



Progetto strategico: Ambiente e Territorio



AREE DI SALVAGUARDIA DELLE CAPTAZIONI IDRICHE

Linee guida

I manuali di Arpa

- M. Avanzini** – EG Engineering Geology, Milano – capp. 8, 11, 12, 13
G.P. Beretta – Università di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra – capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
V. Boraldi – Arpa Emilia-Romagna, Sezione di Modena – capp. 2, 12, 13
D.A. De Luca – Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra – cap. 14
M. Farina – Arpa Emilia-Romagna, Direzione Tecnica – cap. 2
G. Filippini – Provincia di Torino, Servizio Pianificazione Risorse Idriche – cap. 14
A. Garazzino – Regione Piemonte, Settore Pianificazione e Gestione delle Risorse Idriche, Torino – cap. 14
L. Masciocco – Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra – cap. 14
M. Nespoli – EG Engineering Geology, Milano – capp. 11, 12, 13
A. Pagotto – EG Engineering Geology, Milano – capp. 11, 12, 13
N. Paltrinieri – Comune di Modena, Settore Ambiente – capp. 3, 4
W. Rauther – Ufficio Gestione Risorse Idriche, Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige – cap. 15
S. Righi – Arpa Emilia-Romagna, Sezione di Modena – capp. 12, 13
O. Ruffino – Regione Piemonte, Settore Pianificazione e Gestione delle Risorse Idriche, Torino – cap. 14
R. Spaggiari – Arpa Emilia-Romagna, Sezione di Reggio Emilia – cap. 6
E. Tacconi – Arpa Emilia-Romagna, Sezione di Reggio Emilia – cap. 5
C. Viotto – Provincia di Torino, Collaboratrice Area Ambiente – cap. 14
A. Zavatti – Arpa Emilia Romagna, Direttore Tecnico – capp. 1, 7

© 2002 Arpa Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna.
 Via Po, 5 - 40139 Bologna Tel 051 6223887 Fax 051 6223801
 http://www.regione.emilia-romagna.it/arpa e-mail: arpared@sc.arpa.emr.it

I manuali di Arpa

Direttore: Edolo Minarelli
 Direttore responsabile: Giancarlo Naldi
 Responsabile scientifico: Adriano Zavatti

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettronico, meccanico, di registrazione o altrimenti senza previa autorizzazione scritta di Arpa.

Editing a cura di Giancarlo Naldi
 Impaginazione e illustrazioni: Claudia Ferri

Stampato su carta Fedrigoni Free Life Symbol Satin, 50% pura cellulosa EFC,
 40% riciclo preconsumer selezionato, 10% riciclo postconsumer deinchiostrato



Finito di stampare nell'Aprile 2003 dalla Tipografia Moderna, Bologna

Presentazione	pag.	7
Introduzione	pag.	9
1. Le fasi metodologiche di delimitazione e gestione delle aree di salvaguardia	pag.	11
2. Organizzazione e studio delle aree di salvaguardia	pag.	15
3. Delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi in acquiferi vulnerabili	pag.	18
4. Delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi in acquiferi protetti	pag.	45
5. Individuazione dei centri di pericolo	pag.	53
6. Gestione delle aree di salvaguardia: protezione statica e dinamica	pag.	65
7. Previsione di futuri scenari di approvvigionamento idrico	pag.	93
8. Utilizzo di strumenti informatici nella perimetrazione delle aree di salvaguardia	pag.	99
9. Stima dei costi delle aree di salvaguardia	pag.	105
10. Stima dei costi per la realizzazione di un sistema di approvvigionamento idrico alternativo	pag.	113
Allegato		
Accordo Stato-Regioni-Province Autonome: linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'art. 27 del D.Lgs. 11 maggio 1999, 152	pag.	125
Nel CD:		
11. Sperimentazione dell'applicazione delle aree di salvaguardia ai pozzi della città di Modena	pag.	7
12. Casi di perimetrazione delle aree di salvaguardia in territori della pianura modenese: 1 - Sassuolo	pag.	53
13. Casi di perimetrazione delle aree di salvaguardia dei pozzi in territori della pianura modenese: 2 - Castelfranco Emilia	pag.	77
14. Esperienze di applicazione della normativa sulle aree di salvaguardia: l'esempio delle linee-guida della regione Piemonte	pag.	91
15. La normativa della provincia autonoma di Bolzano-Alto Adige sulle aree di salvaguardia: procedure ed esperienze di attuazione	pag.	122
Appendice A		
Considerazioni preliminari sulle aree di salvaguardia delle sorgenti	pag.	133

Presentazione

Da anni Arpa partecipa attivamente a molte attività di ricerca, attraverso l'impegno delle proprie strutture, sia in progetti europei, sia nazionali, alcuni dei quali di assoluta rilevanza e, soprattutto, ricaduta operativa ai vari livelli di governance territoriale e ambientale.

L'impegno dell'Agenzia non si esaurisce certamente nella ricerca, ma essa rappresenta un elemento qualificante di un più complesso e articolato processo di produzione di servizi di controllo, finalizzato alla prevenzione ambientale, territoriale e sanitaria seguendo il modello Pressioni, Stato, Risposte (DPSIR) e contribuendo alla stessa costruzione del quadro normativo di riferimento e degli strumenti di Pianificazione.

Così è stato per il decreto legislativo 152/99 di complessivo riordino dei criteri di tutela ed uso delle acque a scala nazionale, con la conseguente predisposizione in corso del Piano di tutela per la Regione Emilia-Romagna, solo per citare i momenti più significativi di una attività assai diversificata, basata sulla multireferenzialità di Arpa indicata nella legge costitutiva che estrinseca attraverso il concreto rapporto con tutti i soggetti che, a vario titolo, sono attori nel contesto ambientale.

È in questo quadro che si collocano coerentemente le Aree di salvaguardia delle captazioni idriche, frutto di un progetto di ricerca nell'ambito del progetto strategico "Ambiente e Territorio" del Consiglio Nazionale delle Ricerche, che si affiancano e completano quelli sulla Vulnerabilità degli acquiferi, condotti per oltre un decennio.

Esse costituiscono il frutto di una lunga esperienza di lavoro teorica e di applicazioni operative, sviluppato dall'Agenzia in collaborazione con vari istituti universitari e di ricerca ed enti locali, che, sul piano normazionale, ha visto recentemente una positiva conferma nell'Accordo tra Stato e Regioni, dopo una lunga e meditata elaborazione, alla quale abbiamo dato il nostro contributo.

Si tratta certamente di un passo importante verso una concreta attuazione dei principi di tutela delle risorse idriche, che si possono realizzare attraverso una corretta pianificazione territoriale.

Il processo di ricaduta e diffusione delle metodologie che l'Agenzia sta conducendo, riteniamo siano connotati a tutto il percorso qui sinteticamente accennato e ci fanno ritenere di avere svolto il compito affidatoci dalla collettività, e contemporaneamente ci spingono verso un ulteriore e continuo miglioramento in questo come in tutti gli altri settori nei quali si articola il lavoro di Arpa

Edolo Minarelli

Direttore Generale Arpa Emilia-Romagna

Introduzione

Il Progetto Strategico “Ambiente e Territorio” del CNR ha dedicato uno specifico Sottoprogetto alle problematiche di criticità della disponibilità di acqua da destinare ad uso potabile affrontando in modo integrato le tematiche della protezione e del monitoraggio dei corpi idrici d'interesse, degli effetti del cambiamento climatico sulla consistenza delle risorse, delle interrelazioni tra assetto del territorio e rischio di contaminazione.

Particolare attenzione è stata dedicata alla tutela dei corpi idrici sotterranei che rappresentano nel Paese la fonte strategica di approvvigionamento idropotabile per le elevate garanzie di costante e migliore qualità dell'acqua.

Il trasferimento delle conoscenze scientifiche nel settore istituzionale e gestionale ha rappresentato un obiettivo prioritario e qualificato delle attività del Progetto Strategico, che è stato possibile conseguire mediante un coinvolgimento diretto degli Enti nelle ricerche e nella calibrazione di queste agli aspetti applicativi di maggiore rilevanza.

Le aree di salvaguardia sono entrate nella normativa italiana nel DPR 236/88 sulle acque potabili, coprendo un vuoto legislativo nazionale già ampiamente soddisfatto da molti anni in altri Stati europei ed extraeuropei.

Il dlgs 152/99 ne ha confermato l'impianto tecnico-normativo, che nel gennaio 2003 ha trovato finalmente un riferimento applicativo nell'Accordo del 12 dicembre 2002 (GU 3.1.2003 n.2) raggiunto nella Conferenza permanente Stato-Regione-Province Autonome (Linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri generali per la individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche).

In questo processo il Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR ha svolto un ruolo di supporto tecnico-scientifico assai significativo, pervenendo ad un quadro di definizioni e metodologie che stanno alla base sia dell'Accordo, sia delle Linee-guida tecniche qui presentate, che ora Regioni, altri enti territoriali ed organi tecnici, nonché i gestori possono utilizzare nella applicazione dell'Accordo.

Le Linee-guida del presente Volume sono state prodotte con il prezioso contributo di numerosi Autori che, a vario titolo e da diversi “osservatori” (ARPA, Province, Comuni, Regioni, Università etc.), si sono occupati a livello sperimentale delle aree di salvaguardia.

È pertanto un lavoro teorico con forti riferimenti e sperimentazioni sul territorio.

Nel CD allegato sono contenuti alcuni esempi che, oltre a presentare concrete applicazioni tecniche, dimostrano anche il percorso attuativo svolto in assenza ed in presenza di una regolamentazione regionale: si sono in tal modo messi in evidenza e stressati i principali passi del processo che, nel Volume, sono descritti sotto il profilo generale.

Alcuni approfondimenti specifici riguardano, oltre alle modalità di individuazione e perimetrazione delle aree, anche cenni alla loro gestione ed ai relativi costi attualizzati.

Si ritiene che questo Volume rappresenti un esempio ben rappresentativo dei prodotti attesi del Progetto “Ambiente e Territorio” e che possa costituire, assieme ad altri momenti formativi ed informativi, un momento di disseminazione operativa dei principi fondamentali di tutela delle risorse idropotabili.

Giuseppe Giuliano
Coordinatore scientifico
Progetto Strategico Ambiente e Territorio del CNR

Adriano Zavatti
Direttore Tecnico
ARPA Emilia-Romagna

I. le fasi metodologiche di delimitazione e gestione delle aree di salvaguardia

La corretta gestione delle risorse idriche presuppone la soluzione di due problemi fondamentali: il mantenimento della buona qualità delle acque e la conservazione delle riserve idriche sotterranee generalmente destinate all'approvvigionamento potabile.

La difesa totale dagli inquinamenti in aree soggette a urbanizzazione e già interessate da contaminazione non è realizzabile che a medio-lungo termine; per questo motivo negli stati economicamente più sviluppati si è stabilito un ordine di priorità negli interventi che privilegia la tutela delle opere di captazione degli acquedotti e del territorio circostante.

Tale scelta permette di conservare, tramite un accurato controllo della qualità delle acque sotterranee e degli insediamenti "a rischio" (possibili sorgenti di contaminazione), una soddisfacente condizione d'uso delle risorse idriche sotterranee in aree di interesse strategico.

L'introduzione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione sul territorio ha lo scopo di determinare l'estensione della tutela, i vincoli d'uso e i controlli delle attività al fine di garantire nel tempo la possibilità dell'approvvigionamento idrico potabile.

Questo tipo di intervento preventivo era già praticato nell'antica Roma (Frontino: *"De Aqueductibus Urbis Romae"*, I sec. D.C.) e più recentemente alla fine del secolo scorso per garantire l'approvvigionamento idrico potabile dai rischi dell'inquinamento microbiologico, ma l'introduzione dei processi di disinfezione delle acque aveva introdotto un'eccessiva fiducia nelle possibilità di fornire acqua di buona qualità e pertanto la pratica delle aree di salvaguardia è stata per lungo tempo abbandonata.

Il problema è stato poi riproposto negli ultimi anni per l'ingente sviluppo economico e all'introduzione sul territorio di sostanze di varia origine non compatibili con l'uso previsto per le acque.

In effetti l'esperienza europea è ormai più che ventennale su questo argomento e anche negli U.S.A. è stato successivamente introdotto il principio della tutela dei campi pozzi.

È del resto da sottolineare che il solo intervento sulle captazioni non esaurisce il complesso problema della tutela delle acque sotterranee che sono generalmente riservate al consumo umano e questo è ben evidenziato dall'approccio seguito in U.S.A., dove aspetti tecnici ed economici relativi alla protezione hanno trovato una possibilità di collegamento.

Nel Safe Drinking Water Act Amendments del 1986 sono stati finanziati interventi per 20 milioni di \$ nel biennio 1987-1988 e di 35 milioni di \$ nel 1989-1991.

In seguito alla presentazione dei programmi degli Stati all'U.S. Environmental Protection Agency e alla successiva approvazione, gli Stati hanno potuto disporre dal 50 al 90% del finanziamento.

I contenuti dei piani dovevano:

- definizione dei responsabili dell'implementazione dei programmi;
- delimitazione delle aree di salvaguardia per ogni pozzo usando i dati disponibili e le linee-guida dell'U.S. Environmental Protection Agency;

- definizione di tutte le sorgenti antropiche che apportano contaminanti in grado di produrre un danno alla salute umana;
- studio di un programma di iniziative che tuteli l'approvvigionamento idrico all'interno delle aree di salvaguardia;
- individuazione di un piano di intervento per disporre di un approvvigionamento idrico alternativo;
- valutazione per ogni nuova captazione degli inquinanti attesi nelle previste aree di salvaguardia.

Inoltre poteva essere necessario l'adeguamento delle aree di salvaguardia alle mutate condizioni locali o conoscenze idrogeologiche

Era evidente lo sforzo richiesto ai singoli Stati laddove si imponeva l'esistenza per ogni pozzo delle aree di salvaguardia e la conoscenza di ogni sorgente di contaminazione per mezzo del controllo dell'uso del territorio nei dintorni del pozzo.

Nel 1996 l'argomento è stato rivisto da un ulteriore emendamento (Safe Drinking Water Amendments) che ha introdotto i seguenti elementi:

a - nuovi approcci per prevenire la contaminazione delle acque che consistono nelle seguenti iniziative:

- protezione delle fonti idriche mediante delimitazione delle aree di salvaguardia e valutazione della possibilità di contaminazione sulla base di programmi basati su linee-guida elaborate dall'U.S. Environmental Protection Agency;
- capacità di sviluppo dei sistemi idrici nuovi e vecchi in termini tecnico-manageriali e finanziari
- certificazione degli operatori in modo tale che possano essere svolte in modo efficiente tutte le operazioni relative ai servizi idrici.

b - migliori informazioni ai consumatori nel nome del "diritto alla conoscenza":

- redazione di rapporti annuali da spedire ai consumatori sul sistema idrico e sulla qualità delle acque;
- informazioni sul superamento degli standard di concentrazioni massime ammissibili per quelle sostanze che hanno un effetto a breve termine sulla salute umana (entro 24 ore con mezzi di comunicazione opportuni) e di altre violazioni di standard (entro un anno con un rapporto scritto);
- preparazione di un data-base in forme accessibili all'utenza da parte dell'U.S. Environmental Protection Agency.

c - miglioramenti normativi che includono l'applicazione delle migliori conoscenze scientifiche, priorità di sforzi e valutazioni di rischio:

- nuova selezione di contaminanti in base a valutazioni di rischio e loro regolamentazione (basandosi sui tre criteri di effetti avversi per la salute umana, di presenza in acque pubbliche con frequenza e livelli dannosi alla salute umana e di opportunità per la riduzione del rischio)
- informazioni sugli episodi di inquinamento mediante raccolta, archiviazione e messa a disposizione dei dati;

- analisi costi-benefici e ricerca di nuovi standard utilizzando le migliori conoscenze scientifiche la revisione delle conoscenze e studi specifici di supporto;
- tecnologie per i piccoli sistemi, prevedendo variazioni rispetto a quelle standardizzate se non disponibili ed eventuali esenzioni temporanee;
- tempi di adeguamento estesi a 3 anni;
- sistemi di monitoraggio;
- imposizioni di sistemi e disponibilità di un intervallo di tempo per adeguarli e in caso contrario applicazione di penalità;
- ulteriori ricerche su arsenico, radon, solfati e DBPs/Cryptosporidium.

d - nuovi stanziamenti economici per gli Stati e le comunità mediante il Drinking Water State Revolving Fund:

- introduzione di elementi finanziari per assistere gli Stati nella complessa problematica delle acque potabili;
- autorizzazione agli Stati per la spesa di 559 milioni di \$ per il 1994 e 1000 milioni di \$/anno per i successivi anni fino al 2003;
- suddivisione dei fondi per i diversi tipi di interventi.

Di questi fondi per i programmi relativi alle aree di salvaguardia ne sono stati di nuovo autorizzati 30 milioni di \$/anno per gli anni 1997-2003 e gli Stati possono utilizzare fino al 10% dei loro DWSRF per implementare le aree di salvaguardia dei pozzi.

In termini generali la garanzia della possibilità di captare acque potabili si sviluppa secondo quattro direttrici principali: la delimitazione di aree nelle quali risultano proibite-regolamentate le attività a rischio, da attuarsi in modo da non gravare eccessivamente sullo sviluppo industriale e urbanistico del territorio, la stesura di norme e vincoli da rispettare all'interno di queste aree tale da rendere possibile la gestione dei campi acquiferi in condizioni di sicurezza, la predisposizione di una rete di controllo della qualità delle acque sotterranee, l'organizzazione della tipologia e frequenza delle analisi da effettuare nonché l'introduzione di idonee risorse economiche per la tutela delle fonti di approvvigionamento.

L'impostazione generale delle operazioni deve essere necessariamente pragmatica sia nelle procedure che nelle regolamentazioni, imponendo divieti per le attività riconosciute a priori pregiudizievoli e sottoponendo ad autorizzazioni le altre, sulla base anche del miglioramento atteso delle conoscenze e del progresso delle tecnologie disponibili.

Le indagini da compiere per l'implementazione delle aree di salvaguardia devono avere un grado di approfondimento relativo all'importanza della fonte di approvvigionamento da difendere e al miglioramento prevedibile della sua protezione. Poiché la perimetrazione delle aree da tutelare penalizza il territorio per gli usi pubblici e privati, è necessario definire delle aree che garantiscano una difesa delle opere di captazione, incidendo nel minore modo possibile sull'economia del territorio.

Nella impostazione di una metodologia di approccio devono essere pertanto considerati i seguenti elementi:

- normativi: relativi alle disposizioni nazionali e regionali esistenti
- idrogeologici: in merito alla particolare struttura degli acquiferi sfruttati da tutelare

- tecnico-gestionali: riferiti all'importanza delle captazioni per le comunità locali
 - territoriali: uso del suolo e alle attività prevalenti esistenti in sito
 - giuridici: conflitto tra l'interesse pubblico e privato.
- Sulla base di quanto riportato in letteratura e dell'esperienza finora acquisita nella realtà italiana, viene di seguito proposta una metodologia di approccio secondo le seguenti fasi di impostazione.

1.1 Le strutture operative

Poiché la perimetrazione coinvolge a vario titolo sia gli enti territoriali competenti (Comuni, Province, Regione), sia gli Enti gestori dell'approvvigionamento idrico che gli Enti delegati ai controlli ambientali (ARPA) e sanitari (ASL o USL), nella prima fase di approccio, data la complessità del problema sotto vari profili, è necessario uno stretto coordinamento tra diversi soggetti per rendere a tutti disponibile, attraverso la costruzione di un adeguato sistema informatico, le conoscenze su: struttura idrogeologica, necessità di approvvigionamento idrico, condizione territoriale degli insediamenti attuali e previsti, modalità di intervento.

1.2 Delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi

Questa è la parte più tecnica della procedura in quanto, considerando i dati esistenti e quelli misurabili con apposite indagini, si definiscono i criteri e gli strumenti utili per delimitare le aree di salvaguardia da proporre per l'approvazione alla Regione competente. Si ricorda che tra i criteri di individuazione in Italia l'orientamento delle norme tecniche del Ministero dell'Ambiente introducono i criteri geometrico, idrogeologico e temporale. Le recenti modifiche al D.lgs 152/99 hanno definito meglio le procedure, impegnando in merito le Regioni.

1.3 Individuazione dei centri di pericolo

Poiché si opera in aree generalmente antropizzate, deve essere operato un censimento dell'attività presenti. In effetti questi territori sono caratterizzati dalla presenza di "acquiferi urbani". Per ogni centro di pericolo presente vengono quindi definiti "inquinanti attesi". Si opera poi una valutazione della loro compatibilità con l'esigenza di tutela arrivando a definire situazioni compatibili, parzialmente compatibili (con esigenza di adeguamenti, messa in sicurezza e monitoraggio) e incompatibili. In presenza di quest'ultima situazione si devono definire gli strumenti normativi e tecnico-economici per raggiungere un sufficiente grado di tutela delle fonti di approvvigionamento.

1.4 Gestione delle aree di salvaguardia

La conservazione della qualità della risorsa captata dipende dalle modalità di gestione del territorio; questo concetto viene ripreso anche dalla Legge 36/94, anche se in termini generali e in attesa di una valutazione più particolareggiata. Per questa ragione si possono intraprendere azioni che comprendono la pubblicizzazione e segnalazione delle zone, l'acquisto delle aree, l'installazione di un sistema di monitoraggio, le opere di controllo ambientale, l'adozione di piani inte-

grati di tutela e di vincoli d'uso da inserire negli strumenti territoriali (PRG, PTCP e/o piani di settore).

1.5 Previsione di futuri scenari di approvvigionamento idrico

Considerando anche gli studi da eseguire appositamente, in questa fase si approntano strategie per affrontare situazioni future prevedibili o accidentali. Tra queste misure si considera anche la possibilità di approvvigionamento idrico alter-

nativo o l'utilizzo delle risorse idriche presenti in aree precedentemente individuate e definite come "zone di riserva". L'impostazione del testo di seguito presentato si sviluppa, per quanto possibile, secondo il percorso metodologico sopra elencato, aggiornando e integrando la Pubbl. n.75 del C.N.R.-Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.) edita nel 1988 a cura della U.O. 4.3-Politecnico di Milano e con la collaborazione delle U.O. 4.1-Politecnico di Torino e 4.8-P.M.P di Modena (ora ARPA Emilia-Romagna).

2. Organizzazione e studio delle aree di salvaguardia

La costruzione di una nuova opera di captazione deve procedere di pari passo alla predisposizione di opere di prevenzione e monitoraggio che garantiscano nel tempo la possibilità di distribuire acqua di qualità idonea per il consumo umano. Ciò in relazione sia ai problemi di tutela ambientale che all'investimento economico necessario per l'opera, basato su una vita media di qualche decina d'anni.

