lo è per la maggior parte dei casi di anomalie regionali di boro, che hanno conseguenze importanti nella gestione delle risorse contaminate. Il controllo della fonte d'inquinamento è più complessa nei casi in cui il boro abbia origine dalla matrice stessa dell'acquifero.

In Italia (Cornia), il boro deriva dall'interazione con la frazione argillosa dell'acquifero, che ha acquisito il boro in passato attraverso il contatto con i fluidi geotermici ricchi di questo elemento. In Israele/Gaza, acque sotterranee saline, ricche di boro, fluiscono da est nell'acquifero costiero; il boro deriva dal dilavamento del loess sovrastante ed è modificato da processi di adsorbimento – desorbimento.

*WP3: l'individuazione delle vie di inquinamento.*

Obiettivo del WP3 è creare un collegamento tra il WP2 (individuazione delle fonti di boro) e il WP6 (politica di gestione delle acque) attraverso lo studio delle vie di trasporto del boro dalle sue origini all'utilizzazione delle acque con un efficace e significativo approccio modellistico. Sono stati impostati i seguenti modelli:

Bacino del Fiume Cornia: modellizzazione 2D in condizioni stazionarie e limiti fissati sulla base della piezometria esistente. I risultati del WP2 indicano un'origine naturale del boro dovuta al dilavamento o al desorbimento della matrice dell'acquifero. Il modello di trasporto, perciò, considera un'origine del boro in situ. Il modello 2D messo a punto è disponibile ed ha mostrato un buon accordo con le piezometrie osservate e con la distribuzione nell'acquifero del boro e dei cloruri. Sono stati simulati scenari differenti per verificare diverse ipotesi sulle origini del boro: intrusione di acqua marina, infiltrazione diretta di fluidi geotermici, dilavamento del materiale dell'acquifero. Il dilavamento dei sedimenti è risultato lo scenario in miglior accordo con l'andamento del boro osservato.

Acquifero costiero del Mediterraneo: La modellizzazione 2D ha riguardato il trasporto di boro dalle sorgenti identificate ai limiti orientali (Israele) verso la depressione creata dal campo pozzi nei dintorni di Gaza. Il nuovo modello numerico ha dato risultati convergenti con la simulazione eseguita in stato stazionario e

comparabili con la piezometria locale. Per la parte settentrionale della striscia di Gaza è stato costruito un secondo modello 2D, che permette di considerare l'intrusione di acqua marina da NO, l'apporto di acqua sotterranea ricca di boro da SE e di acqua dolce da NE. Il WP2 suggerisce che il boro e la salinità sono un problema transnazionale riguardante sia Israele sia Gaza. Alcune soluzioni per la prevenzione sono state fatte girare nel WP3 ed hanno suggerito il modello di gestione N Gaza nel WP6.

*WP4: valutazione degli effetti sulla salute.*

Nella Francia settentrionale è stato eseguito uno studio su scala regionale per valutare gli effetti sulla salute della presenza del boro nell'acqua potabile e per capire meglio la tossicità potenziale di questo elemento. Misure del livello di boro nel sangue di un gruppo di individui sani e correlazioni con in il contenuto in boro nell'acqua potabile sono state seguite da una valutazione di indicatori biologici come la natalità, la mortalità, ed il rapporto tra i sessi in zone con diversi contenuti in boro nell'acqua potabile.

I risultati degli studi geografici svolti nella Francia settentrionale non confermano l'ipotesi di un effetto negativo del boro sulla salute umana, almeno sino alla concentrazione di 1 mg/l. Le concentrazioni di boro misurate nell'uomo (valutate dal livello di boro nel sangue) sono correlate solo parzialmente con il boro nell'acqua potabile. Questo contributo relativamente piccolo del boro dell'acqua alla concentrazione nel corpo umano, si spiega con l'azione di fattori ambientali e altre fonti di esposizione specialmente nella dieta.

Per chiarire questi problemi, il WP4 ha cercato altri indicatori delle concentrazioni totali di boro nell'uomo, nell'ambito di popolazioni particolarmente sensibili. Lo studio di una popolazione urbana di donne in gravidanza ha esaminato la relazione tra i livelli di boro nella placenta e gli enzimi chiave totali nel sangue in 197 neonati esposti al boro attraverso il corpo materno. La pompa Ca e le attività  $\text{Na}^+ \text{K}^+$  ATPase non sono correlate con il boro e l'attività ALA-D è inibita dal boro.

Un importante risultato di questo studio è che, a bassa esposizione ambientale, il boro può essere responsabile di dimostrabili effetti biochimici, inibendo certe reazioni degli enzimi chiave.