Tale tutela preventiva è realizzabile attraverso le aree di salvaguardia, che trovano però una obiettiva difficoltà di perimetrazione sul territorio in Italia e nei paesi maggiormente sviluppati per i seguenti fattori:

- scarse o insufficienti conoscenze sulle modalità di circolazione idrica sotterranea;
- esistenza di diversi criteri di delimitazione;
- presenza di insediamenti e attività esistenti e previste;
- vincoli normativi statali e regionali;
- competenze di diversi Enti nelle fasi procedurali;
- esigenza di un monitoraggio sulle acque e di un controllo sugli insediamenti;
- costi per la delimitazione e la gestione.

La modifica delle competenze dei controlli ambientali, con l'introduzione dell'Agenzia Nazionale Protezione dell'Ambiente (ANPA) e delle Agenzie Regionali di Protezione dell'Ambiente (ARPA), ha determinato un elemento di novità. Gli enti gestori peraltro sono in via di sostanziale modifica giuridico-amministrativa, passando dalla consolidata struttura delle aziende municipalizzate – o gestione diretta da parte degli Enti Locali – a forme privatizzate. L'attuale gestione delle risorse idriche, frammentata in diversi Enti anche di piccole dimensioni, verrà superata con la realizzazione delle Agenzie d'ambito (ATO).

Anche per quanto riguarda l'aspetto economico in molti casi i bilanci non rendono disponibili risorse per gli investimenti e la distribuzione delle acque è sempre al limite del collasso poiché non esiste un sufficiente margine di garanzia nelle disponibilità; è quindi sufficiente la compromissione di una sola fonte di approvvigionamento per mettere in crisi l'intero sistema.

A fronte di questa situazione e delle necessarie ristrutturazioni, si deve introdurre una procedura agile, che permetta di sviluppare l'aspetto di tutela delle risorse idriche sotterranee captate, considerando contemporaneamente i diversi interessi e le differenti competenze.

All'interno dell'attuale struttura pubblica sono diverse le competenze nel settore della gestione delle acque e sono altrettanto numerosi gli interessi da tutelare.

Il coinvolgimento già nelle fasi iniziali della procedura dei privati consente di ridurre le possibilità di contenziosi successivi, che possano bloccare la realizzazione e lo sfruttamento delle captazioni, nonché la perimetrazione delle aree di salvaguardia per periodi di tempo imprecisati.

Dato quindi l'elevato numero di portatori di interessi coinvolti nelle operazioni, le modalità di rapporto possono essere diverse e le Regioni potranno organizzare variamente le varie componenti.

I possibili soggetti coinvolti nel processo decisionale sono qui riportati

- Enti pubblici: Comuni, Comunità Montane, Province, Regione, Autorità d'ambito;
- Enti di controllo: ARPA e ASL o USL;
- Servizi pubblici: Gestori acquedotto, Consorzi di depurazione acque, Vigili del Fuoco, Servizio Geologico etc.;
- Organizzazioni a tutela di interessi privati: agricoltori, industriali, commercianti, etc..

Possono essere inoltre coinvolti anche gruppi locali con interessi ambientali.

Si dovrà in definitiva cercare di superare i conflitti che coinvolgono anche gli Enti pubblici, ad esempio nel caso in cui le aree di salvaguardia interessino diversi Comuni, le captazioni di un Comune necessitano di aree di salvaguardia poste al di fuori del territorio comunale, oppure qualora le captazioni di un Comune siano poste in un altro territorio comunale.

Infine si risponde in questo modo anche agli obblighi normativi che richiedono "l'individuazione delle aree di salvaguardia" da parte della Regione.

2.1 Definizione degli obiettivi e delle fasi di studio

Laddove sono state realizzate le aree di salvaguardia, sia come risultato di esigenze locali che come applicazione di normative esistenti, nel corso della procedura si è raggiunto in primo luogo l'obiettivo di una migliore conoscenza delle acque sotterranee e del territorio.

Gli obiettivi finali delle attività sono costituiti da:

- delimitazione delle aree di salvaguardia;
- limitazione dell'uso del suolo e di insediamenti;
- controllo delle attività pericolose per la qualità delle acque sotterranee;
- controllo delle acque sotterranee in afflusso alle captazioni.

Le prime due attività costituiscono la "protezione statica" e le altre due la "protezione dinamica"; questi due aspetti verranno ripresi successivamente.

È possibile suddividere in fasi l'attività della struttura operativa.

1) Verifica dell'esigenza di applicazione delle aree di salvaguardia

Tale attività iniziale è finalizzata a valutare le necessità di attuazione delle aree di salvaguardia, sia come opere di prevenzione che in risposta alle normative statali e regionali. Sulla base delle valutazioni si imposterà la composizione della struttura operativa.

2a) Valutazione dei dati disponibili

Sulla base della localizzazione delle captazioni da salvaguardare si analizzeranno i dati esistenti, compilando un elenco della loro disponibilità, da pubblicizzare poi all'interno della struttura operativa.

2b) *Impostazione del piano di attività per la delimitazione delle aree di salvaguardia*
In relazione alla qualità dei dati a disposizione si predisporrà un piano di studio che possa comprendere sia l'acquisizione dei dati idrogeologici che quelli dell'uso del suolo nelle diverse zone.
Dal punto di vista operativo generalmente l'Ente gestore della risorsa si occupa dell'acquisizione e omogeneizzazione dei dati e in questa fase si può decidere di ricorrere eventualmente a consulenti esterni.

2c) *Proposta di delimitazione delle aree di salvaguardia*
Una volta raccolti tutti gli elementi si opera con uno dei metodi disponibili, di diversa complessità a seconda di differenti fattori successivamente considerati, la delimitazione delle aree di salvaguardia.

3) *Individuazione dei centri di pericolo*
Constatata l'estensione e la localizzazione delle aree di salvaguardia, si procede all'individuazione delle potenziali sorgenti di contaminazione. È necessario disporre di una cartografia della loro localizzazione e di un data-base circa le loro caratteristiche.

4) *Gestione delle aree di salvaguardia*
Una valutazione dell'interferenza dei centri di pericolo sulle acque da captare e le considerazioni circa le normative esi-

stenti, porta alla definizione all'interno della struttura operativa delle attività compatibili e incompatibili; tra queste ultime si dovrà poi decidere quali possono essere messe in sicurezza e quali invece devono essere allontanate.
In molti casi si deve raggiungere un ragionevole compromesso tra una situazione ottimale, raggiungibile solo a medio-lungo termine e una più fattibile a breve termine e con costi contenuti.
Inoltre dovrà essere rimarcata la priorità delle aree di salvaguardia per l'intervento pubblico nella realizzazioni di alcune infrastrutture, come ad esempio la sistemazione della rete di smaltimento delle acque reflue.

5) *Scenari di gestione futura*
Nell'ambito di questa attività dovranno essere fornite le linee-guida del piano di intervento per garantire un approvvigionamento idrico alternativo.
Una volta compilato, il piano dovrà essere valutato ed eventualmente modificato dalla struttura operativa.
Anche in questo modo l'intervento pubblico potrà essere maggiormente finalizzato al raggiungimento degli obiettivi previsti.

Si ricorda infine l'aspetto economico della realizzazione delle aree di salvaguardia, attraverso opportune modalità tariffarie e gestionali.

3. La delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi in acquiferi vulnerabili

Come è già stato detto in precedenza, la difesa dagli inquinamenti in aree soggette a urbanizzazione e già interessate da contaminazione non è realizzabile che a medio-lungo termine; per questo motivo negli Stati economicamente più sviluppati si è stabilito un ordine di priorità negli interventi che privilegi la tutela delle opere di captazione degli acquedotti e del territorio circostante.
Ciò permette di conservare tramite un accurato controllo della qualità delle acque sotterranee e degli insediamenti "a rischio" (possibili sorgenti di contaminazione), uno stato soddisfacente delle risorse idriche sotterranee in aree di interesse strategico.
Tale difesa si sviluppa secondo tre direttrici principali:

- la delimitazione di aree nelle quali risultano proibite-regolamentate le attività a rischio, da attuarsi in modo da non gravare eccessivamente sullo sviluppo industriale e urbanistico del territorio;
- la stesura di norme e vincoli da rispettare all'interno di queste aree tale da rendere possibile la gestione dei campi acquiferi in condizioni di sicurezza;
- la predisposizione di una rete di controllo della qualità delle acque sotterranee e l'organizzazione della tipologia e frequenza delle analisi da effettuare.

Le indagini da compiere per il raggiungimento degli scopi previsti devono avere un grado di approfondimento relativo all'importanza della fonte di approvvigionamento da difendere e al miglioramento prevedibile della sua protezione.
Poiché la perimetrazione delle zone penalizza il territorio per gli usi pubblici e privati, è necessario definire delle aree che garantiscano una difesa delle opere di captazione, incidendo nel minore modo possibile sull'economia del territorio.
Infatti possono verificarsi tre possibilità:

- Aree sottodimensionate: si ottiene una minore protezione della captazione e quindi risulta ancora elevato il rischio di contaminazione delle acque in afflusso.
- Aree idoneamente dimensionate: viene preservata la qualità delle acque in afflusso alla captazione.
- Aree sovradimensionate: si determinano difficoltà nell'attuazione pratica dei vincoli e dei controlli.

Poiché in queste operazioni intervengono fattori socio-economici di rilevante incidenza è importante produrre una delimitazione delle aree in modo sufficientemente affidabile.

Nella successiva illustrazione sono riassunti i principali metodi di perimetrazione nelle diverse configurazioni idrogeologiche e di prelievo.

3.1 Sintesi dei criteri utilizzati per la perimetrazione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione

Nell'ambito della prevenzione dell'inquinamento delle acque si attribuisce una "sensibilità" maggiore ai punti di approvvigionamento idrico potabile (pozzi, sorgenti, prese di acque superficiali) e nelle immediate vicinanze di questi siti viene pianificato l'uso del territorio con l'esclusiva finalità di proteggere la risorsa idrica e la captazione di acque.
Vengono pertanto delimitate aree assoggettate a vincoli e controlli denominate "aree di salvaguardia" e nella letteratura idrogeologica internazionale "groundwater catchment protection zones, wellhead protection areas, special protection areas, périmètres de protection des captages, areas de protection de captaciones".
Un'operazione preliminare alla scelta di un criterio per la perimetrazione delle zone di salvaguardia è costituita dallo studio della vulnerabilità del sito all'inquinamento delle acque sotterranee.
Tali conoscenze sono acquisibili con due operazioni a differente scala:

- 1) Scala regionale: costruzione o utilizzo di una Carta della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (ad esempio secondo la semplice metodologia proposta da C.N.R.-G.N.D.C.I., 1988 o altri approcci più complessi descritti in Beretta G.P., 1992, Civita M., 1994 e Civita M. et al., 1997).
- 2) Scala locale: predisposizione di una scheda della captazione che indichi, oltre alle caratteristiche tecniche, la popolazione servita, il tipo di abitazioni, le caratteristiche geomorfologiche, l'uso del suolo, la presenza di reti tecnologiche primarie e secondarie di collettamento degli scarichi, la tipologia dello smaltimento dei rifiuti, la presenza di centri di pericolo e il rischio di inquinamento potenzialmente prodotto e infine la tipologia dei controlli territoriali esistenti e previsti.

I criteri teorici su cui è basato il dimensionamento delle aree di salvaguardia sono di vario tipo, ma essi prevedono una vincolistica sempre più stretta in funzione della vicinanza

Criteri Processi fisico-chimici e biologici	Criteri				
	Distanza	Abbassamento indotto	Tempo di trasferimento	Limiti del flusso idrico sotterraneo	Capacità di assimilazione
Avvezione		X	X	X	
Dispersione			X		
Interazioni matrice-soluto			X		X

Tab. 3.1 - Relazioni tra criteri adottati per la delimitazione delle aree di salvaguardia e processi che descrivono il movimento di acque e inquinanti negli acquiferi (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

	Germania	Austria	Belgio	Finlandia	Olanda	Francia	Svizzera	Rep. Ceca	Ungheria	Svezia	Gran Bretagna	Norvegia	Russia	Italia
Proibizioni	Zona I Sito del pozzo (10-100 m)	Zona di protezione immediata	Zona di protezione immediata	Area di protezione immediata	Area di presa	Sito del Pozzo	Zona di protezione immediata (10-20 m)	Zona I - (5-20 m)	Prima zona di protezione (10-50 m)	Zona di protezione	Sito del pozzo	Sito del pozzo (10-30 m)	Zona I - (15-20 m)	Zona di tutela assoluta (> 10 m)
Concesso solo approvvigionamento idrico	Zona II Sito del pozzo 50 giorni	Area di protezione 50 giorni	100 m - 24 ore	Zona di protezione interna 60 giorni	Area di protezione interna - (> 30 m)	Area di protezione interna (10-20 m)	Zona II - (10-20 m)	Zona II - (5-20 m)	Seconda zona di protezione interna	Zona di protezione interna (> 100 m)	Zona non stabilizzata Protezione delle acque sotterranee conseguita con piani urbanistici e procedure per il controllo ambientale con priorità per le aree di ricarica dell'acquifero (usando anche carte della vulnerabilità)	60 giorni	Zona II - 100-400 giorni	Zona di rispetto (> 200 m)
Proibizioni di costruzioni e restrizioni all'attività agricola			Zona di protezione interna 50-60 giorni											
Restrizioni per certe industrie, immagazzinamento e trasporto di alcuni composti e oli	Zona III A 2 Km	Area di protezione parziale	Zona di protezione esterna	Zona di protezione esterna	Area di protezione 10 anni (> 800 m)	Area di protezione 10 anni (> 800 m)	Zona III - (< 200 m)	Zona III - (< 200 m)	Seconda zona di protezione esterna	Zona di protezione esterna	Area di protezione idrogeologica 25-100 anni	Zona di alimentazione	Zona III in funzione dei tempi	Zona di protezione
ALTRI LIMITI AREA DI RICARICA					Area di protezione 25 anni (> 1200m)	Area di protezione 25 anni (> 1200m)	Zona A Zona B	Zona A Zona B			Protezione regionale			

Fig. 3.1 - Schema riassuntivo delle esperienze europee e dell'U.R.S.S. in relazione alla delimitazione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione

con il pozzo, la sorgente o la presa di acque superficiali, come indicato in Fig. 3.1 che illustra le esperienze di diverse normative nazionali.

Gli AA. che si sono occupati del problema hanno adottato i seguenti criteri (Cleary T.C.B.F., Cleary R.W., 1990, U.S. Environmental Protection Agency, 1988a, Van Waegeningh H.G., 1985):

- 1) Distanza dall'opera di captazione
- 2) Abbassamento del livello piezometrico indotto dal pompaggio
- 3) Tempo di trasferimento di una contaminazione dall'origine alla captazione
- 4) Limiti del flusso idrico sotterraneo
- 5) Capacità di assimilazione

In questo ultimo criterio convergono fenomeni connessi al potere autodepurante del terreno di copertura e quelli relativi alla diluizione-dispersione della massa inquinante nell'acquifero.

Come illustrato nella Tab. 3.1, i criteri riportati prevedono un diverso grado di congruenza con i meccanismi idrodinamici e idrochimici che determinano la mobilità degli inquinanti e pertanto si possono ricavare le dovute conseguenze circa la loro migliore affidabilità.

La scelta di uno dei criteri sopra descritti è basata principalmente su considerazioni tecnico-economiche.

Il criterio geometrico (distanza dalla captazione) viene generalmente riservato a fasi transitorie in attesa di una più efficace regolamentazione; si può anche adottare per indicare un limite estremo alla zona di protezione più lontana dalla captazione, onde non sovradimensionare le aree vincolate.

Se si desidera gestire la possibile interferenza tra le attività presenti sul territorio e la zona di influenza dei prelievi potrà

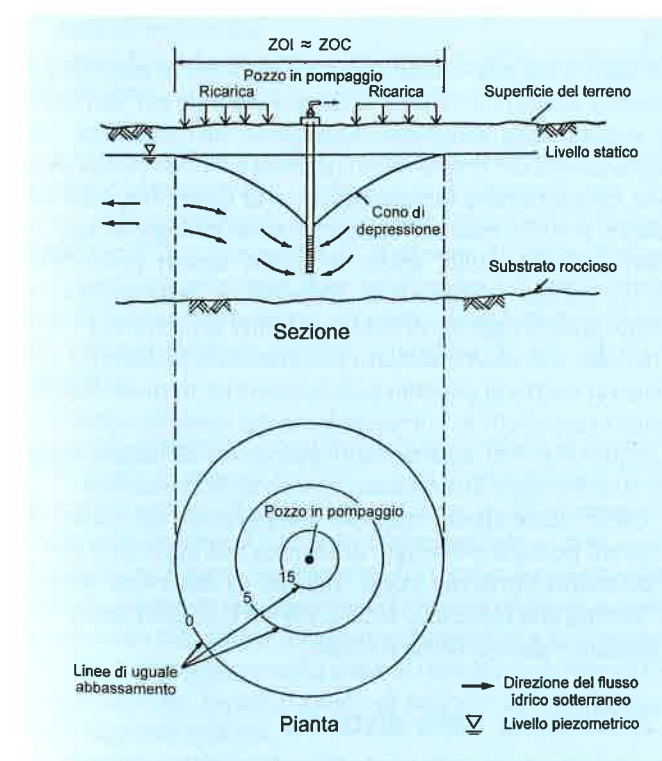


Fig. 3.2 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia con il criterio dell'abbassamento del livello piezometrico per un pozzo in falda libera (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

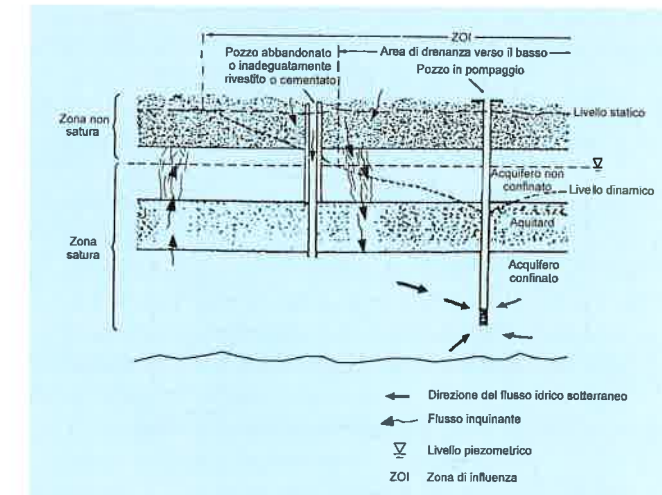


Fig. 3.3 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia con il criterio dell'abbassamento del livello piezometrico per un pozzo in falda semiconfinata (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

essere scelto il criterio degli abbassamenti indotti dal pompaggio sia in presenza di falde vulnerabili (Fig. 3.2) sia in presenza di falde relativamente più protette dall'inquinamento (Fig. 3.3).

Questa scelta può essere integrata, nelle zone densamente urbanizzate, dalla necessità di disporre di un sufficiente periodo di tempo per poter intervenire (tempo di trasferimento o di sicurezza); lo schema di Fig. 3.4 mostra il significato del criterio descritto.

Il criterio idrogeologico dei limiti del flusso idrico sotterraneo (ad esempio: limite impermeabile o di alimentazione, spartiacque, etc.) risulta applicato ad acquiferi di estensione

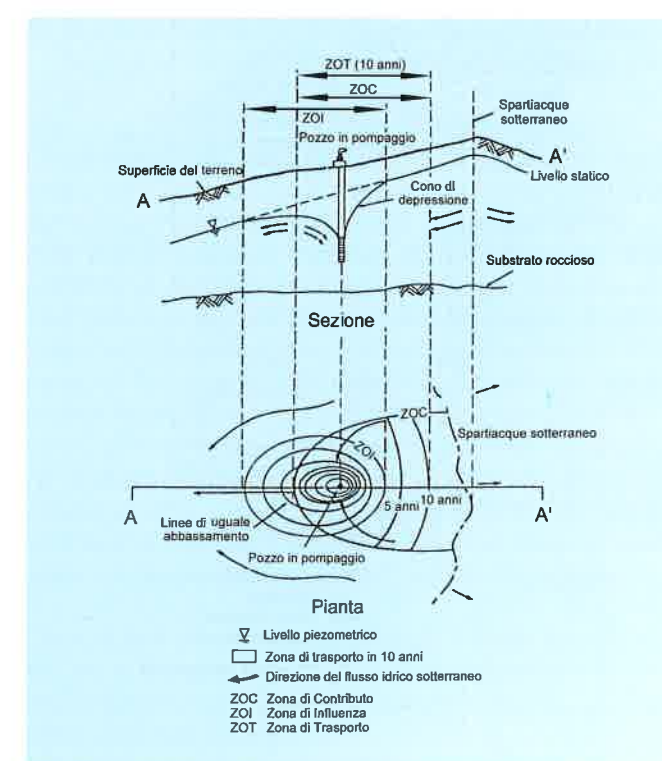


Fig. 3.4 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia con il criterio del tempo di trasferimento di una contaminazione (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

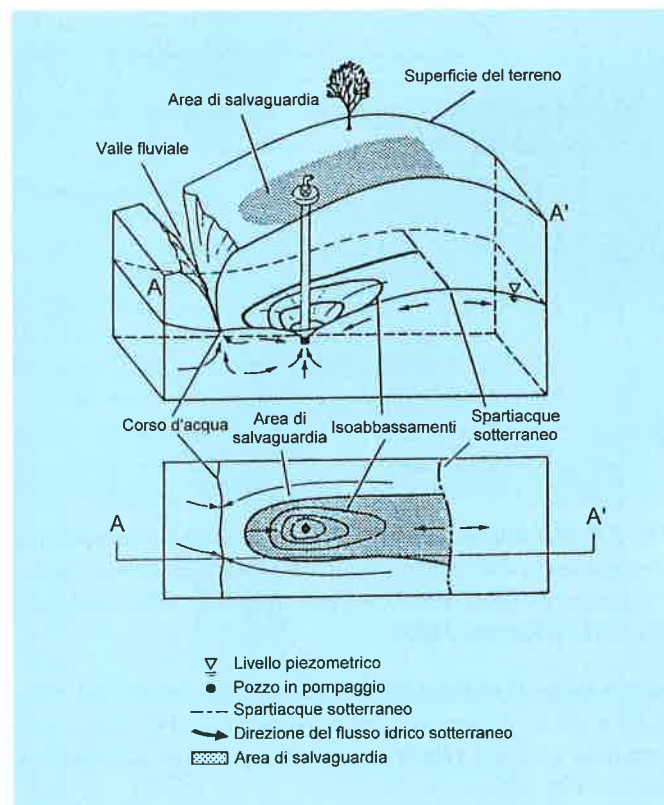


Fig. 3.5 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia con il criterio dei limiti del flusso idrico sotterraneo (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

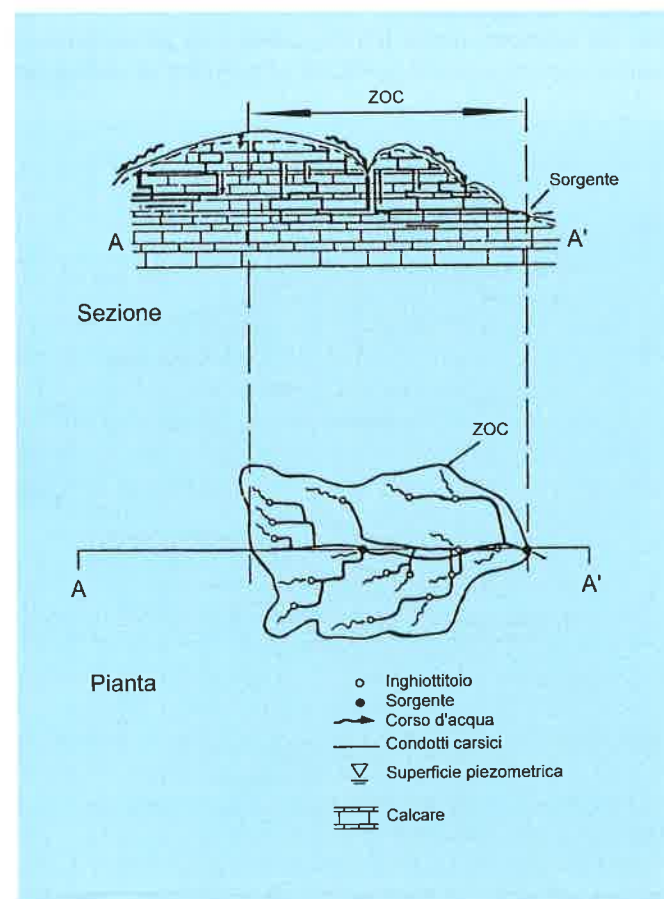


Fig. 3.6 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia per acquiferi in sistemi carsici (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

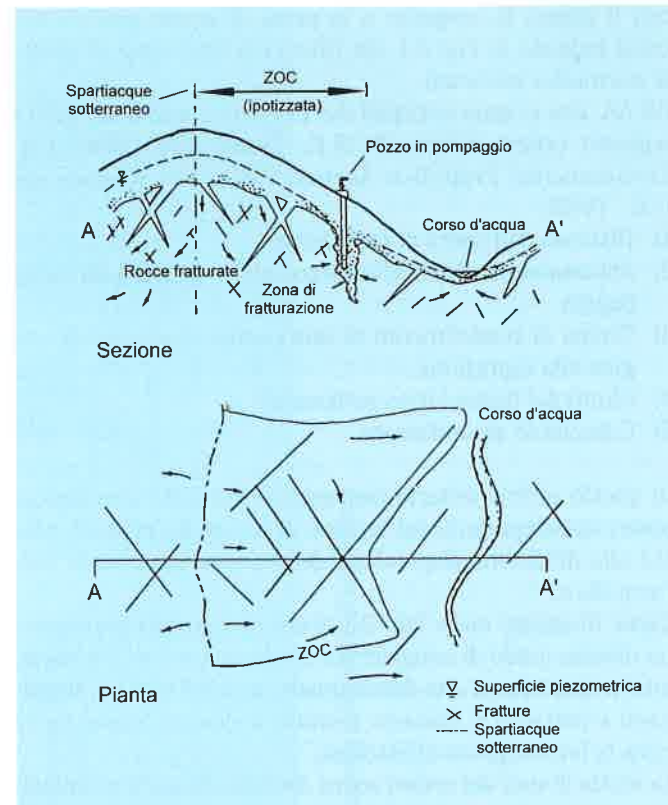


Fig. 3.7 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia per acquiferi in rocce fessurate (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

limitata (Fig. 3.5); anche in questo caso si può arrivare a una protezione delle acque sotterranee estesa a una vasta area, anche se giustificabile tecnicamente come in presenza di sistemi carsici (Fig. 3.6) o nei mezzi a porosità fissurale (Fig. 3.7).

Nel caso vi sia una contaminazione prodotta in superficie è possibile adottare il criterio della depurazione nel non saturo seguita dalla diluizione-dispersione nell'acquifero; per l'applicazione del criterio sono necessarie buone conoscenze sulle caratteristiche idrogeologiche e di dispersività dell'acquifero e sulle reazioni chimico-fisiche-biologiche con la matrice o altri fluidi, anche se questi aspetti presentano ancora ridotte possibilità di applicazioni nella pratica in quanto ancora oggetto di studi scientifici approfonditi. Il metodo può essere adottato per prevedere la distanza alla quale un centro di pericolo può far risentire in modo significativo i suoi effetti in corrispondenza dei punti di captazione di acque (Fig. 3.8); esso pertanto può essere utilizzato anche per stabilire zone di sicurezza intorno ai siti pericolosi. In effetti quest'ultimo metodo, comportando un'analisi di sorgenti, percorsi e bersagli, determina una approccio tipico di un'analisi di rischio, come indicato da American Society for Testing and Materials, 1995 e 1998 o U.S. Environmental Protection Agency, 1996a e 1996b.

3.2 Criterio della distanza

Questo criterio, che tende ad allontanare dalla captazione le possibili cause di contaminazione delle acque sotterranee, confidando che un'eventuale inquinante arrivi sufficientemente diluito, è applicato in prima istanza ad esempio anche nella normativa italiana.

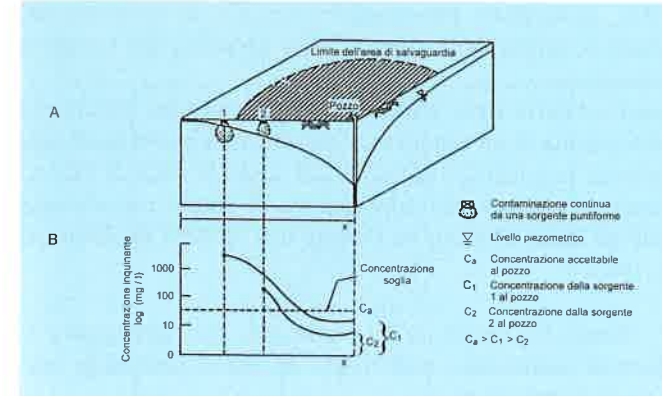


Fig. 3.8 - Schema di delimitazione delle aree di salvaguardia con il criterio della capacità di assimilazione (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

La normativa che è attualmente in vigore, di cui è in corso di stesura il regolamento di applicazione per quanto riguarda le aree di salvaguardia (mentre con il D.M. del 26 marzo 1991 sono state indicate prevalentemente le norme tecniche per i controlli delle acque potabili), è il D.lgs 11 maggio 1999, n. 152, come modificato dal D.lgs 18 agosto 2000, n. 258. In questo provvedimento vengono stabilite zone, determinate prevalentemente con criterio geometrico, nelle quali si hanno divieti e regolamentazioni per le attività e gli insediamenti al fine di conservare nel tempo la possibilità di un idoneo approvvigionamento idrico.

Il D.lgs 11 maggio 1999, n. 152, che per questi aspetti ha sostituito il D.P.R. 236/88, prevede che le aree di salvaguardia siano suddivise in:

- zona di tutela assoluta;
- zona di rispetto;
- zona di protezione.

Le zone di tutela assoluta e quelle di rispetto si riferiscono alle sorgenti, ai pozzi e ai punti di presa.

“La zona di tutela assoluta è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni: essa deve avere una estensione in caso di acque sotterranee e, ove possibile per le acque superficiali, di almeno 10 metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio.” (comma 4, art. 21, D.lgs 152/1999).

“La zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) *dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;*
- b) *accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;*
- c) *spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizza-*

zione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;

- d) *dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade;*
- e) *aree cimiteriali;*
- f) *apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;*
- g) *apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;*
- h) *gestione di rifiuti;*
- i) *stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;*
- l) *centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;*
- m) *pozzi perdenti;*
- n) *pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.”* (comma 5, art. 21, D.lgs 152/1999).

“Per gli insediamenti o le attività di cui al comma 5, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Le regioni e le province autonome disciplinano, all'interno delle zone di rispetto, le seguenti strutture od attività:

- a) *fognature;*
- b) *edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;*
- c) *opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;*
- d) *le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione di cui alla lettera c) del comma 5.”* (comma 6, art. 21, D.lgs 152/1999).

“Su proposta delle autorità d'ambito, le regioni, per mantenere e migliorare le caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse, nonché per la tutela dello stato delle risorse, individuano le aree di salvaguardia distinte in zone di tutela assoluta e zone di rispetto, nonché, all'interno dei bacini imbriferi e delle aree di ricarica della falda, le zone di protezione. (comma 1, art. 21, D.lgs 152/1999)”.

“In assenza dell'individuazione da parte della regione della zona di rispetto ai sensi del comma 1, la medesima ha un'estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione. (comma 7, art. 21, D.lgs 152/1999)”.

Come si può evidenziare dal disposto legislativo la distanza dei 200 m è una misura di salvaguardia transitoria, in attesa che vengano prodotti appositi studi per la perimetrazione ad opera degli enti competenti.

Nel dettato della normativa precedente (D.P.R. n.236 del 24 maggio 1988), era indicata per le zone di rispetto la misura di 200 metri di raggio dal punto di captazione; a questa misura era possibile prevedere una riduzione o un incremento.

“Le regioni, al fine della protezione delle acque sotterranee, anche di quelle non ancora utilizzate per l'uso umano, individuano e disciplinano, all'interno delle zone di protezione, le seguenti aree:

- aree di ricarica della falda;
- emergenze naturali ed artificiali della falda;
- zone di riserva”. (comma 9, art. 21, Dlgs 152/1999)

3.3 Criterio della zona di influenza del pompaggio

Un inquinante posto all'interno della zona di influenza del pompaggio di un pozzo viene intercettato dall'opera di captazione; il problema consiste pertanto nel determinare tale area di influenza.

Analizzando il problema in modo semplificato, peraltro sviluppato e risolto in modo più consistente mediante l'utilizzo di modelli di flusso, si osserva che si deve innanzitutto ricostruire la piezometria naturale (o “statica”) dell'area studiata. Applicando la nota legge di Theis, valida per il regime transitorio, si ottiene l'abbassamento s (m) in un punto a una distanza r (m) dal pozzo che preleva una portata Q (m³/s):

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u) \quad (3.1)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (3.2)$$

dove T (m²/s) è la trasmissività dell'acquifero e S il coefficiente di immagazzinamento.

Estendendo l'influsso del pompaggio a una durata prolungata t (s), si ottiene un regime pseudo-permanente.

Sottraendo gli abbassamenti così ottenuti alla piezometria originaria si ottiene la “piezometria dinamica”, dalla quale si può ricavare l'area influenzata dal richiamo del pozzo.

Il tempo da inserire nella relazione (3.2) può essere prescelto ad esempio anche in base alla durata massima giornaliera del pompaggio dal pozzo.

3.4 Criterio del tempo di trasferimento della contaminazione

A livello generale per il calcolo dei tempi di trasferimento o di sicurezza si possono prevedere percorsi differenti compiuti dalle particelle d'acqua e dagli inquinanti trasportati dalle acque sotterranee.

Si ricorda che in letteratura si trovano diversi tempi di riferimento su cui calcolare i percorsi: si hanno infatti valori variabili da decine di giorni (60 giorni) a decine di anni (25 anni). Questa ampia variazione trova riscontro nel fatto che il valore da adottare tiene conto di valutazioni tecnico-economiche. Le valutazioni tecniche sono basate sulle velocità di filtrazione che si hanno in acquiferi tipici di una determinata area in modo tale che l'estensione delle zone da salvaguardare siano significative.

Le valutazioni economiche considerano l'incidenza della tutela sull'assetto territoriale e sulle attività presenti.

A - Tempo impiegato dalle acque contaminate per raggiungere la superficie della falda

Conoscendo la velocità di percolazione per differenti litotipi u_i (m/s) e lo spessore d (m) del mezzo non saturo si ricava

$t=d/u_i$; si suppone, per maggiore cautela, di assumere nei calcoli il valore della conducibilità idraulica del mezzo a saturazione.

Questo criterio viene più che altro utilizzato per stabilire la vulnerabilità di un acquifero, cioè la facilità con la quale una sostanza inquinante raggiunge dal suolo la zona di saturazione; un esempio dell'applicazione di questa metodologia sono gli studi condotti da Beretta G.P., 1988 e da Zampetti M., 1983.

B - Tempo impiegato da un inquinante per raggiungere le opere di captazione dall'istante in cui è pervenuto alla superficie della falda

È possibile stabilire il tempo di percorrenza delle particelle nel mezzo saturo, cui competono traiettorie prevalentemente suborizzontali, mediante la nota relazione $t = x/u$ essendo x (m) la distanza percorsa e u (m/s) la velocità effettiva di filtrazione nel mezzo saturo.

Fissando un certo tempo di sicurezza è possibile ricavare in questo modo la distanza da attribuire a una zona di rispetto; nella maggior parte dei casi il periodo di tempo veniva scelto sulla base della persistenza della contaminazione batterica.

C - Tempo impiegato da un inquinante per raggiungere le opere di captazione dall'istante in cui è stato versato sul suolo

L'attenuazione del carico inquinante avviene per la circolazione delle acque sia nel mezzo non saturo che in quello saturo; il tempo risultante è dato dalla sommatoria dei tempi di cui ai precedenti punti A e B.

L'aspetto quantitativo del fenomeno è difficilmente calcolabile in quanto presuppone la conoscenza dell'istante in cui è avvenuta la contaminazione, eventualità che si realizza solamente in casi accidentali.

Inoltre, soprattutto nel mezzo non saturo, avviene una sostanziale modificazione delle caratteristiche degli inquinanti che, portando generalmente a una diminuzione del carico inquinante, viene definita “potere autodepurante di un terreno”.

Alcune normative considerano più semplicemente un fattore di riduzione del tempo da calcolare per il dimensionamento delle zone; questo fattore tiene conto della frazione di tempo spesa dalle particelle liquide per circolare nel mezzo non saturo (Ufficio Federale per la protezione dell'ambiente, 1977).

Adottando il criterio riportato al punto B, è possibile determinare per differenti condizioni il tempo di trasferimento.

Le opere di captazione determinano infatti una distorsione del reticolo di flusso, che è in grado di incrementare la velocità di filtrazione e quindi di diminuire i tempi di percorrenza.

Di seguito sono illustrati alcuni metodi comunemente utilizzati per determinare la distanza di provenienza delle acque sotterranee prelevate mediante pozzi.

3.4.1 Pozzo in falda orizzontale

È il caso più facilmente schematizzabile per via della semplicità dell'andamento del reticolo di filtrazione; le linee di flusso sono infatti radiali.

Per questa situazione, che nei casi reali si manifesta in pre-

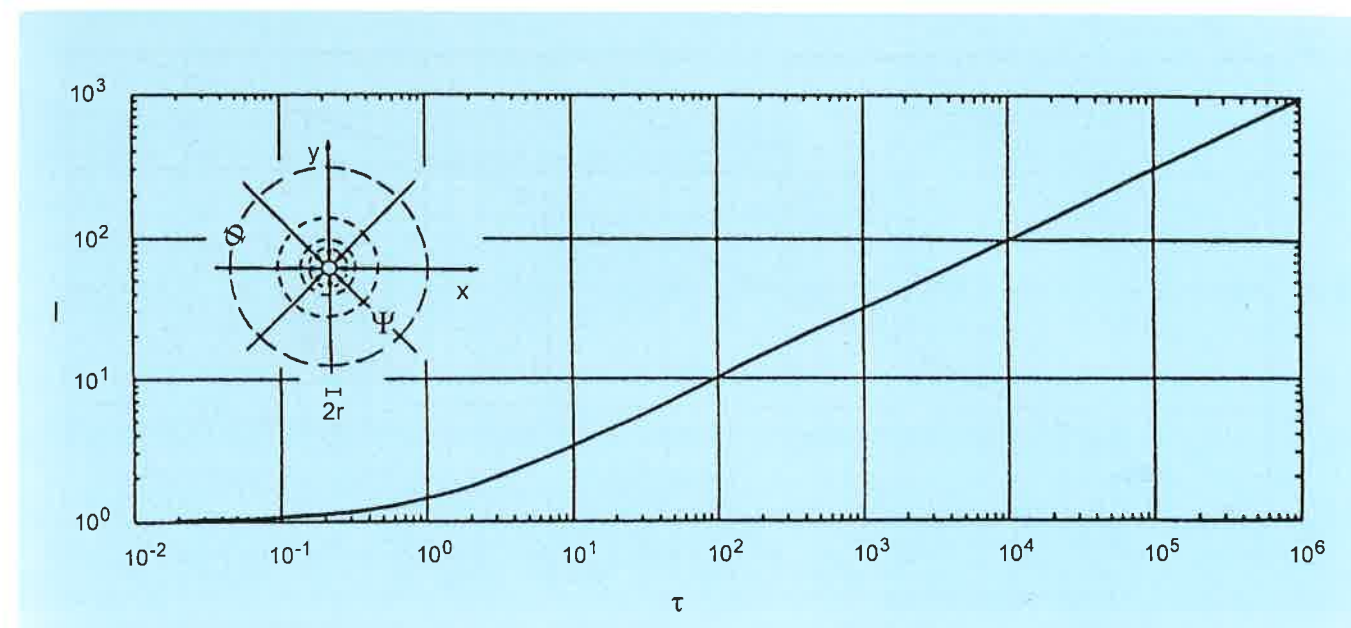


Fig. 3.9 - Rete di flusso e diagramma per il calcolo del tempo di arrivo di un inquinante per un pozzo in falda orizzontale (da Demassieux L., 1975 modificato)

senza di gradienti idraulici molto bassi, si ricorre al diagramma di Fig. 3.9 (da Demassieux L., 1975), in cui il significato delle variabili adottate è indicato nella Tab. 3.2.

3.4.2 Pozzo con presenza di limite di ricarica

Il reticolo di flusso risulta deformato dalla presenza di un limite imposto costituito da una equipotenziale (ad esempio un corso d'acqua) che non varia nel corso del pompaggio.

La risoluzione del problema viene affrontata con la teoria delle immagini, ammettendo cioè la presenza di un pozzo di ricarica posto in posizione speculare rispetto al limite; si suppone per semplicità che il flusso sia orientato in senso normale a detto limite ($\alpha=0^\circ$).

In questo caso si utilizzano i diagrammi di Figura 3.10 (da Demassieux L., 1975), con le possibili varianti dovute alla differente disposizione geometrica degli elementi considerati.

3.4.3 Pozzo con presenza di limite impermeabile

Similmente al caso riportato in precedenza, si ottiene il reticolo di flusso ricorrendo alla teoria delle immagini, ma supponendo invece la presenza di un pozzo di prelievo in posizione speculare; è possibile pertanto utilizzare i diagrammi della Figura 3.11 (da Demassieux L., 1975).

3.4.4 Pozzo con presenza di limite di drenaggio-ricarica

Un caso importante viene considerato da Sauty J.P., 1987 il quale risolve il problema della determinazione del tempo di arrivo in vicinanza di un corso d'acqua.

La falda viene originariamente drenata dal corso d'acqua, ma il pompaggio inverte almeno in parte il flusso idrico sotterraneo.

Con riferimento alla Figura 3.12 è possibile determinare,

Parametro	Tipologia captazione				
Distanze adimensionali	$l = x/r$	$l = l'/d$	$l = l'/d$	$\xi = \frac{2 \pi h v}{Q} x$	$l = x/a$ $l = y/a$
				$\eta = \frac{2 \pi h v}{Q} y$	
Tempo adimensionale	$t = \frac{Q t}{\pi h n r^2}$	$t = \frac{Q t}{\pi h n d^2}$	$t = \frac{Q t}{\pi h n d^2}$	$t = \frac{2 \pi h v^2}{n Q} t$	$t = \frac{\pi Q t}{8 h n a^2}$
Tempo di trasferimento	$t_t = l^2 - l$	$t_t = l^2 + (l/3)$ $t_t = l^2 - (l/3)$	$t_t = l^2 - (l/2) + \ln(l - l)$ $t_t = l^2 - (l/2) + \ln(l - l)$	$t_t = \xi^2 - \ln(1 + \xi)$	$t_t = \ln[\cosh(\pi l/a)]$ $t_t = \ln[\cosh(\pi l/a)]$

Tab. 3.2 - Parametri da utilizzare nei diagrammi di Demassieux L., 1975 (modificato)

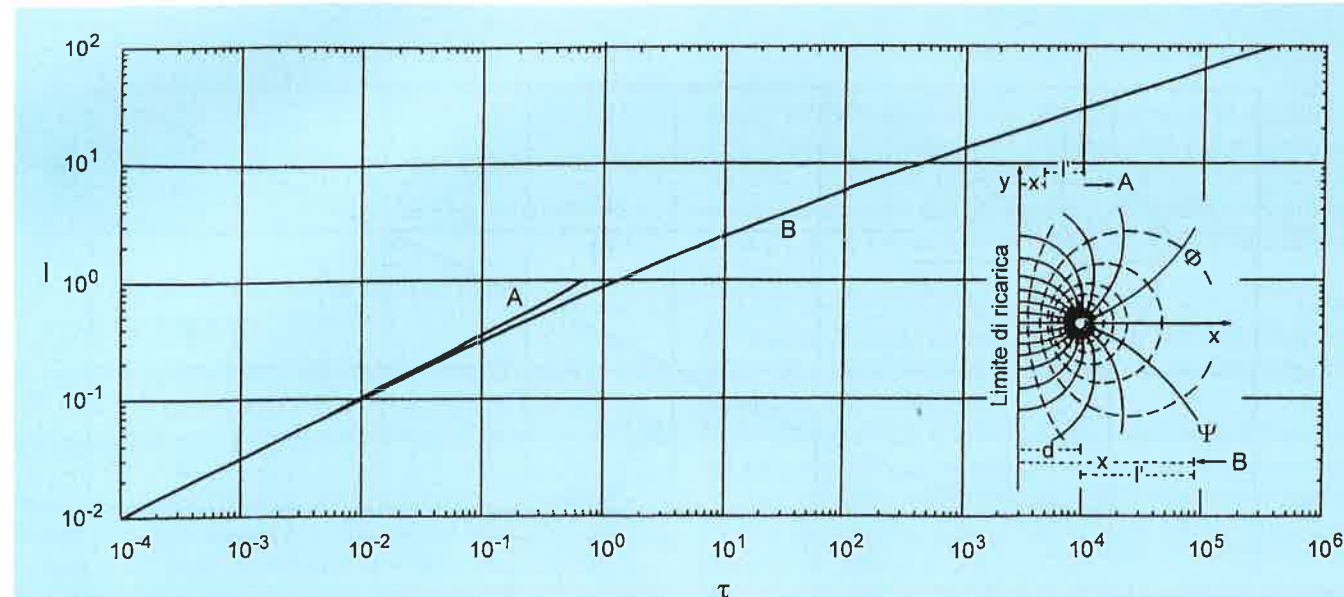


Fig. 3.10 - Rete di flusso e diagramma per il calcolo del tempo di arrivo di un inquinante per un pozzo con presenza di un limite di ricarica (da Demassieux L., 1975 modificato)