*WP5: sviluppo di soluzioni tecnologiche.*

Questa parte del progetto riguarda in modo specifico il boro nel trattamento delle acque per la produzione di acqua potabile e per irrigazione e nella dissalazione per Osmosi Inversa (RO). Per rimuovere il boro dall'acqua, sono stati sviluppati e sperimentati in laboratorio quattro sistemi, di cui tre a scala di prototipi. Una valutazione economica dei costi per la riduzione del boro con i sistemi descritti più avanti, ha portato ad una soglia del contenuto in boro nell'acqua potabile di 1 mg/l. I quattro sistemi studiati sono:

1. Adsorbimento/coprecipitazione del boro con adsorbenti minerali. Il programma di ricerca e sviluppo ha incluso lo studio di un vasto gruppo di potenziali adsorbenti, con sperimentazioni con materiale selezionato, sperimentazioni di rigenerazione, progettazione e costruzione del prototipo, prova del prototipo a Cipro con acque sotterranee contaminate dal boro.
2. Rimozione del boro nell'acqua marina e nell'acqua salmastra per osmosi inversa mediante nuovi tipi di membrane accoppiate con resine selettive del boro, in sistemi ibridi con osmosi inversa nello stadio secondario. Il progetto ha incluso esperimenti di laboratorio, prove del prototipo su impianti esistenti per osmosi inversa di acqua marina e salmastra in Israele e la valutazione economica dello sviluppo di un sistema ibrido (lavoro pubblicato).
3. Unità locali di rimozione del boro per produzione di acqua potabile con una combinazione di osmosi inversa, scambio ionico specifico del boro e carbone attivo. Basandosi su esperimenti di laboratorio, è stato costruito un piccolo prototipo e sono state provate nuove soluzioni tecniche in un impianto pilota ad osmosi inversa da 4 m<sup>3</sup>/h, che lavora da alcuni mesi con ottimi risultati a Cipro in una località contaminata dal boro.
4. Rimozione del boro mediante materiali di scarico industriali (polveri di carbone e ceneri). Questo progetto è stato svolto a scala di laboratorio e ha permesso di studiare la capacità



di rimozione del boro di materiali ampiamente disponibili e di basso costo (lavoro pubblicato).

*WP6: basi per linee guida sull'attuazione dei regolamenti, sulla soluzione dei conflitti sull'acqua e sulla gestione delle risorse idriche sotterranee contaminate dal boro.*

La parte socio-economica del progetto ha integrato i risultati scientifici (da WP1 a WP4) con quelli tecnologici (WP5) fornendo analisi, linee guida e raccomandazioni nel settore dei regolamenti, dei conflitti per lo sfruttamento dell'acqua e delle scelte gestionali per le acque sotterranee contaminate da boro. I principali risultati disponibili sono:

1. L'analisi dello stato di adeguamento e degli ostacoli nell'applicazione dei regolamenti EU sull'acqua potabile, alla luce di quanto è stato messo in evidenza dal WP2 sull'origine essenzialmente naturale della contaminazione da boro nelle acque sotterranee dell'area mediterranea.

2. Lo studio approfondito dei conflitti legati allo sfruttamento e causati dal degrado della qualità dell'acqua (aumento della salinità e contaminazione da boro) in situazioni particolarmente complesse di risorse idriche condivise (acquifero costiero mediterraneo), comuni ad Israele e Gaza, e di flussi contaminanti transnazionali.

3. Per la gestione di risorse idriche sotterranee contaminate da boro, il WP6 ha reso disponibili raccomandazioni in forma di linee guida di supporto alle decisioni nelle valutazioni iniziali, con una serie di strumenti forniti dal WP1, WP2 e WP3 (cofanetto GIS/geochimico-isotopico/idrodinamico), alle potenziali scelte gestionali e sulle obbligazioni istituzionali/regolamentari.

### **3) Interesse socio-economico e implicazioni politiche**

L'approccio di BOREMED segue strettamente la strategia della Framework Water Directive (Directive 2000/60/EC) riguardante le "misure da applicare alle risorse idriche che hanno un chimismo inferiore al buono". WP1 e WP2 di BOREMED hanno contribuito ad un "più approfondito controllo dell'estensione e della

natura dell'inquinamento" da boro e della sua relazione con la salinità. WP2 e WP3 di BOREMED forniscono i mezzi per lo "studio sull'origine dell'inquinamento" dovuto al boro ed alla salinità. WP4 contribuisce a valutare il "livello di rischio" determinato dall'esposizione per periodi prolungati al boro nell'acqua potabile. Le tecnologie sviluppate nel WP5 daranno un contributo alle azioni destinate a raggiungere gli obiettivi ambientali fissati dalla direttiva. Le tecnologie specifiche per il trattamento del boro sono essenziali per gli "interventi di riutilizzazione" delle acque di scarico di uso domestico ed industriali. Un appropriato trattamento può limitare gli effetti ambientali sugli acquiferi della "ricarica artificiale" con acque di scarico ricche di boro. Inoltre BOREMED, in collaborazione con gli utilizzatori finali interessati, svilupperà tecnologie per aumentare il rendimento degli "impianti di dissalazione".