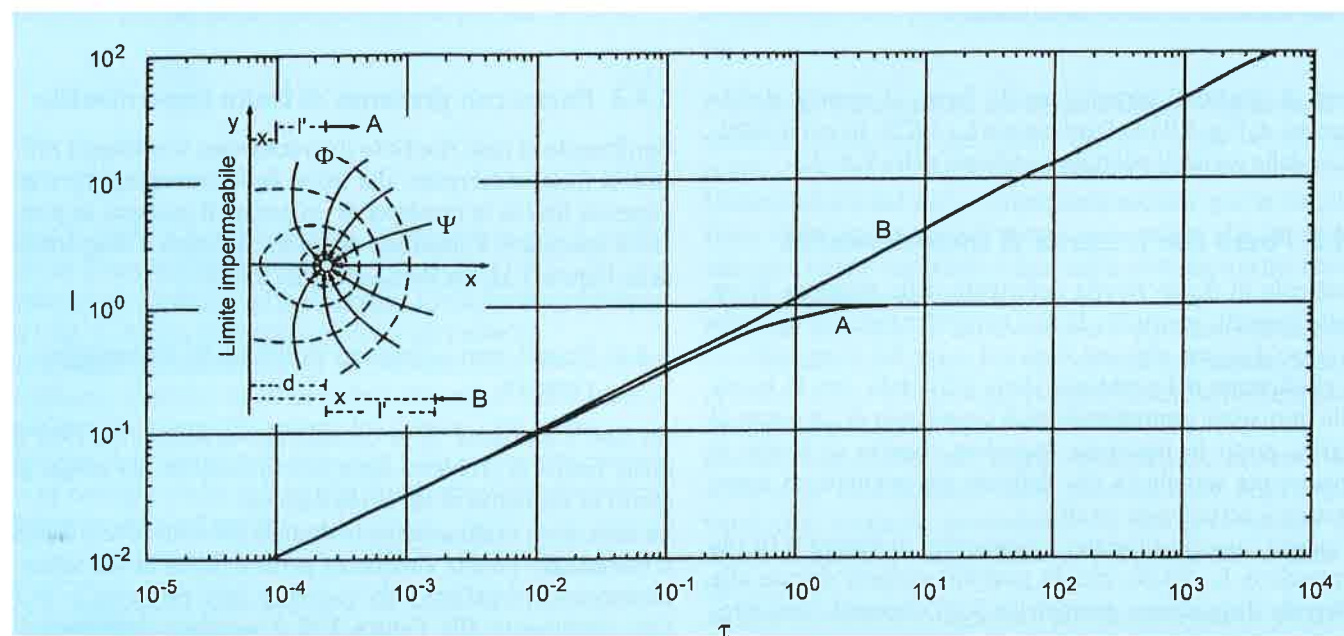


Fig. 3.11 - Rete di flusso e diagramma per il calcolo del tempo di arrivo di un inquinante per un pozzo con presenza di un limite impermeabile (da Demassieux L., 1975 modificato)

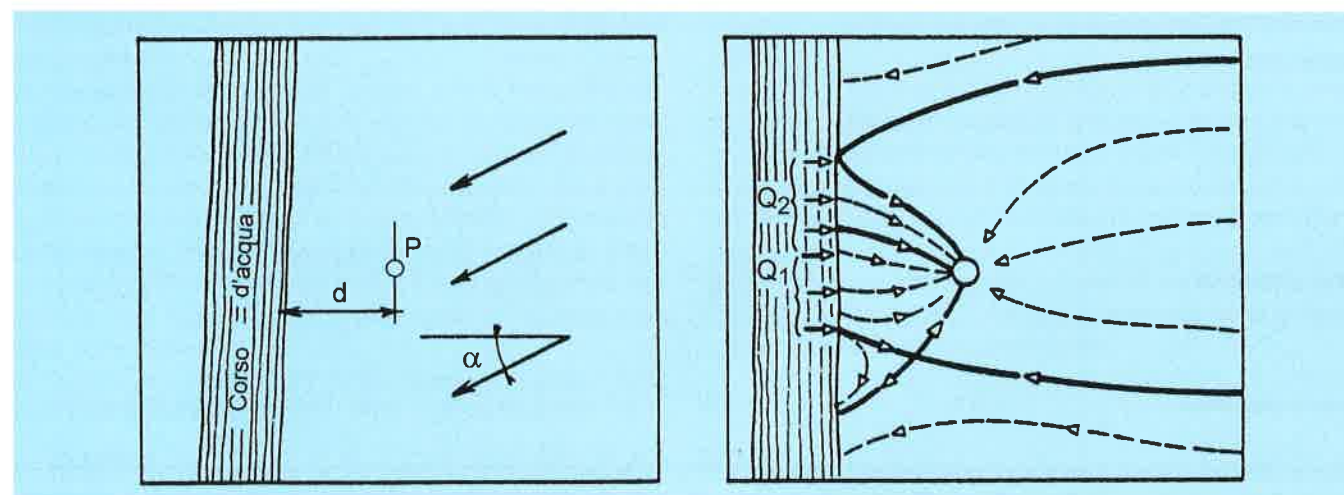


Fig. 3.12 - Schema della disposizione di un pozzo in vicinanza di un corso d'acqua drenante ed effetto sulla piezometria in condizioni di pompaggio in regime permanente (da Sauty J.P., 1987)

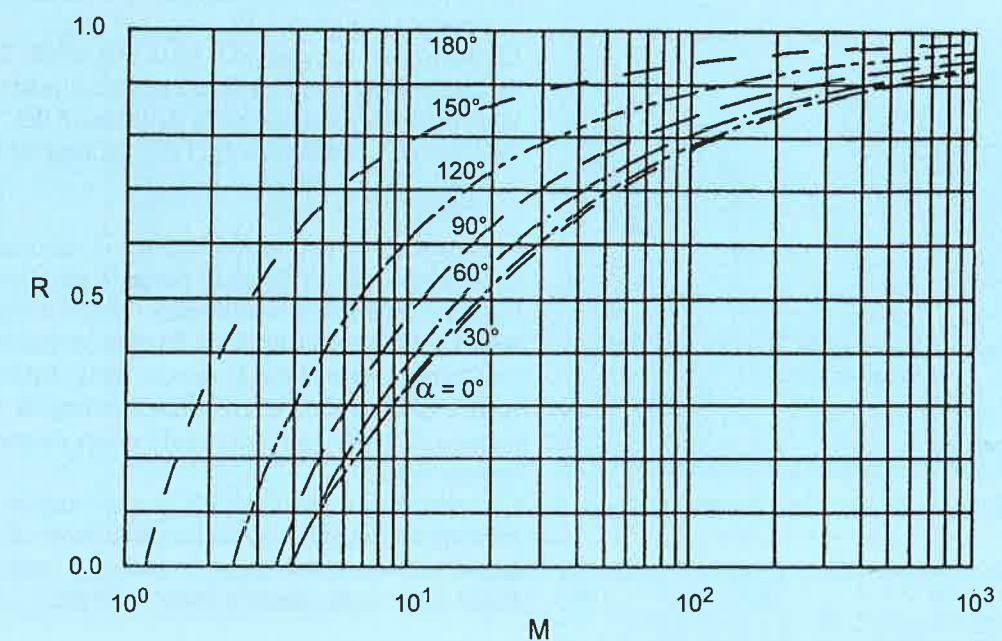


Fig. 3.13 - Abaco per la determinazione della quantità di acqua pompata dal pozzo proveniente dal corso d'acqua (da Sauty J.P., 1987)

mediante l'abaco di Figura 3.13, l'aliquota q di acqua prelevata dal pozzo che proviene dal fiume, essendo M dato dall'espressione:

$$M = \frac{Q}{b d v} \quad (3.3)$$

I parametri b, d e v rappresentano rispettivamente lo spessore dell'acquifero (m), la distanza minima pozzo-corso d'acqua (m) e la velocità darciana (m/s).

Allo stesso modo il tempo minimo di percorrenza tra il corso d'acqua e il pozzo è dato da:

$$t = \frac{2 \pi m d^2 b}{3 Q} f(M, \alpha) \quad (3.4)$$

ove α rappresenta l'angolo tra la direzione del flusso idrico e la congiungente pozzo-fiume, mentre la funzione $f(M, \alpha)$ deve essere ricavata per mezzo dell'abaco di Figura 3.14.

3.4.5 Pozzo in falda inclinata

Quando la falda è dotata di moto proprio, la sovrapposizione di un flusso uniforme a uno radiale provoca la deformazione

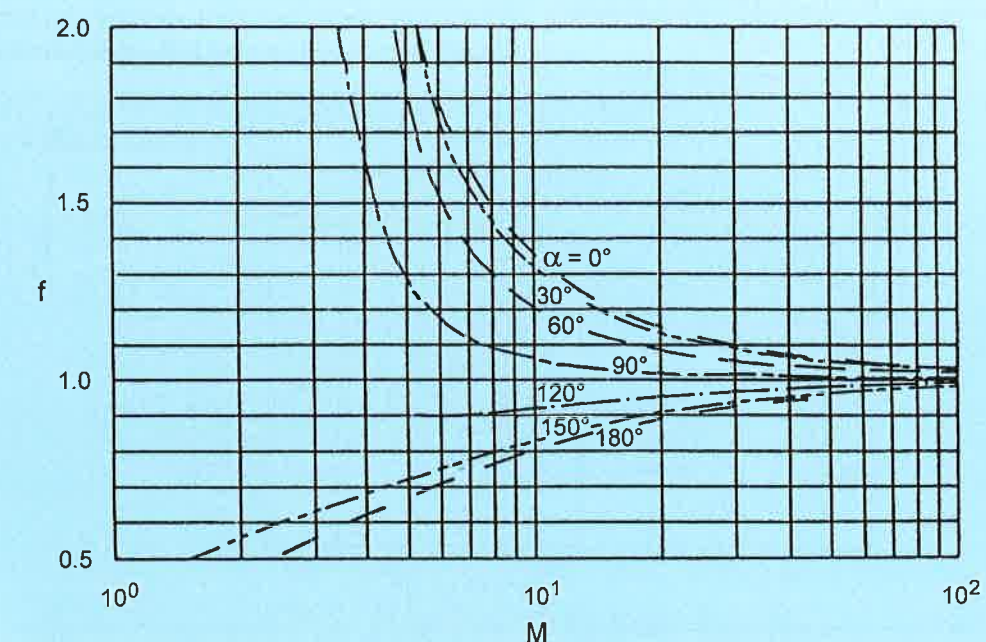


Fig. 3.14 - Abaco per la determinazione del tempo di arrivo minimo tra il corso d'acqua e il pozzo in pompaggio (da Sauty J.P., 1987)

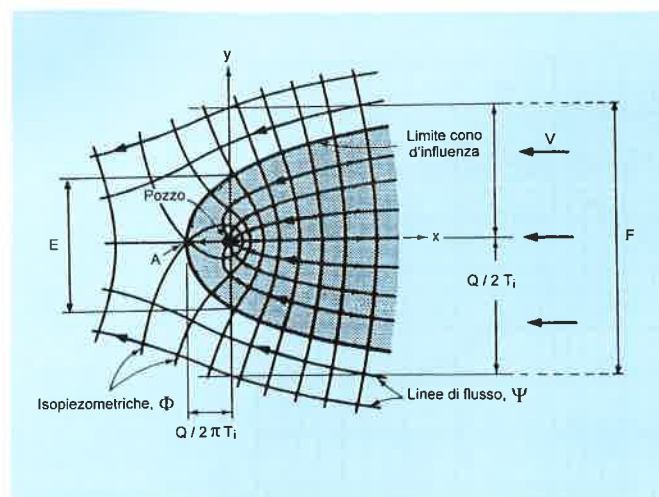


Figura 3.15 - Rete di flusso per un pozzo in falda inclinata

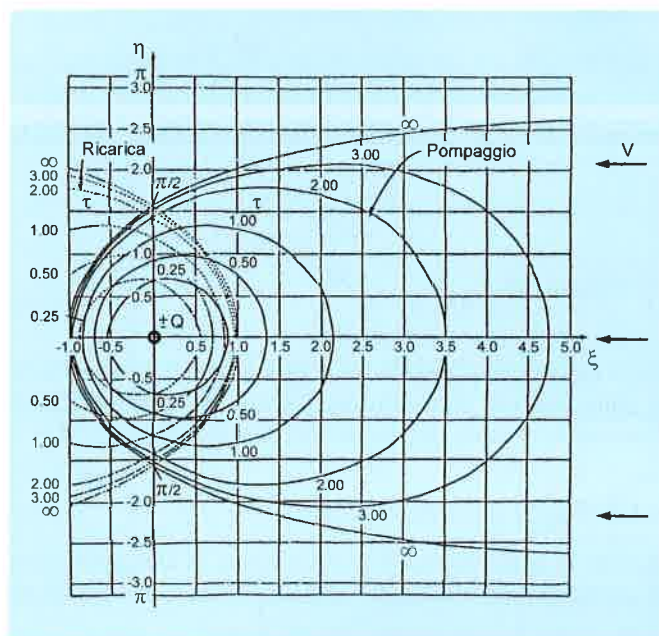


Figura 3.16 - Diagramma per il calcolo del tempo di arrivo per un pozzo in falda inclinata (da Bear J., 1979)

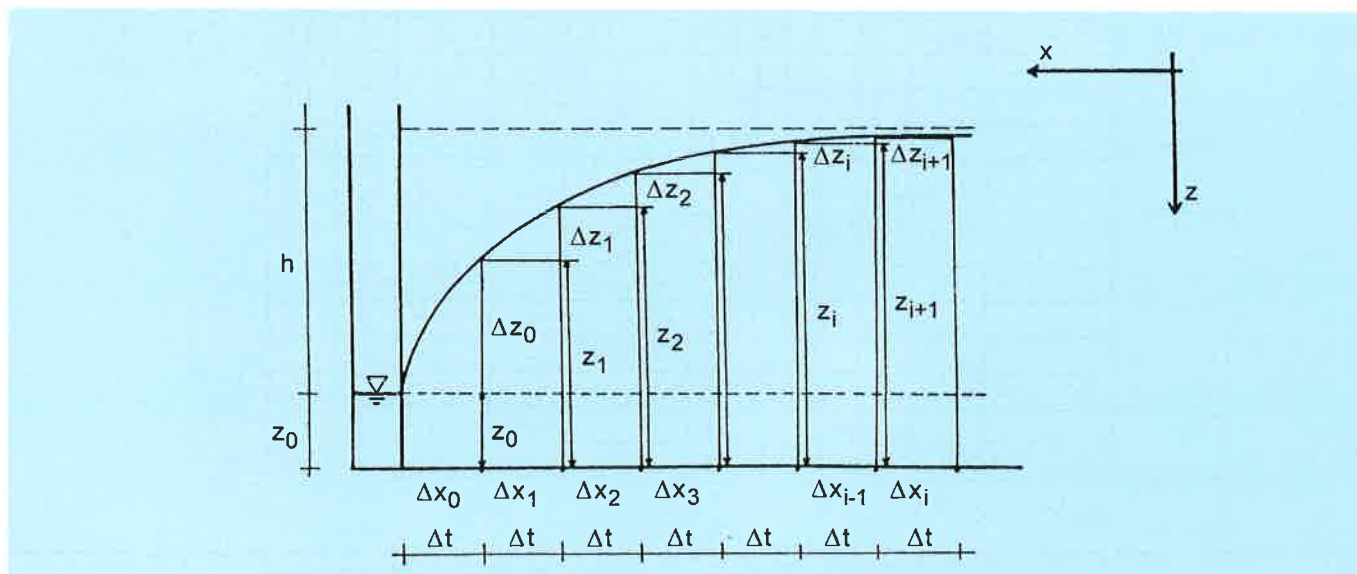


Fig. 3.17 - Rappresentazione schematica delle modalità di calcolo della distanza di provenienza di una particella con il metodo delle differenze finite (da Beretta G.P., Pagotto A., 1984)

del reticolo di flusso, che assume un andamento come quello riportato in Figura 3.15.

L'influenza del pompaggio si trasmette a valle fino al "punto di stagnazione" A di coordinate $(x_s, 0)$ e a monte coinvolge le linee di flusso comprese nella larghezza F del "fronte di alimentazione"; la relazione tra i due parametri è la seguente:

$$F = 2 \pi x_s = Q/T_i \quad (3.5)$$

In questo caso, orientando il sistema di riferimento con l'asse 0x lungo la linea di flusso passante per il pozzo come in Figura 3.15, è possibile utilizzare l'abaco di Figura 3.16 (da Bear J., 1979) per identificare il tempo di transito.

Un'ulteriore possibilità di calcolo della distanza di provenienza di una particella è stata studiata da Beretta G.P., Pagotto A., 1984, mediante l'applicazione del metodo alle differenze finite.

Con riferimento alla Figura 3.17 e orientando il sistema di riferimento lungo l'asse x, il tempo di arrivo di una particella può essere calcolato considerando che lungo una linea di flusso esso risulta uguale a (Bear J., 1979):

$$\int_0^{x(t)} \frac{dx}{v(x)} = - \frac{n}{k} \int_0^{x(t)} \frac{dz}{dz} \quad (3.6)$$

dove dx rappresenta un elemento di lunghezza infinitesima e dz/dx il gradiente idraulico medio per lo stesso elemento. Da questa relazione passando alle differenze finite si ottiene:

$$t = \sum_i (\Delta t)_i = \frac{n}{k} \sum_i \frac{(\Delta x)_i^2}{(\Delta z)_i} \quad (3.7)$$

In tal modo risulta calcolabile, una volta stabilito il tempo di sicurezza, la lunghezza da attribuire alla distanza di provenienza.

3.4.6 Pozzi in linea

La ricostruzione del reticolo di flusso è rappresentata in Figura 3.18; si ipotizza infatti di avere una batteria di pozzi distanti 2a e disposti su una stessa equipotenziale.

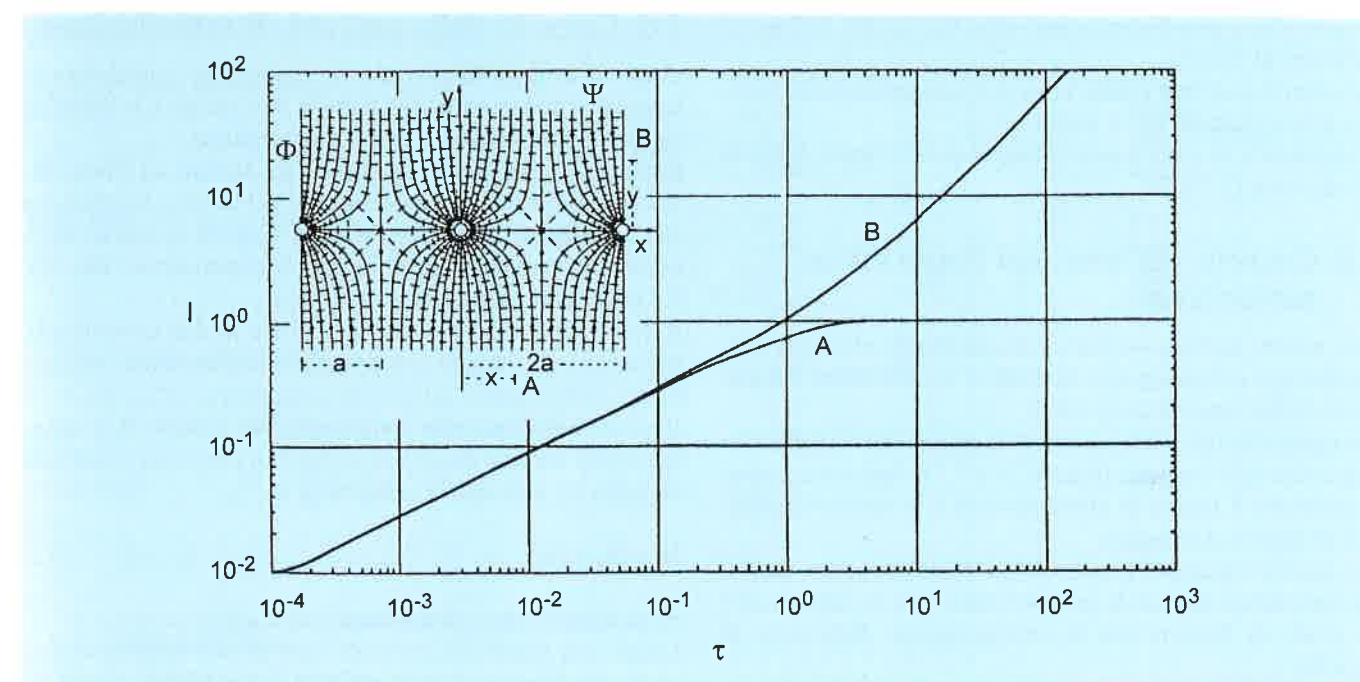


Figura 3.18 - Rete di flusso e diagramma per il calcolo del tempo di arrivo di un inquinante per pozzi in linea (da Demassieux L., 1975 modificato)

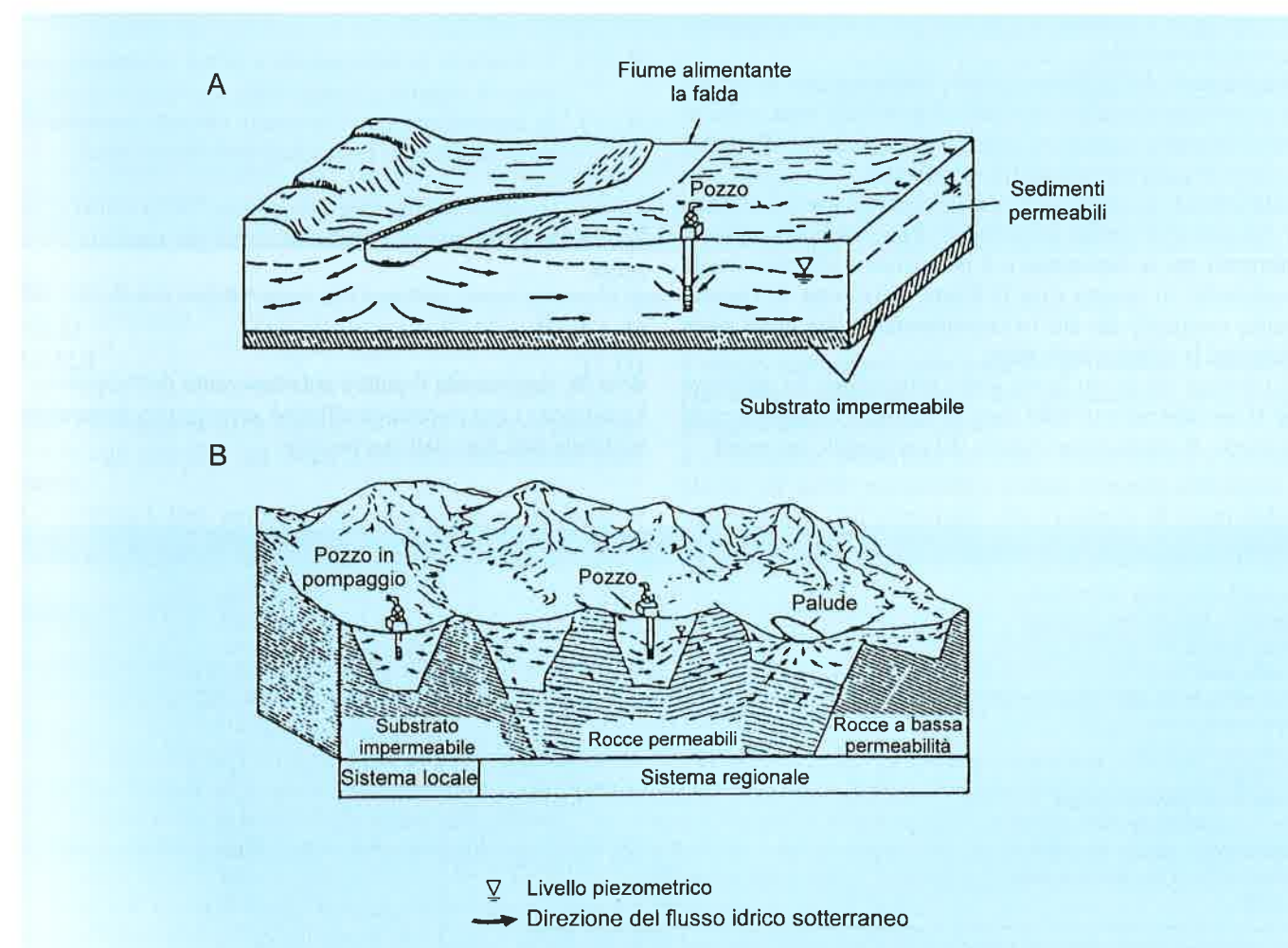


Fig. 3.19 - Schema del criterio dei limiti di flusso nella delimitazione delle aree di salvaguardia (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

Si noti che a una distanza pari ad a tra i pozzi il flusso è parallelo all'asse Oy.
La velocità massima è sulla linea di flusso privilegiata parallela a Oy e passante per il pozzo.
Si utilizzano in questo caso i diagrammi di Figura 3.18 (da Demassieux L., 1975).

3.5 Criterio dei limiti del flusso idrico sotterraneo

Con questo metodo vengono considerati gli elementi geomorfologici e idrogeologici in grado di condizionare il flusso idrico sotterraneo (Figura 3.19).
Per questo motivo sono prevalentemente utilizzati per la salvaguardia delle sorgenti (Figure 3.6 e 3.7), dove è necessario considerare il bacino di alimentazione e le sue caratteristiche litologico-strutturali.
Per quanto riguarda i pozzi, i limiti del flusso idrico vengono considerati quando la loro vicinanza con la captazione è in grado di determinare la configurazione delle zone di rispetto.
Si tratta ad esempio di corsi d'acqua, in diretta comunicazione con la falda, che modificano l'andamento delle isopiezometriche creando spartiacque e depressioni.
In questa situazione il limite della zona da tutelare è costituito dal corso d'acqua, ma si ha una zona di elevata vulnerabilità vista la mobilità degli inquinanti nelle acque superficiali; pertanto devono essere previsti opportuni sistemi di monitoraggio e di controllo, ad esempio mediante la realizzazione di pozzi-spia.
Modificazioni dell'andamento delle isopiezometriche possono essere introdotte anche artificialmente nel caso in cui si voglia difendere captazioni sottoposte a condizioni di rischio per la vicinanza con un centro di pericolo.
Nella letteratura idrogeologica sono descritti esempi di pozzi di ricarica e di canali disperdenti acque di buona qualità interposti tra la captazione e il potenziale o effettivo fronte inquinante; in questo caso il limite della zona di rispetto risulta costituito dai siti in corrispondenza dei quali viene effettuata la ricarica della falda.
Un ulteriore limite del flusso idrico sotterraneo, da utilizzare per la perimetrazione delle zone di rispetto, è rappresentato dal punto di stagnazione indotto dal pompaggio nei pozzi.

Litotipo	H (m)	I = 1/H
Humus, 5-10 % humus, 5-10 % argilla	1.2	0.8
Argilla non fessurata, limo con argilla	0.0	0.0
Sabbia argillosa	2.0	0.5
Limo argilloso	2.5	0.4
Limo, sabbia limosa, sabbia limoso - argillosa	3.0 - 4.5	0.33 - 0.22
Sabbia medio - fine	6.0	0.17
Sabbia medio - grossa	10.0	0.1
Sabbia grossa	15.0	0.07
Ghiaia limosa con sabbia e argilla	8.0	0.13
Ghiaia poco limosa, con molta sabbia	12.0	0.08
Ghiaia medio - fine con molta sabbia	25.0	0.04
Ghiaia medio - grossa con poca sabbia	35.0	0.03
Ciottoli	50.0	0.02
H = spessore necessario per la depurazione		

Tab. 3.3 - Potere autodepurante del terreno: mezzo non saturo (da Rhese W., 1977)

3.6 Criterio della capacità di assimilazione

Come si è detto in precedenza è possibile considerare la capacità autodepurante del terreno non saturo e la diluizione dispersione che avviene nel mezzo saturo.
Riguardo al primo aspetto sono state stimati da Rhese W., 1977 differenti poteri autodepuranti del terreno in relazione alla litologia e alla lunghezza del tragitto percorso dagli inquinanti necessari per assicurare la depurazione (Tab. 3.3, 3.4 e 3.5) con un metodo schematico.
Il flusso idrico sotterraneo viene diviso in due componenti: nel mezzo non saturo con prevalente componente verticale del moto e in quello saturo con componente orizzontale.
Il potere autodepurante complessivo del terreno M_t è calcolato come somma del potere autodepurante sulla traiettoria verticale M_v e su quella orizzontale M_h :

$$M_t = M_v + M_h \tag{3.8}$$

Si ha depurazione completa solo se $M_t=1$.
Lungo una traiettoria verticale (mezzo non saturo) in funzione dei differenti litotipi ritrovati di spessore h_i si avrà un potere autodepurante dato da:

$$M_v = h_1 I_1 + h_2 I_2 + h_3 I_3 + \dots h_n I_n \tag{3.9}$$

Gli indici I (1/m) si riferiscono ai valori riportati nella Tab. 3.3.

A questo punto se:

- $M_v \geq 1$ è avvenuta la depurazione e non è necessaria una zona di rispetto
 $M_v < 1$ la depurazione non è avvenuta e bisogna considerare il movimento orizzontale (nel mezzo saturo).

Poiché la depurazione deve procedere nell'acquifero, si determina la differenza rispetto all'unità del risultato ottenuto:

$$M_r = 1 - M_v \tag{3.10}$$

dove M_r rappresenta il potere autodepurante dell'acquifero.
La distanza l (m) necessaria affinché avvenga una depurazione totale sarà data dall'espressione:

Litotipo	L(m)	I = 1/L
Ghiaia poco limosa, con molta sabbia	a) 100	0.0100
	b) 150	0.0070
	c) 170	0.0060
	d) 200	0.0050
Ghiaia medio - fine, con molta sabbia	a) 150	0.0700
	b) 200	0.0050
	c) 220	0.0045
	d) 250	0.0040
Ghiaia medio - grossa, con poca sabbia	a) 200	0.0500
	b) 250	0.0040
	c) 270	0.0037
	d) 300	0.0033
Ghiaia, ciottoli	a) 300	0.0033
	b) 340	0.0029
	c) 360	0.0058
	d) 400	0.0025
L = distanza orizzontale necessaria per la depurazione a = velocità inferiore a 3 m/giorno b = velocità compresa tra 3 e 20 m/giorno c = velocità compresa tra 20 e 50 m/giorno d = velocità superiore a 50 m/giorno		

Tab. 3.4 - Potere autodepurante dell'acquifero: mezzi a porosità interstiziale (da Rhese W., 1977)

Litotipo	H(m)	I = 0,5 H
Marne	10	0.0050
Alternanze di arenarie con argilliti, argilliti, micascisti, filliti	20	0.0025
Basalti e rocce vulcaniche	30	0.0017
Arenarie, arenarie argillose, siltiti	50	0.0100
Graniti, granodioriti, dioriti, sieniti	70	0.0070
Quarziti, arenarie silicee	100	0.0050
Calcari	200	0.0025

Tab. 3.5 - Potere autodepurante dell'acquifero: mezzi a porosità fissurale

$$I = M_r / I \tag{3.11}$$

dove I è ricavabile dalle Tabelle 3.4 e 3.5, riferite rispettivamente agli acquiferi nei mezzi a porosità interstiziale e fissurale.

La distanza L (m), percorsa con componente orizzontale, è determinata mediante la relazione:

$$L_{min} = \sqrt{V_{25} / (b \cdot n \cdot \pi)} \tag{3.12}$$

in cui V_{25} (m³) rappresenta il volume d'acqua prelevato in 25 giorni, b (m) lo spessore dell'acquifero e n la porosità efficace.

Per quanto riguarda il criterio della diluizione-dispersione, l'indirizzo prevalente è quello di considerare le caratteristiche idrogeologiche e quelle degli inquinanti previsti.
In base a questa considerazione sono possibili due approcci:

1 - Tempo di sicurezza (o di permanenza o di arrivo), in relazione all'eliminazione di inquinanti microbici o degradabili, con tempo di dimezzamento conosciuto, nelle acque sotterranee. È basato sulla prevenzione dell'entrata nell'acquifero di tali inquinanti (supposti conservativi e non considerando

il mezzo non saturo) nella zona in cui il tempo di residenza può essere sufficiente per il loro decadimento, fino a raggiungere basse concentrazioni.

2 - Diluizione, preferibile per tutti i contaminanti e specialmente per quelli persistenti e mobili, è basato sull'area o il raggio libero dall'inquinante che consente di raggiungere una diluizione a concentrazioni accettabili della contaminazione.

Un esempio di delimitazione delle zone di rispetto in una falda con piccolo gradiente idraulico è rappresentata per le due differenti ipotesi nella Figura 3.20 (da Foster S.S.D., 1985).

Nell'approccio del tempo di permanenza si ha una notevole influenza sul margine di errore dell'esatta determinazione della porosità efficace e dello spessore dell'acquifero.

Inoltre negli acquiferi con velocità elevate, come ad esempio in calcari fessurati, si hanno notevoli estensioni delle zone di rispetto.

Lo stesso inconveniente accade, nel caso dell'approccio che considera la diluizione, se risulta che la ricarica dell'acquifero è piccola e il fattore di diluizione richiesto per un determinato inquinante è elevato.

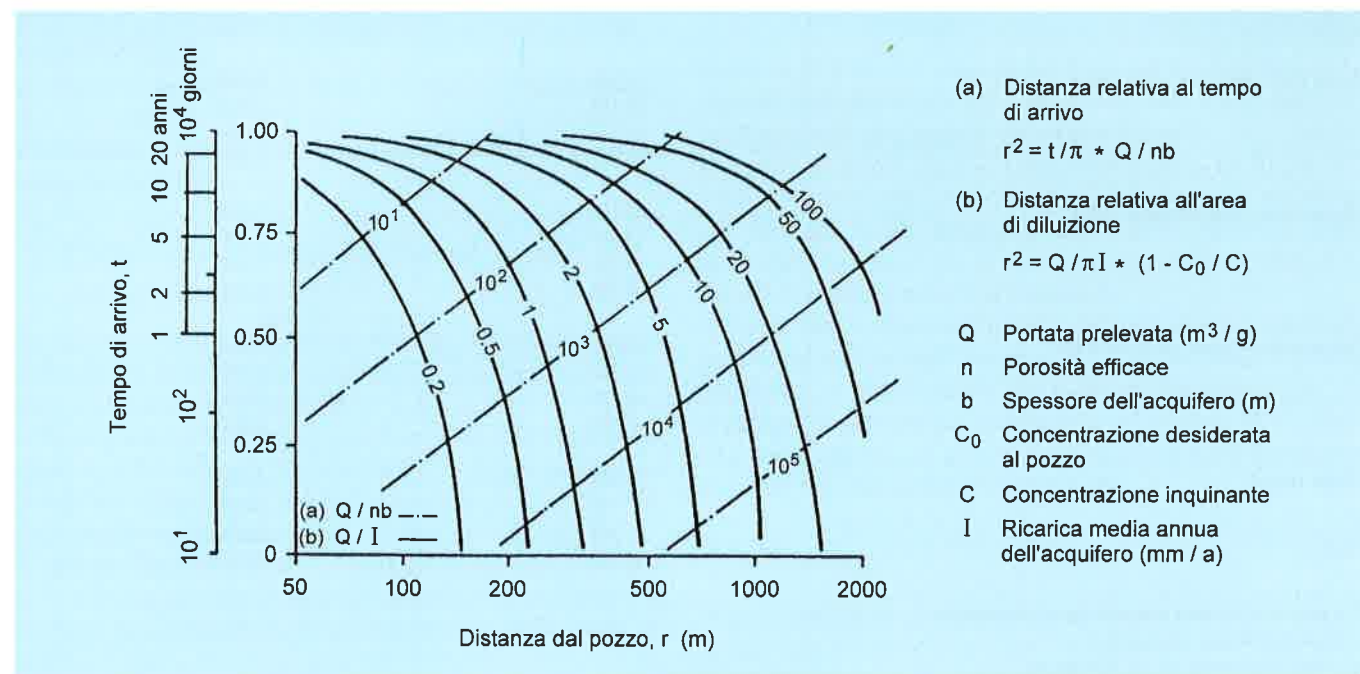


Fig. 3.20 - Schema per la delimitazione delle zone di rispetto secondo il criterio del tempo di propagazione e della diluizione (da Foster S.S.D., 1987)

È inoltre discutibile se l'approccio del tempo di sicurezza si dimostri efficace come risultato della degradazione dell'inquinante o semplicemente permetta un maggior tempo per la dispersione e la ritenzione di quanto necessario per organizzare operazioni di risanamento e misure di controllo.

Un'ulteriore applicazione del metodo considerato è quella suggerita da Pettyjohn W.A., 1987 nel quale, mediante l'adozione del diagramma di Kent, viene introdotto anche il meccanismo della dispersione.

In sostanza può essere determinata la distanza X (m) da un polo di contaminazione, di cui si conosce il potenziale carico inquinante in termini di portata Q (m³/giorno) e di concentrazione C₀ (mg/l), alla quale può essere raggiunta una concentrazione pari a quella massima ammissibile C (mg/l)

dopo un periodo di tempo prefissato t.

Per questa valutazione è necessaria la conoscenza dei parametri idrogeologici e idrodispersivi dell'acquifero.

Sul nomogramma di Figura 3.21 si determinano in serie i seguenti elementi:

- il punto A viene dato dalla concentrazione C;
- si determina il valore del parametro Q_d che è dato dall'espressione:

$$Q_d = n_c b \sqrt{D_l D_t} \quad (3.13)$$

in cui n, b, D_l e D_t rappresentano rispettivamente la porosità efficace, lo spessore dell'acquifero (m), i coefficienti di dispersione longitudinale e trasversale (m²/giorno);

- l'espressione (Q·C₀)/Q_d fornisce il punto B e quindi anche il punto C sul nomogramma;
- si determina il valore del parametro t_d dato dall'espressione:

$$t_d = (R \cdot D_l) / u^2 \quad (3.14)$$

in cui R è il fattore di ritardo e u (m/giorno) la velocità reale di filtrazione della falda;

- dal valore del rapporto t/t_d si ricava il punto D;
- la proiezione del punto D sull'asse delle ascisse consente la determinazione del punto E;
- il valore assunto dal rapporto x/α_l consente di stabilire la distanza Xα_l, essendo α_l (m) la dispersività longitudinale.

Il valore del fattore di ritardo è dato dalla nota relazione:

$$R = 1 + \frac{\rho}{n} K_d \quad (3.15)$$

essendo ρ il peso specifico apparente e K_d (l/kg) il coefficiente di distribuzione, che è dato dal rapporto tra la concentrazione sulla fase solida e in quella liquida del composto considerato.

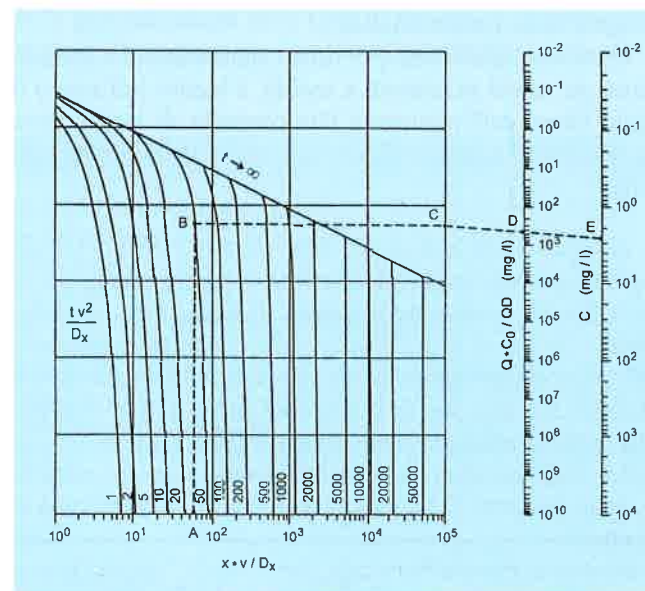


Fig. 3.21 - Nomogramma di Kent D.C. et Al., 1981 (da Pettyjohn W.A., 1987)

3.7 Metodi per la perimetrazione delle zone di rispetto con il criterio temporale

Viene di seguito considerata la configurazione areale da attribuire alle zone di rispetto sviluppata da AA.VV. per le configurazioni di flusso che, in base alle considerazioni svolte, possono essere considerate delimitate da isocrone.

3.7.1 Metodo per un pozzo in falda orizzontale

Per evidenti considerazioni risultanti dal flusso radiale intorno al pozzo, le linee isocrone sono concentriche.

In base al tempo di sicurezza prescelto l'isocrona si trova a una distanza r dal pozzo data dall'espressione:

$$r = \sqrt{(Q t) / (\pi n h)} \quad (3.15)$$

In Figura 3.22 viene schematizzata la configurazione areale assunta dalle zone di rispetto (denominate rispettivamente A, B e C).

3.7.2 Metodo di Van Waegeningh-Van Duijvenboden

Il metodo presentato da Van Waegeningh H.G., Van Duijvenboden W., 1978 è facilmente utilizzabile in quanto corredato di nomogrammi che determinano la distanza corrispondente a un tempo di percorrenza di 10 anni.

Si suppone di operare in falda libera e con gradienti molto bassi, in modo tale che essa possa essere assimilata a un comportamento di "falda orizzontale"; inoltre viene considerato anche l'apporto di acque di infiltrazione.

In condizioni di equilibrio si ha che la ricarica annuale per infiltrazione I (mm/anno) su una superficie di raggio L (m) è pari alla portata Q (m³/anno) estratta dal pozzo.

$$Q = \pi L^2 I \quad (3.17)$$

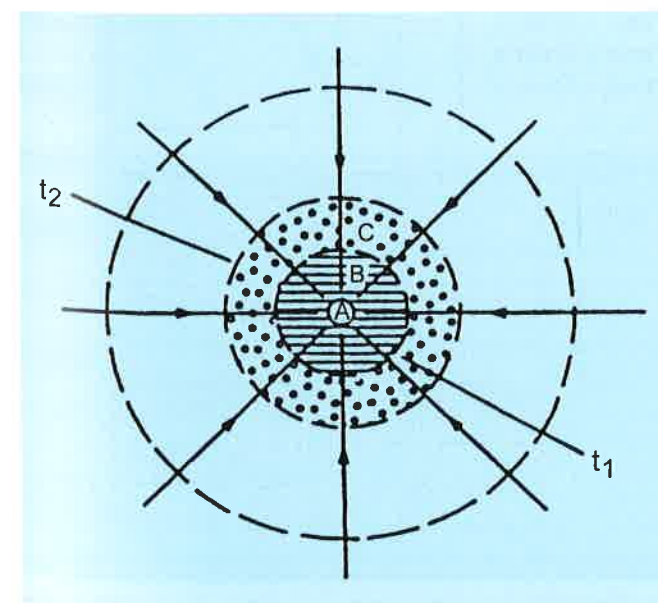


Fig. 3.22 - Configurazione areale delle zone di rispetto per un pozzo in falda orizzontale

A una distanza l dal pozzo si ha:

$$Q_l = \pi (L^2 - l^2) I \quad (3.18)$$

con una superficie A di alimentazione dell'acquifero data da:

$$A = 2 \pi l b n \quad (3.19)$$

La velocità alla distanza l è:

$$u = dl/dt = Q/A = \frac{(L^2 - l^2) I}{2 l b n} \quad (3.20)$$

da cui:

$$dt = \frac{2 n b l dl}{(L^2 - l^2) I} \quad (3.21)$$

Integrando l'espressione si ottiene, per successive trasformazioni, l'espressione che fornisce il tempo di percorrenza:

$$t = \frac{n b}{I} \ln = \frac{Q}{Q - \pi l^2 I} \quad (3.22)$$

da cui si ricava la distanza corrispondente:

$$l = \sqrt{\frac{Q}{\pi I} [1 - \exp(-\frac{t I}{n b})]} \quad (3.23)$$

Pertanto con il nomogramma di Figura 3.23 conoscendo lo spessore dell'acquifero e la portata prelevata, si traccia la linea che congiunge i due punti, determinando il raggio e l'area sottesa dall'isocrona 10 anni.

Si sottolinea che questo intervallo temporale così esteso deriva da una valutazione tecnico-economica sulla base della tipologia di acquifero sperimentato e sui suoi parametri idrogeologici.