E' stato compreso meglio il rischio per le popolazioni che si trovano in aree dove le sole risorse di acqua potabile sono ricche di boro. BOREMED fornisce supporto per le decisioni riguardanti le misure preventive per ciò che riguarda sia il controllo delle emissioni inquinanti sia il raggiungimento degli obiettivi sulla qualità delle acque.

Inoltre, il progetto comprende lo sviluppo e l'applicazione di tecnologie innovative a basso costo per studiare e ridurre la contaminazione delle acque. BOREMED permetterà agli stati membri di raggiungere e mantenere risorse idriche regionali di alta qualità e, in generale di contribuire a migliorare le condizioni sanitarie.

Poiché BOREMED mira a fornire un insieme di strumenti tecnico-amministrativi economicamente efficaci, i risultati saranno di aiuto per ulteriori azioni di convergenza e coesione nell'Unione Europea. Tutto ciò ha particolare importanza per gli stati membri mediterranei, che spesso debbono far fronte ad una deficienza di risorse idriche ed a una generalizzata bassa qualità dell'acqua. Le metodologie e le tecnologie proposte elimineranno le difficoltà per i nuovi stati membri, come Cipro, aiutandoli ad armonizzare i loro standards ambientali con le direttive EU, in particolare la Drinking Water Directive

(98/93/EC). I risultati del WP2 mostrano la prevalenza della contaminazione da boro naturale nelle risorse idriche sotterranee. In questo caso, il controllo del boro alla sua origine non è possibile e l'applicazione della Direttiva a livello nazionale e regionale richiederà notevoli impegni finanziari e infrastrutturali.

### **Conclusioni:**

I principali risultati disponibili di BOREMED consistono in:

- Una banca dati sulla qualità dell'acqua, specifica per il boro, relativa ai paesi mediterranei partecipanti, connessa con GIS, disponibile on line, che può essere consultata sul siti web del progetto.
- Un GIS regionale on line per l'area di studio del Cornia, usato come strumento di gestione dagli amministratori locali.
- Una metodologia isotopica e geochimica che unisce ai parametri chimici tradizionali gli isotopi di boro, stronzio, ossigeno e idrogeno ai fini della valutazione della contaminazione da boro nelle acque sotterranee.
- Dettagliati studi geochimici ed isotopici su quattro siti (in Italia, Grecia, Israele/Gaza, Cipro) scelti come esempi di contaminazione in boro delle acque sotterranee ed interpretazione dei dati ottenuti sull'origine e sui meccanismi che controllano il rilascio del boro nell'acqua.
- Modelli idrodinamici per i siti di Gaza/Israele e Italia, che sono stati usati per confermare le ipotesi degli studi geochimico-isotopici e che permettono di far girare programmi per la prevenzione della contaminazione da salinità e da boro nella striscia di Gaza.
- Una metodologia per l'analisi del boro nel sangue umano (ICP-MS) sperimentata su campioni di sangue provenienti da municipalità contaminate e non di Cipro e della Francia settentrionale.
- Uno studio epidemiologico nella Francia settentrionale rivolto alla eventuale relazione esistente tra un insieme di indicatori biologici e la concentrazione di boro nelle acque sotterranee per uso potabile.

- Uno studio medico sull'esposizione al boro ambientale di una popolazione neonatale e sull'effetto inibitore sugli enzimi chiave (p.e. attività ALA-D).

- Un metodo per la rimozione del boro con adsorbenti minerali messo a punto in laboratorio e provato in un impianto pilota (Cipro).

- La tecnologia per la riduzione del boro in impianti di dissalazione ad osmosi inversa (RO) di acque marine e salmastre, basata su un sistema ibrido RO/IX combinato con un secondo stadio RO. Esperimenti di laboratorio su nuove membrane e resine specifiche per il boro ed applicazione su impianti pilota esistenti.

- Unità locali di trattamento su scambio RO/IX/Carbone Attivo per la riduzione del boro, sperimentate in laboratorio ed a scala di impianto pilota, e, migliorate operativamente in un impianto pilota applicato all'orticoltura.

- Un metodo di rimozione del boro con prodotti di scarico industriale (polvere di carbone, ceneri) provato in laboratorio.

- Linee guida per l'applicazione degli standards di qualità con riferimento ai problemi del boro nell'acqua potabile negli stati membri EU (Italia), nei nuovi stati membri (Cipro) ed in stati mediterranei non EU (Israele).

- Una valutazione dei conflitti sullo sfruttamento delle risorse idriche causati dal degrado della qualità dell'acqua (aumento di salinità, contaminazione da boro), con particolare riferimento alle risorse condivise tra Israele e Gaza ed ai flussi transnazionali del contaminante.

- Linee guida per la valutazione e la gestione delle risorse idriche sotterranee contaminate