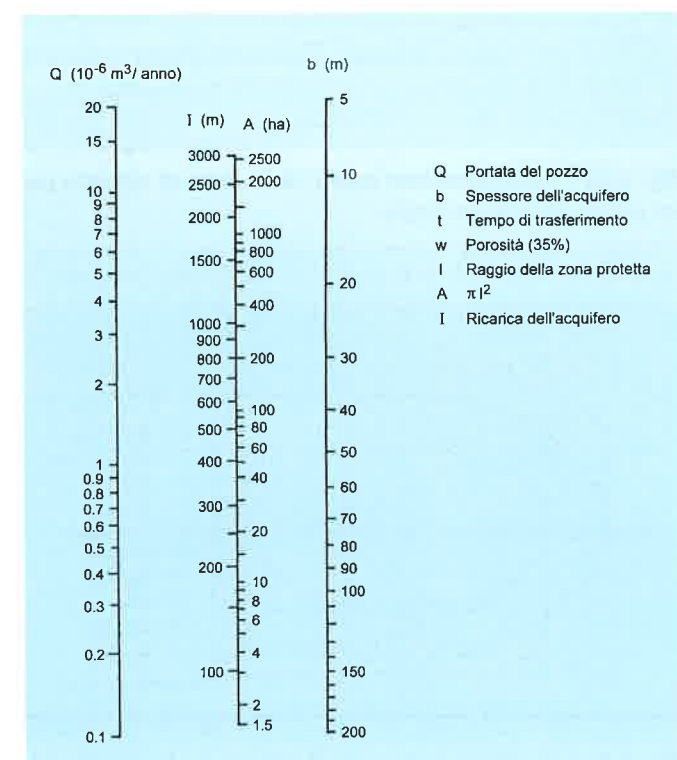


Fig. 3.23 - Nomogramma di Van Waegeningh-Van Duijvenboden (da Van Waegeningh H.G., Van Duijvenboden, 1978)

3.7.3 Metodo del pozzo in falda inclinata

Poiché si ha una falda dotata di moto proprio risulta indispensabile la conoscenza della velocità di flusso per poter calcolare i parametri da inserire nell'abaco di Figura 3.16, dove:

$$\xi = \frac{2 h v}{Q} x \quad (3.24)$$

$$\eta = \frac{2 h v}{Q} y \quad (3.25)$$

$$\tau = \frac{2 h v}{n Q} t \quad (3.26)$$

Infatti $v = k i$ rappresenta la velocità darciana della falda; inoltre si può anche osservare che $h v = T i$.

Il procedimento si basa preliminarmente sull'identificazione della curva da assegnare a un certo tempo di sicurezza dato mediante la relazione (3.26).

Una volta ricostruito questo luogo dei punti di uguale tempo di percorrenza, si ricavano i valori delle corrispondenti coordinate planari x_i, y_i tramite rispettivamente la (3.24) e la (3.25).

La risultante perimetrazione delle zone di rispetto è riportata in Figura 3.24.

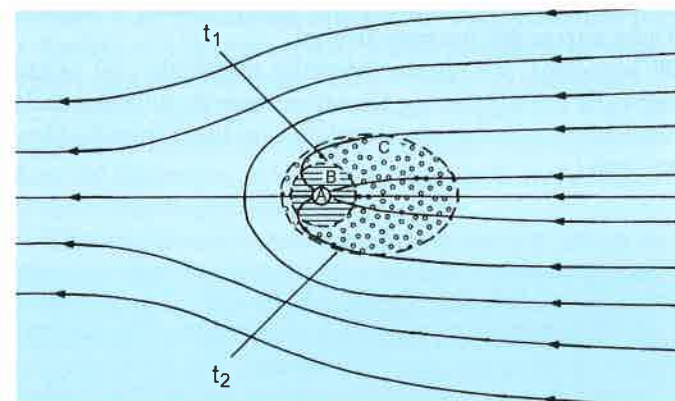


Fig. 3.24 - Configurazione areale delle zone di rispetto per un pozzo in falda inclinata

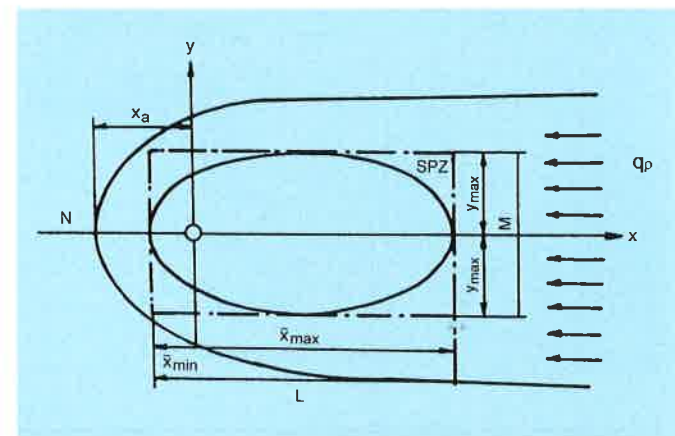


Fig. 3.25 - Configurazione areale delle zone di rispetto per un pozzo in falda inclinata (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

3.7.4 Metodo di Rhese

Il metodo di Rhese W., 1975 adotta anche il percorso corrispondente al tipo c) del paragrafo 3.4, poiché considera anche il tragitto nel mezzo non saturo e la possibilità che in esso avvenga una eliminazione della contaminazione batterica. Il tempo di sicurezza da inserire nei calcoli può essere diminuito in base a un "indice di depurazione" J che assume i seguenti valori:

$J = 2.5$ ghiaia sabbiosa
 $J = 5$ sabbia
 $J = 10$ sabbia fine

La percentuale B rispetto al totale del tempo di permanenza da utilizzare nei calcoli è data dall'espressione:

$$B = [100 - (d-5)J] \quad (3.27)$$

dove d (m) è la soggiacenza della falda; come si nota dalla relazione (3.27) non si considerano i primi 5 m per maggiore sicurezza.

3.7.5 Metodo di Penchev-Kovachev

Un'altra procedura per la delimitazione delle zone di rispetto dei pozzi, definite "Sanitary Protection Zones", è quella riportata da Penchev P., Kovachev S., 1987; il valore dell'isocrona assume il valore di 300-400 giorni per l'inquinamento biologico e 25-50 anni per quello chimico.

Nel trasporto della massa contaminata verso il pozzo si considerano anche gli effetti dovuti alle interazioni con la matrice.

a) Pozzo in falda inclinata

Per questo caso, schematizzato in Figura 3.25, devono essere determinati i valori da attribuire a L, M e N per mezzo del nomogramma di Figura 3.26.

I valori dei parametri adimensionali $X'_{min}, X'_{max}, Y'_{max}$ sono dati in funzione della distanza tra il pozzo e il punto di stagnazione x_s (m) mediante le seguenti espressioni:

$$X'_{min} = X_{min}/x_s \quad (3.28)$$

$$X'_{max} = X_{max}/x_s \quad (3.29)$$

$$Y'_{max} = Y_{max}/x_s \quad (3.30)$$

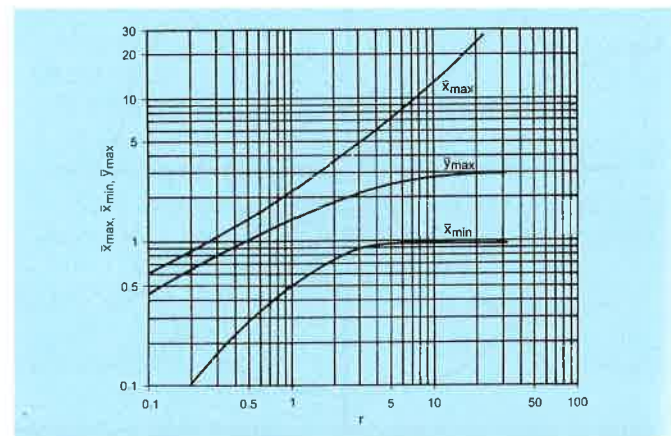


Fig. 3.26 - Nomogramma di Penchev-Kovachev (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

essendo X_{min}, X_{max} e Y_{max} (m) le coordinate dei punti della linea di perimetrazione.

Il punto di stagnazione si calcola mediante la nota espressione:

$$x_s = Q/(2\pi Ti) \quad (3.31)$$

Il parametro r è invece dato dalla seguente espressione:

$$r = v t_c / (n_s x_s) \quad (3.32)$$

in cui u rappresenta la velocità darciana (m/giorno), t_c il tempo di sicurezza (giorni) e n_s la porosità di adsorbimento (adimensionale).

Risulta evidente che, essendo la porosità di adsorbimento data dall'espressione:

$$n_s = n R \quad (3.33)$$

in questa procedura viene considerata anche la differente velocità effettiva di flusso che si ha tra le particelle d'acqua e quelle dell'inquinante.

I parametri L e M vengono calcolati mediante le espressioni:

$$L = (X'_{max} + X'_{min})x_s \quad (3.34)$$

$$M = 2 Y'_{max} x_s \quad (3.35)$$

b) Pozzo in vicinanza di limite alimentante senza flusso idrico naturale

Lo schema di questa situazione è rappresentato in Figura 3.27; per determinare il valore assunto da L e M si utilizza in questo caso il nomogramma di Figura 3.28.

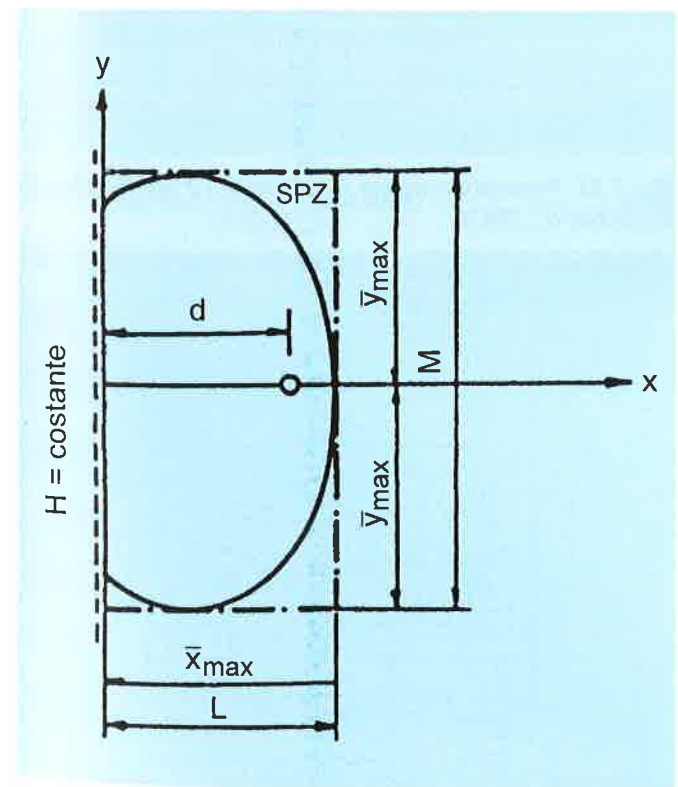


Fig. 3.27 - Configurazione areale delle zone di rispetto per un pozzo in vicinanza di un corso d'acqua con falda senza flusso naturale (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

I parametri adimensionali X'_{max}, Y'_{max} e r sono dati dalle seguenti espressioni:

$$X'_{max} = X_{max}/d \quad (3.36)$$

$$Y'_{max} = Y_{max}/d \quad (3.37)$$

$$r = Q t_c / (2\pi b n_s d^2) \quad (3.38)$$

in cui d rappresenta la distanza minima tra pozzo e limite alimentante (m) e b lo spessore dell'acquifero (m).

Per il calcolo di L e M si hanno di conseguenza le seguenti espressioni:

$$L = X'_{max} d \quad (3.39)$$

$$M = 2 Y'_{max} d \quad (3.40)$$

c) Pozzo in vicinanza di limite alimentante con presenza di flusso idrico naturale

Si deve stabilire in linea preliminare la localizzazione del punto di stagnazione mediante l'espressione:

$$\epsilon = Q / (\pi d b v) \quad (3.41)$$

Se $\epsilon \leq 1$ si ha una situazione riconducibile a quella trattata al precedente punto a); le considerazioni che seguono sono pertanto valide solo se $\epsilon > 1$.

Viene proposta una soluzione approssimata per la zona di rispetto che viene semplificata in un trapezio rappresentato in Figura 3.29.

Le coordinate dei punti $X'1, X'2, Y'1$ e $Y'2$ sono definite mediante l'utilizzo dei nomogrammi di Figure 3.30-3.33 e per mezzo delle espressioni:

$$X'1 = X1/d \quad (3.42)$$

$$X'2 = X2/d \quad (3.43)$$

$$Y'1 = Y1/d \quad (3.44)$$

$$Y'2 = Y2/d \quad (3.45)$$

mentre il parametro r viene definito come:

$$r = v t_c / (n_s d) \quad (3.46)$$

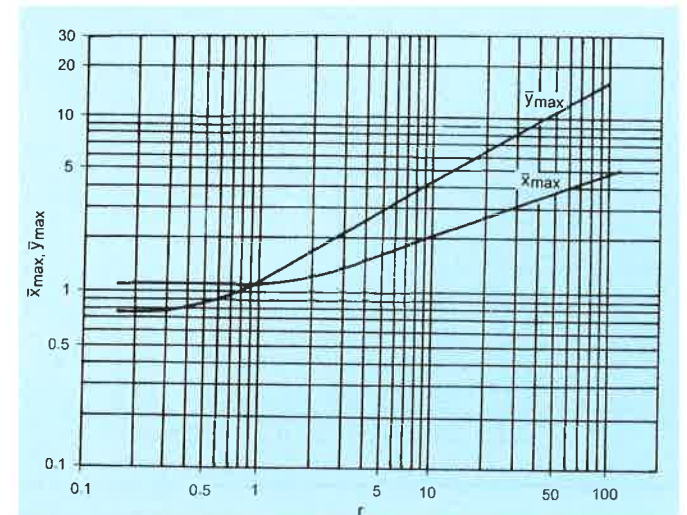


Fig. 3.28 - Nomogramma di Penchev-Kovachev (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

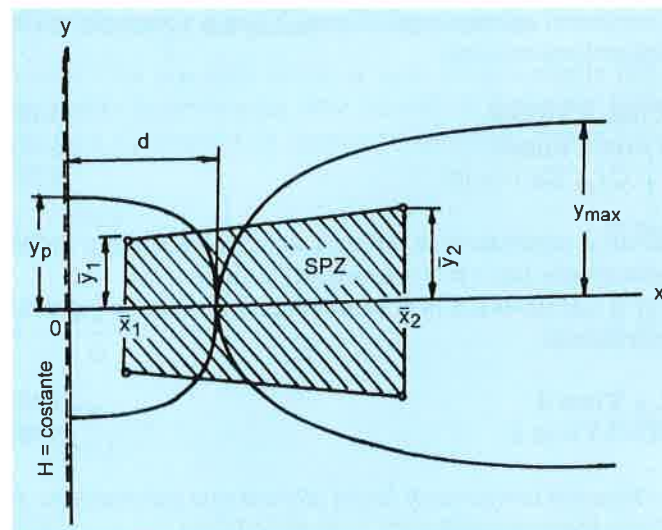


Fig. 3.29 - Configurazione areale delle zone di rispetto per un pozzo in vicinanza di un corso d'acqua con falda dotata di flusso naturale (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

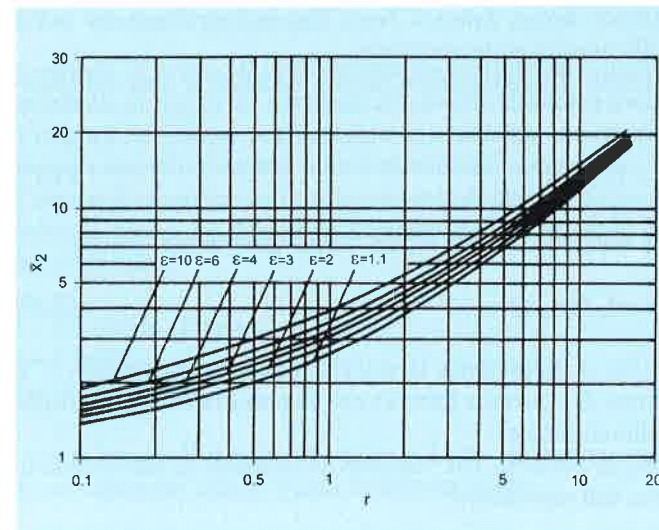


Fig. 3.32 - Nomogramma per il calcolo di Y1 (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

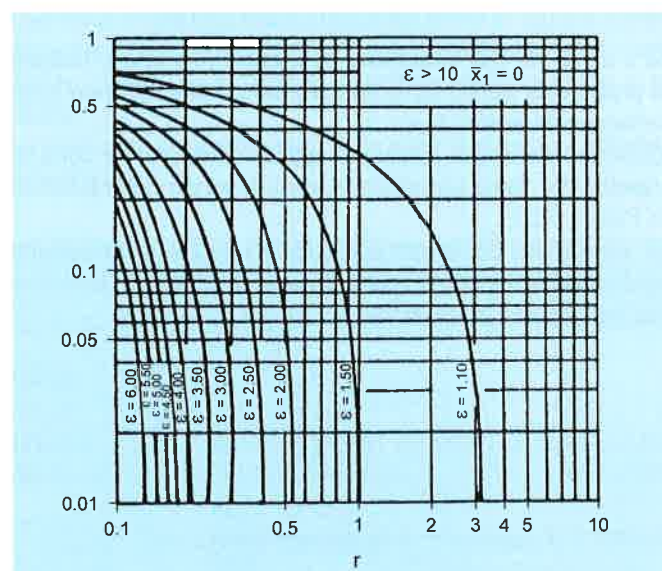


Fig. 3.30 - Nomogramma per il calcolo di X1 (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

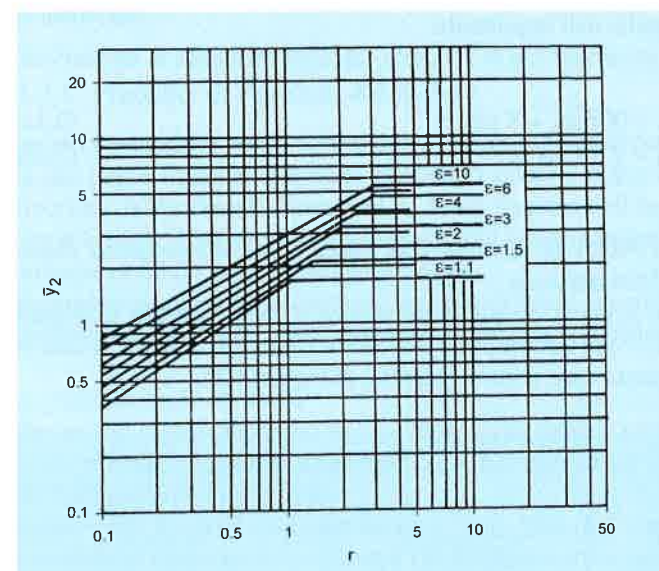


Fig. 3.33 - Nomogramma per il calcolo di Y2 (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

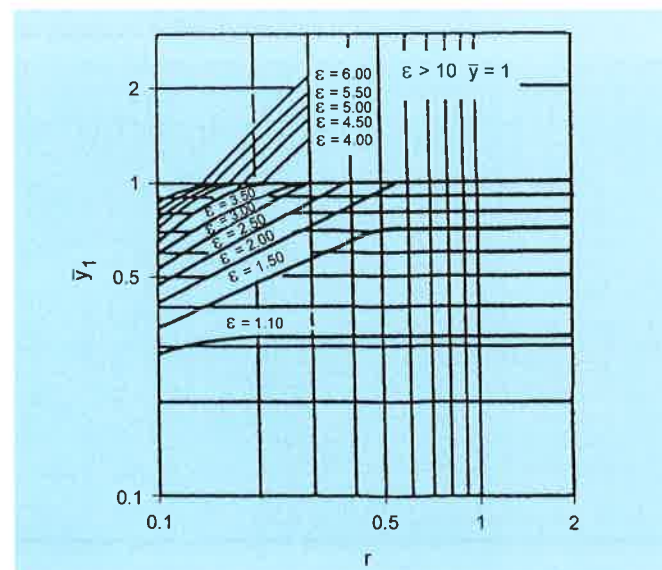


Fig. 3.31 - Nomogramma per il calcolo di X2 (da Penchev P., Kovachev S., 1987)

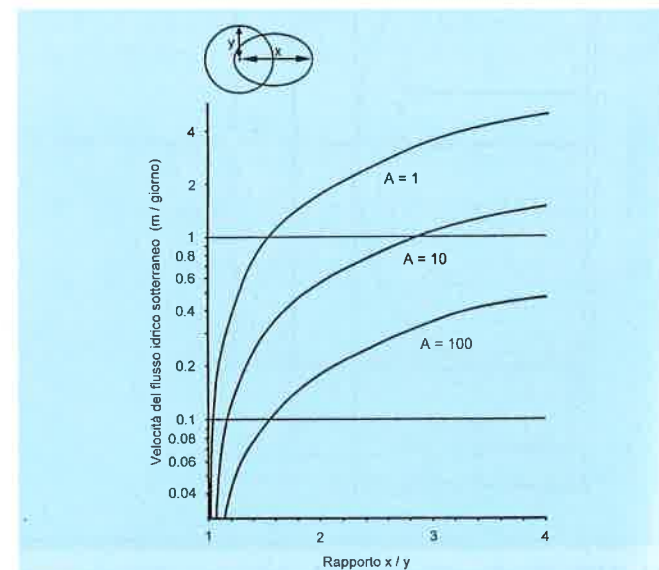


Fig. 3.34 - Valutazione dell'eccentricità della zona di rispetto in funzione delle caratteristiche del flusso idrico sotterraneo (da Skinner A.C., 1985)

3.7.6 Metodo di Skinner

Un'ulteriore valutazione dell'estensione delle zone di rispetto delle captazioni viene riportata da Skinner A.C., 1985 nel caso di velocità di flusso elevate come si verifica a esempio in rocce fessurate; le considerazioni che seguono sono valide pertanto nel caso di una marcata anisotropia della conducibilità idraulica.

In questa situazione la velocità naturale non può essere trascurata rispetto a quella indotta da un pozzo in pompaggio e pertanto la zona di rispetto assume un andamento ellittico, con asse maggiore lungo la direzione di flusso.

Una stima della lunghezza dell'asse maggiore può essere eseguita mediante la valutazione del parametro A (s^2/m^2), introdotto da Spitz K. et Al., 1980 e dato dall'espressione:

$$A = \frac{2 \pi b t}{Q n} \quad (3.47)$$

dove b, t, Q e n sono rispettivamente lo spessore dell'acquifero (m), il tempo di sicurezza (giorni), la portata prelevata ($m^3/giorno$) e la porosità efficace.

La Figura 3.34 mostra il rapporto esistente tra l'estensione y della zona di rispetto teorica in assenza di flusso della falda e quella reale x considerando la velocità assunta dal flusso idrico sotterraneo.

Con velocità di flusso superiori a 1 m/giorno il rapporto x/y diventa elevato e così la zona assume l'aspetto di un'ellisse molto allungata nella direzione principale del flusso.

3.7.7 Metodo di Hofmann-Lillich

Questo metodo (Hofmann W., Lillich W., 1973) comporta la soluzione iterativa di equazioni derivate dalle leggi di Dupuit J., 1863 e di Todd D.K., 1959.

A regime permanente l'altezza piezometrica h (m) in un punto distante l (m) da un pozzo è data:

$$h - h_w = (h_0 - h_w) \frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)} \quad (\text{falde confinate}) \quad (3.48)$$

$$(h - h_w)^2 = (h_0 - h_w)^2 \frac{\ln(l/r)}{\ln(R/r)} \quad (\text{falde libere}) \quad (3.49)$$

dove h_w (m) è l'altezza piezometrica nel pozzo in pompaggio,

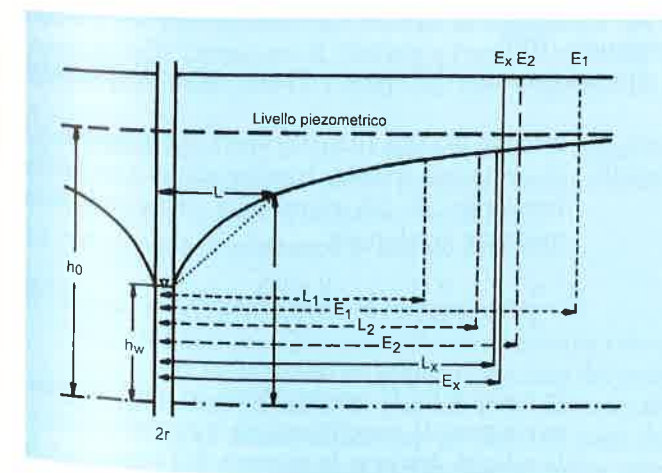


Fig. 3.35 - Determinazione della posizione di un'isocrona mediante procedimento iterativo (da Hofmann W., Lillich W., 1973)

h_0 (m) l'altezza piezometrica indisturbata dal pompaggio, R (m) il raggio di influenza del pozzo e r (m) il raggio del pozzo.

Se l'abbassamento nel pozzo è inferiore a circa 1/4 dello spessore dell'acquifero è possibile utilizzare la legge per le falde confinate anche in quelle libere.

Con riferimento alla Figura 3.35, è necessario conoscere la struttura idrogeologica del territorio, la conducibilità idraulica dell'acquifero k (m/s) e la porosità efficace n.

Si procede dapprima determinando in un certo tratto il valore del gradiente idraulico i dato da:

$$i = \frac{(h - h_w)}{l} \quad (3.50)$$

e successivamente si calcola la velocità effettiva di filtrazione u (m/s).

Se si desidera conoscere la distanza E (m) corrispondente a un tempo di trasferimento di 50 giorni si avrà l'espressione:

$$E = u \cdot 50 \cdot 86400 \quad (3.51)$$

È necessario ottimizzare le operazioni per avere una distanza l (m) per la quale il gradiente i abbia un valore tale che, se si calcola la velocità u e la distanza E corrispondente, si trovano gli stessi valori di E e l; si procede iterativamente scegliendo una distanza l_1 e si calcolano un gradiente i_1 e una velocità u_1 , ottenendo poi la distanza E_1 .

Se $E_1 > l_1$, si sceglie un secondo valore l_2 tale che $l_1 < l_2 < E_1$ e si riprende il calcolo per approssimazioni successive fino a quando non si trova un valore che corrisponde a un tempo di trasferimento di 50 giorni (E_x).

3.7.8 Metodo di Wyssling

Il metodo di Wyssling L., 1979 è basato sulla forma assunta dal cono di depressione in corrispondenza di un pozzo che preleva da una falda inclinata (Figura 3.36).

In questa situazione il fronte di richiamo B (m), che altrove è stato definito con il simbolo F, è dato dalla nota espressione:

$$B = \frac{Q}{T i} \quad (3.52)$$

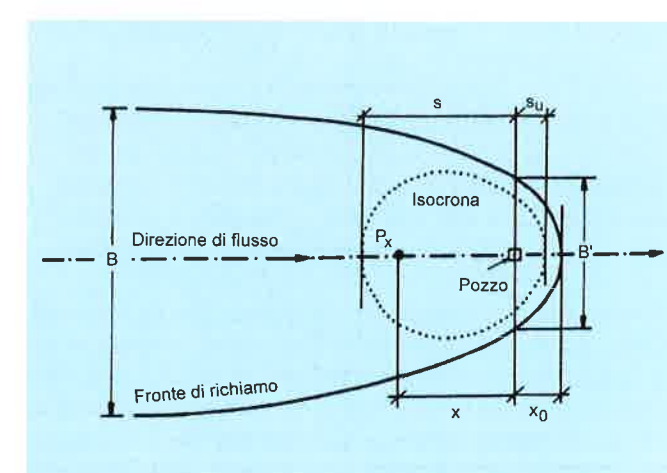


Fig. 3.36 - Determinazione della posizione delle isocrone mediante il metodo di Wyssling L., 1979

In corrispondenza del pozzo tale zona di richiamo è la metà:

$$B' = \frac{Q}{2 T i} \quad (3.53)$$

e il punto di stagnazione, a valle, è posto a una distanza data dalla relazione 3.30.

Successivamente si determina la distanza a cui si trova l'isocrona di riferimento (ad esempio 60 giorni), mediante la formula approssimata:

$$S_o \text{ o } S_u = \frac{\pm l + \sqrt{l^2 + 8x_0}}{2} \quad (3.54)$$

dove

$$l = u t \quad (3.55)$$

3.7.9 Metodo della Southern Water Authority

Questo metodo introdotto dalla Southern Water Authority, 1985 della Gran Bretagna e ripreso anche dall'U.S. Environmental Protection Agency, 1987, è simile al metodo di Wyssling.

Si tratta di risolvere per aggiustamenti successivi la seguente relazione:

$$t = \frac{n}{v} [\pm(x-r) + x_0 \ln \frac{(x_0 \pm r)}{(x_0 \pm x)}] \quad (3.56)$$

in cui i simboli indicano parametri già citati in precedenza. Il valore di x rappresenta la distanza del punto P_x dal pozzo (Figura 3.36), con segno + se posto a monte e - se a valle.

La stessa Southern Water Authority propone 75 differenti combinazioni di parametri idrogeologici e regime di pompaggio o emergenza di acque, a cui corrispondono forme semplificate di delimitazioni delle aree di salvaguardia; un esempio di tali configurazioni è riportato in Figura 3.37.

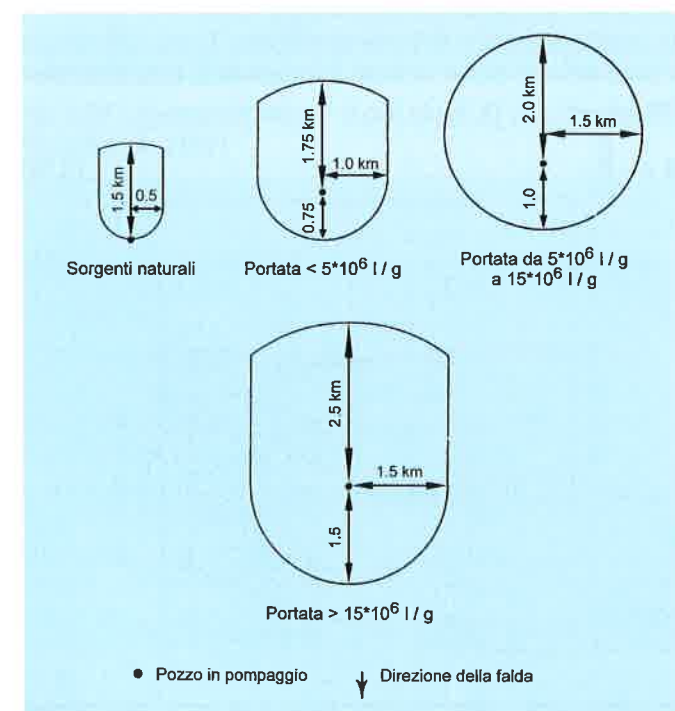


Fig. 3.37 - Esempi di forme standardizzate per la delimitazione delle aree di salvaguardia nell'acquifero calcareo dell'Inghilterra meridionale (da Southern Water Authority, 1985)

3.7.10 Metodo dei pozzi in linea

Una soluzione approssimata del problema, per l'evidente complessità della ricostruzione delle isocrone, è stata proposta da Sauty J.P., 1987.

La reale configurazione delle isocrone (Figura 3.38 a) viene assimilata a quella di una serie di rettangoli di lunghezza L data da:

$$L = Q t / n d h \quad (3.57)$$

e di due semicerchi di raggio:

$$r = \sqrt{Q t / \pi n h} \quad (3.58)$$

Risulta pertanto determinata la forma assunta dalle zone di rispetto (Figura 3.38 b); le superfici comprese tra le stesse isocrone dei casi a) e b) sono equivalenti.

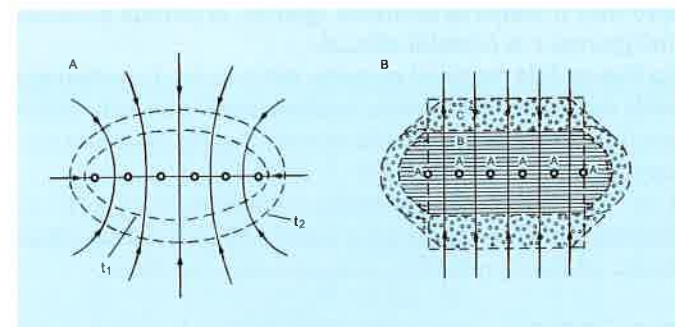


Fig. 3.38 - Configurazione areale delle zone di rispetto per pozzi in linea: a) isocrone reali, b) caso semplificato (da Sauty J.P., 1987)

3.7.11 Metodo "tedesco"

Con questo metodo, riportato in Milde K. et Al., 1988, si stabiliscono aree di salvaguardia come di seguito descritto.

Si tratta di determinare una prima zona (I) in corrispondenza dell'opera di captazione (Figura 3.39).

In una seconda zona (II) si impedisce lo spandimento di liquami e la realizzazione di collettori fognari.

In una terza zona, fino alla distanza di 2 km non si possono installare impianti di trattamento dei liquami (IIIA) e fino ai limiti di ricarica non si possono iniettare acque di scarico nel sottosuolo (IIIB).

Il dimensionamento delle zone è attuato nel modo seguente:

zona I: distanza di circa 10 m dall'opera di captazione
zona II: si adotta una distanza corrispondente a un limite temporale di 50 giorni che viene calcolato mediante la relazione:

$$t = \frac{n}{v} x + \frac{n Q}{2 \pi b v^2} \ln \left(\frac{2 \pi v b}{Q} x + 1 \right) \quad (3.59)$$

in cui n , v , b e Q rappresentano, in unità di misura congruenti, rispettivamente la porosità efficace, la velocità darciana, lo spessore dell'acquifero e la portata estratta dall'opera di captazione
zona III: caratterizzata da una prima suddivisione fino a 2 km di distanza (IIIA) per poi estendersi fino ai limiti di ricarica (IIIB).

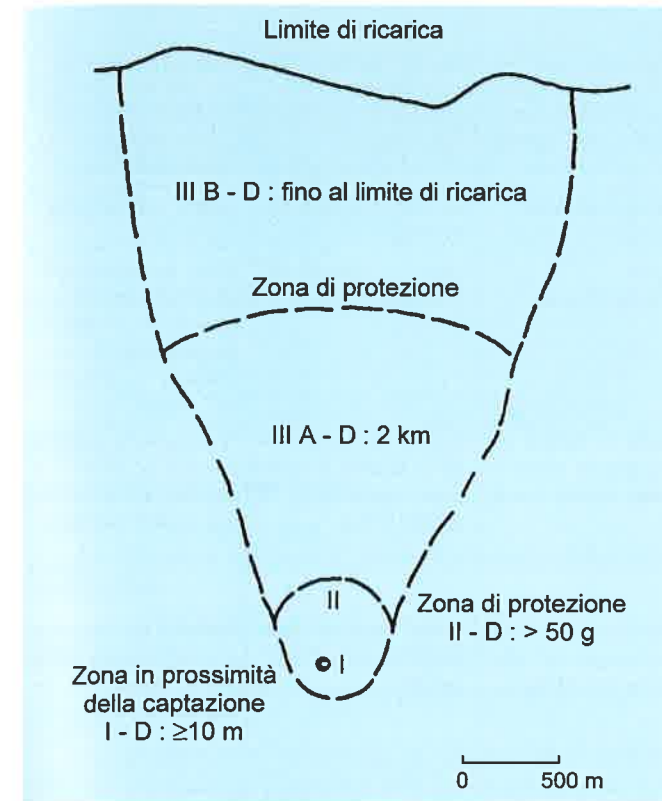


Fig. 3.39 - Zone di protezione in corrispondenza di un'opera di captazione (da Milde K. et Al., 1988)

3.7.12 Metodo per diversi pozzi con varia configurazione del flusso idrico sotterraneo

In base alle differenti potenzialità dell'acquifero e anche per esigenze gestionali, molte opere di captazione sono posizionate in corrispondenza di siti denominati "centrali di pompaggio" o "campi acquiferi".

In questi siti, la cui idonea ubicazione rappresenta un requisito indispensabile per la possibilità di una loro tutela, si ha una variazione dell'andamento delle linee di flusso e della velocità di filtrazione indotti dal prelievo delle acque sotterranee.

Quando si è in presenza di pozzi con varia disposizione geometrica e nel reciproco raggio di influenza (situazione molto comune) si può adottare un metodo di risoluzione sperimentato sulle captazioni di Modena e Parma e riportato in Beretta G.P., Fumagalli L., Pagotto A., 1986 e Alifracco G. et Al., 1990.

Vista l'importanza che in questi casi rivestono le captazioni per l'approvvigionamento idrico è possibile costruire modelli e ricorrere a sistemi di calcolo automatizzati.

La metodologia da adottare è di seguito descritta.

a) Ricostruzione della struttura idrogeologica
Mediante i dati geologici esistenti o parzialmente rilevati allo scopo si identificano gli acquiferi sfruttati dai pozzi, curando la definizione delle possibili intercomunicazioni. Le indagini devono interessare gli acquiferi posti al di sopra di quello sfruttato più profondo; particolare attenzione deve essere riservata alla prima falda in quanto potenzialmente più vulnerabile e generalmente più produttiva. La ricostruzione della struttura idrogeologica

deve essere effettuata sia a scala generale, per la verifica delle condizioni di intercomunicazione delle falde, sia a scala locale.

b) Identificazione delle caratteristiche piezometriche
È necessario ricostruire la piezometria "statica" della falda interessata dall'indagine, mediante misurazioni di un sufficiente numero di punti.

c) Caratterizzazione idrochimica delle falde
Viene rilevato lo stato qualitativo delle acque sotterranee mediante l'elaborazione di alcuni parametri indicatori (ad esempio conducibilità elettrica, durezza, nitrati), anche in relazione alle caratteristiche litologiche locali e alle attività presenti.

I dati devono essere elaborati ai fini di stabilire eventuali intercomunicazioni tra gli acquiferi e determinare lo stato di inquinamento delle acque sotterranee.

d) Determinazione dei parametri idrogeologici degli acquiferi

Poiché l'obiettivo è l'identificazione della velocità di filtrazione, da cui ricostruire i tempi di percorrenza, è indispensabile il calcolo dei parametri idraulici della falda quali permeabilità, trasmissività, immagazzinamento, porosità efficace, raggio di influenza.

e) Definizione dell'influsso provocato dal pompaggio sulla piezometria della falda

Questa operazione può essere eseguita calcolando gli abbassamenti s (m) del livello piezometrico prodotto all'interno del campo acquifero (in regime permanente) mediante la relazione:

$$s = \sum_i \frac{Q_i}{2 T \pi i} \ln (R_i / r_i) \quad (3.60)$$

in cui R (m) e r (m) rappresentano rispettivamente il raggio di influenza e il raggio del pozzo. Si ricostruisce poi la piezometria "dinamica" (piezometria "statica" - abbassamento in una serie di punti scelti al vertice di una apposita griglia) e a scopo cautelativo le elaborazioni vengono riferite al regime permanente.

f) Calcolo della distanza di provenienza delle particelle liquide per un tempo dato

Una volta prescelto il tempo di sicurezza e immaginando di dover delimitare un'isocrona per un pozzo si procede applicando la seguente relazione:

$$t = - \frac{n}{k} \sum_i \frac{(\Delta x)_i}{(\Delta z)_i} \quad (3.61)$$

g) Perimetrazione della zona di rispetto

Ripetendo l'operazione illustrata dalla relazione (3.61) per un numero sufficiente di linee di flusso si riesce a definire, tenendo conto anche dei limiti idrogeologici presenti, l'andamento delle isocrone e di conseguenza delle zone di rispetto.

Altri metodi più complessi, che sfruttano codici numerici appositamente predisposti e adattabili anche alle diverse configurazioni di flusso che si incontrano sul campo, che possono affrontare il tipo di problema individuato in questo paragrafo sono riportati ad esempio in Blandford T.H., Huyakorn P.S., 1989, Cleary T.C.B.F., Cleary R.W., 1990, Cleary P.W., Pinder G.F., Ungs M.J., 1990, Franz T., Guiguer N., 1990, U.S. Environmental Protection Agency, 1988b.

Come verrà successivamente riportato, la maggior parte dei

Elementi da considerare	Obiettivi				
	Creazione di zona protetta da attività pericolose in vicinanza delle captazioni	Previsione di gestione di un'area intorno alle captazioni in funzione dell'effetto del pompaggio	Individuazione area che garantisce un idoneo tempo di sicurezza per la protezione delle captazioni	Gestione dell'area di ricarica nelle attuali e future condizioni di sfruttamento delle captazioni	Previsione di area di attenuazione del carico inquinante intorno alle captazioni in relazione a uno specifico valore-soglia
Criteri	Distanza	Abbassamento indotto	Tempo di trasferimento	Limiti del flusso idrico sotterraneo	Capacità di assimilazione
Esempio di applicazione	200 m (D.P.R. 236/88) 2 km (Germania)	Area con isoabbassamento di 0,076 m (Dade County, Florida, USA)	60 giorni 10-15 anni (Olanda)	Limiti idrogeologici (Massachusetts, USA)	Idonea percentuale dell'area in relazione alla concentrazione massima ammissibile per le acque potabili
Vantaggi	Facilmente realizzabile, introduce un vincolo sul territorio e provoca una necessità di ulteriori studi idrogeologici	Possono essere adattate alla situazione locale e considerare anche altre opzioni	Riguarda le sostanze più comunemente diffuse e trattabili secondo normative	Criterio più congruente con la necessità di protezione, specialmente in acquiferi limitati	Particolarmente indirizzato verso la presenza di inquinanti di interesse per l'uso potabile delle acque
Svantaggi	Non considera l'idrodinamica. Provoca dimensioni sovra o sotto stimate. È oggetto di contenzioso in quanto mancano presupposti tecnici.	Può comportare dimensioni sovra o sottostimate	Implica esistenza di misure di trattamento degli eventuali inquinanti rilevati	Elevate dimensioni della protezione per acquiferi regionali	Adottabile per contaminazione batterica, ma difficilmente adottabile per sostanze conservative.
Fattori idrogeologici	Non considera i fattori idrogeologici che provocano il flusso idrico sotterraneo	Applicazione di ragionevoli concetti idrogeologici ai dati esistenti	Buona accuratezza nella ricostruzione del tempo di trasferimento	Indagini idrogeologiche che individuano l'intera zona di ricarica per condizioni esistenti e future di utilizzo delle acque	Approfondite indagini multidisciplinari per la verifica dei meccanismi che provocano la riduzione della concentrazione al di sotto di un valore-soglia
Fattori gestionali	Divieto di alcune attività e necessità di controllo di attività esistenti all'interno o appena al di fuori dell'area vincolata.	Basata su ragionevoli condizioni di gestione delle captazioni	Eventuale eliminazione di centri di pericolo interni all'area e monitoraggio delle potenziali fonti di inquinamento e delle acque al di fuori dell'area.	Necessità di controlli estesi a tutti i centri di pericolo nella zona di ricarica	Individuazione centri di pericolo, loro caratteristiche inquinanti e controllo degli effetti della loro presenza.

Tab. 3.6 - Relazioni tra obiettivi di tutela e criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

programmi di calcolo implementati possono funzionare anche su personal computer, rendendo l'applicazione del metodo cronologico assai agevole e accessibile.

3.8 Selezione dei criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia

Dall'analisi critica sull'utilizzo dei vari criteri e metodi di perimetrazione delle aree di salvaguardia, si deduce che non esistono soluzioni univoche, ma ogni metodo acquista una sua validità in relazione alla situazione idrogeologica dell'area, all'antropizzazione del territorio e agli aspetti socio-economici e ambientali.

Risulta pertanto necessaria l'impostazione di linee orientative per la selezione dei criteri di delimitazione delle aree di salvaguardia alla luce degli obiettivi previsti.

L'obiettivo globale da conseguire è una pianificazione complessiva del territorio al fine di proteggere le risorse idriche sotterranee destinate al consumo umano.

A tal fine i metodi che risultano più congruenti sono (Tab. 3.6):

- il tempo di sicurezza: non si assiste a un arrivo inatteso di un inquinante alle captazioni;
- la capacità di assimilazione: il carico inquinante può raggiungere le captazioni in concentrazioni inferiori a quelle massime ammissibili;
- la tutela idrogeologica: la protezione di una parte o di tutta la zona di alimentazione di una captazione.

Tra le considerazioni tecniche che guidano la selezione della scelta di un criterio per la delimitazione delle aree di salvaguardia si possono elencare gli elementi proposti dall'U.S. Environmental Agency, 1987.

Data la diversità della struttura idrogeologica, le caratteristiche gestionali della distribuzione all'utenza delle acque potabili e gli obiettivi di protezione delle risorse che si vogliono conseguire determinano l'assegnazione di un punteggio di preferenza tra le diverse alternative.

Gli elementi tecnici da considerare risultano i seguenti (Tab. 3.7):

Elementi tecnici	Criteri				
	Distanza	Abbassamenti indotti	Tempo di trasferimento	Limiti del flusso idrico sotterraneo	Capacità di assimilazione
Applicabilità	A	M	M	M	B
Quantificazione	A	A	M	N	B
Modificabilità	A	B	B	A	A
Verificabilità	A	A	B	A	B
Congruenza con le finalità	N	N	M	N	A
Adattabilità	B	A	A	M - A	M - A
Fattori idrodinamici	B	B	A	M	M
Punteggio (1 - 5)	1	2	5	4	3

A ⇒ alto, M ⇒ medio, B ⇒ basso, N ⇒ non applicabile.
I punteggi maggiori sono più desiderabili.

Tab. 3.7 - Selezione dei criteri in relazione a considerazioni tecniche per uno "stato ipotetico" (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

- applicabilità: possibilità di applicare i criteri prescelti in relazione all'esistenza di strutture e personale specializzato;
- quantificazione: possibilità di identificare valori numerici da attribuire ai parametri utili per la definizione delle aree;
- modificabilità: possibilità di variare la configurazione delle aree in seguito al cambiamento delle condizioni iniziali (ad esempio incremento delle portate prelevate dai pozzi);
- verificabilità: possibilità di controllare direttamente i parametri che sono alla base del criterio prescelto;
- congruenza con le finalità: possibilità di rispettare i limiti di concentrazione massima ammissibile delle sostanze presenti nella acque;
- adattabilità: possibilità di descrivere un'ampia gamma di situazioni relative alla struttura idrogeologica;
- fattori idrodinamici: possibilità di considerare i processi fisici che regolano la dispersione degli inquinanti nelle acque sotterranee.

In base alle stesse indicazioni dell'U.S. Environmental Protection Agency, 1987 viene costruita anche un'altra matrice, riportata in Tab. 3.8, per considerare gli aspetti di politica generale riguardanti la tutela delle risorse idriche.

Nella matrice sono considerati i seguenti elementi:

- comprensibilità: possibilità di spiegare i concetti generali di protezione della risorsa idrica alla base di ogni criterio adottato;
- economicità: costi necessari per lo studio e l'applicazione del criterio di perimetrazione prescelto;
- difendibilità: possibilità di chiara definizione del criterio e dell'area al fine di prevenire contenziosi;
- applicabilità in fasi: possibilità di garantire una prima adozione in versione provvisoria, integrabile con quella definitiva;
- importanza della tutela: rilevanza degli obiettivi di protezione perseguibili con le misure adottate.

Come è stato riportato nei precedenti paragrafi, la trasposizione dei criteri di delimitazione in metodi operativi può essere considerata nel modo di seguito descritto, con un diverso grado di affidabilità e precisione (Tab. 3.9).

1) Delimitazione con un raggio arbitrario

Corrisponde alla tecnica riportata dal D.lgs 152/99 per le zone di tutela assoluta, nonché alla indicazione di salvaguardia temporanea per la zona di rispetto, senza considerare la vulnerabilità e rischio della risorsa.

I vantaggi nell'applicazione del metodo sono sostanzialmen-

Parametri considerati	Criteri				
	Distanza	Abbassamenti indotti	Tempo di trasferimento	Limiti del flusso idrico sotterraneo	Capacità di assimilazione
Comprensibilità	A	M	M	B	B
Economicità	A	M	M	M	B
Difendibilità	B	M	A	B	B
Applicabilità in fasi	M	B	M	M - B	M - B
Importanza della tutela	M	M	M	M - A	B
Punteggio 1 - 5	5	3	4	2	1

A ⇒ alto, M ⇒ medio, B ⇒ basso, N ⇒ non applicabile.
I punteggi maggiori sono più desiderabili.

Tab. 3.8 - Selezione dei criteri in relazione a considerazioni politiche per uno "stato ipotetico" (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

Metodi	Criteri				
	Distanza	Abbassamenti indotti	Tempo di trasferimento	Limiti del flusso idrico sotterraneo	Capacità di assimilazione
Raggio arbitrario	A	N	N	N	N
Raggio fisso calcolato	N	A	A	N	N
Dimensioni variabili semplificate	N	N	M	N	N
Metodi analitici	N	A	A	N	M
Modelli numerici di flusso e di trasporto	N	A	A	N	M
Cartografia idrogeologica	A	N	N	A	N

A ⇒ alto, M ⇒ medio, B ⇒ basso, N ⇒ non applicabile.

Tab. 3.9 - Relazione tra i criteri e i metodi di delimitazione delle aree di salvaguardia (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

te dovuti alla facile implementazione, senza una specifica competenza professionale e con bassi costi; riveste pertanto un carattere di provvisorietà in attesa di ulteriori approfondimenti delle indagini.

Gli svantaggi sono dovuti all'assenza di presupposti scientifici alla base del metodo, che ne limitano l'efficacia ai fini della tutela delle acque sotterranee soprattutto in presenza di limiti o eterogeneità della struttura idrogeologica; inoltre si può registrare un sovradimensionamento delle aree da salvaguardare, con un conseguente sviluppo di conflittualità sociali, economiche e normative sul territorio.

2) Delimitazione con un raggio fisso calcolato

Corrisponde ad esempio ai metodi riportati in precedenza ai paragrafi 3.7.1 e 3.7.2, validi per un determinato tempo di transito dell'inquinante nel quale si presume che arrivi sufficientemente diluito alla captazione di acque.

Si hanno sostanzialmente bassi costi, ma relativamente superiori a quelli precedenti dovuti alla necessità di acquisire un modesto numero di parametri di base riguardanti l'acquifero, da inserire in semplici relazioni analitiche o in abachi; gli svantaggi sono quelli comuni anche al caso precedente.

3) Delimitazione con dimensioni semplificate variabili

Corrisponde ad esempio al metodo riportato al paragrafo 3.7.9 in cui sono semplificati i risultati ottenuti con metodi analitici relativamente alla forma da attribuire alle aree da salvaguardare in differenti condizioni idrogeologiche e di prelievo di acque.

I vantaggi del metodo sono conseguenti alla possibilità di attribuire forme diverse alle aree da tutelare in relazione a determinati parametri di cui è necessaria comunque la conoscenza a fronte di un modesto incremento dei costi di indagine e della necessità di migliori conoscenze idrogeologiche da parte del personale addetto.

Gli svantaggi dell'applicazione di questa tecnica consistono nella scarsa aderenza alle modalità di flusso in vicinanza di limiti idrogeologici, di eterogeneità dell'acquifero e di variazioni locali del gradiente (direzione e modulo) in vicinanza delle captazioni.

I costi da sostenere sono soprattutto relativi alle fasi iniziali quando, dallo studio della casistica, devono essere elaborati abachi e diagrammi significativi e di semplice applicazione.

4) Delimitazione calcolata con metodi analitici

Corrisponde ai metodi riportati ad esempio nei paragrafi

3.7.3, 3.7.5 e 3.7.11, sulla base di espressioni analitiche elaborate da AA.VV..

Per l'applicazione di questi metodi sono necessarie conoscenze sulla struttura idrogeologica locale e sull'idrodinamica delle falde in condizioni naturali e sottoposte a pompaggio.

Il vantaggio del metodo consiste nella buona rispondenza allo scopo di identificare il tempo di transito in quanto le equazioni di flusso possono essere agevolmente risolte e i dati di input possono raccolti con costi contenuti.

Gli svantaggi sono connessi alla scarsa affidabilità dei risultati in presenza di eterogeneità degli acquiferi e condizioni dovute a variazioni della loro ricarica.

Inoltre i costi possono aumentare nel caso siano da produrre dati sperimentali sui parametri idrogeologici degli acquiferi.

5) Delimitazione calcolata in base a carte idrogeologiche

Corrisponde ad esempio al metodo del D.lgs 152/99 per quanto riguarda le zone di protezione.

Questo metodo assume un'importanza rilevante nei mezzi in cui le condizioni di flusso siano complesse e comunque non esprimibili con leggi analitiche.

È il caso ad esempio dei sistemi carsici che richiedono l'utilizzo, per il loro studio, di notevoli approfondimenti dell'indagine per l'individuazione dei condotti e delle modalità di alimentazione e l'impiego di tecniche speciali come ad esempio l'uso dei traccianti.

Il metodo della cartografia idrogeologica appare dunque applicabile nelle sopradette condizioni e in presenza di limiti idrogeologici al flusso idrico sotterraneo.

L'esigenza di stesura di carte geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e idrochimiche, oltre a richiedere competenze specifiche in materia, comporta costi elevati anche per la vastità delle aree da esaminare e delle indagini da compiere, in quanto raramente si hanno sufficienti dati a disposizione.

6) Delimitazione basata su modelli numerici di flusso e di trasporto

Comportano l'impostazione di modelli dell'acquifero che possono affrontare anche situazione complesse dal punto di vista idrogeologico.

Come precedentemente descritto è necessario dapprima sviluppare il modello di flusso, per determinare il campo di moto, e successivamente applicare il modello di trasporto.

Oltre a rispettare con maggiore accuratezza le condizioni

reali, seppure con i limiti della schematizzazione del problema, i modelli possono fornire anche differenti configurazioni delle aree di salvaguardia in corrispondenza ad esempio di significative modificazioni delle modalità di gestione degli acquiferi.

Gli aspetti negativi riguardano i costi elevati di predisposizione sia per la raccolta dei dati necessari di taratura del modello sia per la sua impostazione.

Modelli più semplici possono essere applicati non considerando le eventuali eterogeneità dell'acquifero e inserendo valori dei parametri dedotti dalla letteratura idrogeologica; in questo caso il dettaglio e l'affidabilità dei risultati è ovviamente più ridotto.

Inoltre l'aspetto economico relativo agli studi e alle procedure da attuare per la delimitazione delle aree sono ovviamente maggiori per le tecniche più complesse, che peraltro garantiscono una maggiore efficacia; questo aspetto verrà trattato successivamente con maggior dettaglio.

L'approccio utilizzato dall'U.S. Environmental Protection Agency, 1987, considera un'entità amministrativa locale ("stato ipotetico") che deve impostare il programma per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni.

Nella situazione italiana e in base al D.lgs. 152/99, tali entità sono individuabili nelle Regioni ed è auspicabile che, nella selezione dei criteri e dei metodi, possa essere seguita una procedura in base alle linee-guida indicate.

Per esplicitare con maggiore chiarezza le considerazioni da effettuare si riporta l'esempio riportato dall'U.S. Environmental Protection Agency, 1987. Gli scenari di applicazione di questo esempio di scelta dei criteri di delimitazione delle aree di salvaguardia sono i seguenti:

- Acquiferi captati vulnerabili all'inquinamento e per la maggior parte costituiti da depositi non consolidati;
- Maggiori pericoli per la qualità delle acque costituiti da sostanze chimiche che possono interessare pozzi di interesse strategico;
- Conflittualità con centri di pericolo sottoposti a vincoli che ne contestano l'applicazione;
- Disponibilità di strutture e personale in grado di svolgere correttamente le operazioni di delimitazione dal punto di vista tecnico;
- Suddivisione delle aree di salvaguardia secondo tre zone (come nel D.lgs. 152/99 e come nella maggior parte delle esperienze realizzate in altri Stati);

Metodi	Criteri					
	Applicabilità	Variabilità	Verificabilità in campo	Adattabilità alla struttura idrogeologica	Accuratezza	Punteggio (1-5)
Raggio arbitrario						N
Raggio fisso calcolato	A	M	A	B	B	4
Dimensioni variabili semplificate	M-A	B	A	A	M-B	2
Metodi analitici	M-B	A	M	A	M	5
Modelli numerici di flusso e di trasporto	B	M-B	M-B	A	M-A	3
Cartografia idrogeologica	M-B	M	M-B	A	M-A	1

A ⇒ alto, M ⇒ medio, B ⇒ basso, N ⇒ non applicabile.

Tab. 3.10 - Relazione dei metodi in base a considerazioni tecniche (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

- Esistenza di disposizioni normative in grado di imporre vincoli all'uso del territorio;
- Informazione circa l'esigenza di delimitare aree di salvaguardia delle captazioni.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici, sulla base di questi presupposti iniziali è stata intrapresa la scelta del metodo di delimitazione più idoneo che appare rappresentato dal tempo di trasferimento (Tab. 3.10).

L'applicabilità, pur di difficoltà media, non viene giudicata come criterio condizionante in quanto eventualmente può essere acquisita col tempo e sulla base di specifici aggiornamenti delle conoscenze.

La quantificazione dell'estensione dell'area, in relazione ad esempio al tempo di sicurezza da adottare, è più difficoltosa e deve considerare anche la situazione di pericolo locale di degrado della qualità della risorsa idrica e indica; per l'esempio citato si può prevedere una prima zona di circa 300 m da acquisire preferibilmente da parte dell'Ente gestore dell'acquedotto, una seconda e una terza zona corrispondenti a un tempo di transito rispettivamente di 50 giorni e 15 anni.

La variabilità delle zone viene giudicata soprattutto in relazione a diverse condizioni di pompaggio dovute ad esempio al potenziamento del campo acquifero con nuove captazioni; inoltre si considerano anche le condizioni estreme (siccità) in modo da ridurre l'esigenza di ampliare successivamente le aree di salvaguardia, includendo al loro interno anche eventuali centri di pericolo.

La verificabilità sul campo è limitata ad alcuni casi specifici e sperimentali, ma i risultati possono essere estrapolati, previa idonea taratura, anche ad altre situazioni.

La maggiore aderenza al rispetto degli standard di concentrazione delle sostanze presenti nelle acque sotterranee destinate al consumo umano viene garantita dal criterio della capacità di assimilazione che comunque è stato studiato solo in casi sperimentali.

L'adattabilità alla struttura idrogeologica viene giudicata buona per gli acquiferi in cui si ha una circolazione idrica per porosità interstiziale, così come i processi fisici di avvezione e dispersione possono essere inclusi nel criterio del tempo di transito.

Per quanto riguarda gli aspetti normativi e di politica delle acque si verifica una migliore prestazione del criterio della distanza, ma anche il tempo di transito mostra risultati buoni (Tab. 3.11).

Metodi	Parametri				
	Comprensibilità	Economicità	Applicabilità	Importanza della tutela	Punteggio (1-5)
Raggio arbitrario				B	N
Raggio fisso calcolato	M-A	M-A	B	B	4
Dimensioni variabili semplificate	M-A	M-A	M-B	B	3
Metodi analitici	M-B	M	M	A	5
Modelli numerici di flusso e di trasporto	B	M-B	M-A	M	2
Cartografia idrogeologica	M-B	M	M-A	M	1

A ⇒ alto, M ⇒ medio, B ⇒ basso, N ⇒ non applicabile.

Tab. 3.11 – Selezione dei metodi in base a considerazioni politiche (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

La comprensibilità dell'esigenza di vincolare l'uso del territorio nelle vicinanze delle captazioni e l'economicità delle procedure di delimitazione sono giudicate di elevato valore, anche se, per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, il sovra-dimensionamento delle aree può comportare problemi in fase di effettiva gestione delle aree e della loro difendibilità in quanto le dimensioni, non essendo basate su basi tecniche, possono essere oggetto di contenzioso tra le parti interessate.

L'applicazione per fasi delle zone da tutelare trova nel criterio della distanza un utile elemento in sede provvisoria, anche se le modifiche successive possono sempre incontrare resistenze.

Infine lo scopo di protezione delle risorse può essere conseguito con diversi criteri selezionabili all'interno di quelli preferiti dalle diverse entità locali in relazione anche alle situazioni quali-quantitative dell'approvvigionamento idrico.

Una volta prescelto il criterio di protezione, che risulta il tempo di transito in quanto registra complessivamente le migliori prestazioni, è necessario definire anche i metodi che si possono applicare da suggerire nell'eventuale supporto tecnico a integrazione dei provvedimenti normativi.

L'analisi degli aspetti tecnici identifica nell'adozione di modelli analitici di trasporto la migliore prestazione (Tabb. 3.10 e 3.11).

Dal punto di vista tecnico la preferenza è giustificabile in assenza di limiti di flusso, schematizzabili in modo più efficace con modelli numerici e con l'utilizzo di carte idrogeologiche.

Dal punto di vista della politica delle acque i modelli analitici per la loro maggiore semplicità ed economicità sono generalmente preferiti a quelli numerici.

Fatta questa necessaria trattazione teorica si è poi passati all'attuazione dei principi generali e da parte dei diversi Stati degli U.S.A. sono stati adottati i criteri e i metodi riportati in Tab. 3.12 che evidenzia come siano stati utilizzati in modo pragmatico anche i metodi più semplici, sulla base di valutazioni tecnico-economiche.

3.9 Applicabilità delle aree di salvaguardia al territorio italiano

I criteri e i metodi che sono stati illustrati nei paragrafi precedenti evidenziano i diversi approcci che gli AA. hanno avuto nei confronti della necessità di prevenire l'inquina-

mento delle acque sotterranee destinate all'approvvigionamento idrico.

Le maggiori difficoltà riscontrate sono dovute alla necessità di dover conciliare la tutela delle acque con l'uso e le attività che si svolgono sul territorio, in relazione alle strutture idrogeologiche presenti.

Da questo punto di vista in Italia, in seguito a una prima sperimentazione su siti-campione, è stato proposto un metodo per l'istituzione delle zone di rispetto (C.N.R.-G.N.D.C.I., 1988) che, ispirandosi prevalentemente alla tradizione europea in quanto giudicata più aderente a quella italiana, introduce alcuni elementi di novità per considerare la realtà nazionale.

In questo paragrafo verranno illustrati gli elementi fondamentali di tale proposta partendo da una sintesi metodologica.

Il criterio geometrico consiste nel delimitare le zone attribuendo a esse una certa dimensione in termini di distanza dalla captazione; essendo quindi dato il raggio, tali zone risultano circolari e concentriche.

Il criterio geometrico viene applicato alle zone di tutela assoluta e di rispetto.

Tuttavia l'operazione, di facile esecuzione e compatibile con l'esigenza di provvedimenti urgenti di tutela delle acque sotterranee, non garantisce dalla contaminazione (sottodimensionamento) e può penalizzare troppo un'area (sovradimensionamento); il criterio geometrico viene pertanto riservato a una delimitazione in via provvisoria delle zone di rispetto. Il criterio idrogeologico, protezione dell'intero bacino di alimentazione dell'opera di captazione, è quello che consente la migliore tutela delle acque sotterranee, ma è di difficile attuazione sia per fattori naturali (complessità della struttura idrogeologica) che per quelli artificiali (presenza di territori già antropizzati e di "centri di pericolo").

Già all'interno del D.P.R. 236/88, ripreso e confermato dal D.lgs. 152/99 e successive modifiche e integrazioni, il criterio idrogeologico veniva riservato alle zone di protezione. Per la delimitazione delle zone di rispetto si è pertanto proposto di adottare il criterio temporale.

Deve essere scelta una dimensione da attribuire alla zona di rispetto corrispondente al tempo impiegato dal flusso idrico per compiere un certo percorso ("tempo di sicurezza"); periodi di tempo elevati consentono una maggiore diluizione-dispersione-depurazione dell'inquinante e permettono di predisporre eventuali interventi di disinquinamento.

Per quanto riguarda la situazione italiana si dovranno neces-

Criteri e metodi di perimetrazione adottati	Numero di Stati
Criteri di perimetrazione	
Distanza	36
Abbassamenti indotti	5
Tempo di trasferimento	29
Limiti del flusso idrico sotterraneo	31
Metodi di perimetrazione	
Raggio arbitrario	31
Raggio fisso calcolato	22
Dimensioni variabili semplificate	6
Modelli analitici	26
Modelli numerici	17
Cartografia idrogeologica	31
Combinazione di metodi di perimetrazione	
Raggio arbitrario + cartografia idrogeologica	25
Raggio arbitrario + cartografia idrogeologica + modelli analitici	
Raggio arbitrario + cartografia idrogeologica + modelli analitici + modelli numerici	11
Modelli analitici + modelli numerici + cartografia idrogeologica	4
Altri	3
Struttura idrogeologica	
Falda libera	34
Falda confinata	31
Mezzo fratturato	19
Mezzo carsificato	6
Entità del raggio arbitrario	
152 m	4
305 m	6
457 m	6
610 m	1
805 m	1
914 m	1
1609 m	4
Tempo minimo di trasferimento (criterio cronologico)	
3 anni	1
5 anni	15
2500 giorni	1
10 anni	11
Zona perimetrata	
Ad una zona microbica minima	22
A due zone microbiche	4
Ad una zona chimica minima	29
A due zone chimiche	13

Tab. 3.12 - Utilizzo di criteri e metodi di perimetrazione delle aree di salvaguardia negli U.S.A. (da Job C., 1997)

sariamente considerare due principi di fondamentale importanza a cui ispirarsi nella zonizzazione:

1. l'esecuzione delle nuove captazioni deve essere subordinata alla possibilità di stabilirne le zone di rispetto;
2. in un territorio già urbanizzato la funzionalità delle zone può mostrare una "efficacia limitata" e in tal caso devono essere fornite garanzie suppletive.

Nel D.lgs. 152/99 la perimetrazione viene determinata da appositi studi idrogeologici, mentre in assenza di tale individuazione, la stessa è definita con un raggio di 200 m.

Poiché la perimetrazione delle aree penalizza il territorio per gli usi pubblici e privati, è necessario definire delle zone che garantiscano una difesa delle opere di captazione, incidendo nel modo minore possibile sull'economia del territorio.

In base alle attuali conoscenze non è possibile quantificare esattamente l'attenuazione del carico inquinante che si ha nel non saturo e poiché in alcuni casi l'immissione di inquinanti si ha direttamente nella zona di saturazione (esempio corsi d'acqua o pozzi perdenti) si è preferito adottare un tempo di sicurezza calcolato con la metodologia riportata al punto b) del capitolo 4, considerando quindi esclusivamente il percorso effettuato nel mezzo saturo da inquinanti già presenti nella falda.

Tuttavia la sola esistenza delle zone di rispetto intorno ai pozzi e i relativi vincoli non garantisce la conservazione nel tempo della qualità delle acque sotterranee.

Il controllo della loro qualità mediante una rete di sorveglianza (esistente o appositamente predisposta) è pertanto un mezzo indispensabile per la salvaguardia degli impianti di

captazione; tali interventi vengono definiti di "protezione dinamica" e si rendono necessari anche per l'evoluzione delle attività presenti sul territorio e di progressi nelle conoscenze idrogeologiche, pedologiche, chimiche, etc.. L'installazione dei punti di controllo permette di intercettare, con buona probabilità, il flusso idrico sotterraneo inquinato prima che possa raggiungere i pozzi nel tempo di sicurezza prefissato.

Ovviamente i siti su cui effettuare gli accertamenti, la frequenza dei controlli e la natura dei parametri da ricercare saranno dimensionati in funzione dell'importanza dei pozzi, della presenza di poli inquinanti, dell'efficienza delle zone di rispetto e delle strutture pubbliche adibite a queste funzioni. Sui pozzi verranno effettuate analisi di potabilità, mentre sui piezometri si determineranno parametri indicatori di contaminazione con una frequenza dei prelievi data dai tempi di arrivo degli inquinanti ai pozzi per le diverse zone.

Ciò deve condurre necessariamente all'elaborazione di un piano d'allarme e di soccorso, finalizzato alla messa in opera di dispositivi di intervento e di emergenza, mentre provvedimenti di altro tipo, studiati mediante una metodologia definita "idrogeochimica", possono consentire l'individuazione delle fonti inquinanti, la bonifica dei pozzi e il disinquinamento dell'acquifero.

La dimensione temporale da attribuire alle zone di rispetto, che saranno pertanto delimitate da un'isocrona, è molto importante e anche da questo punto di vista possono essere fatte considerazioni in base a quanto emerge dalle normative europee. La gran parte dei periodi prescelti corrisponde ai tempi di sopravvivenza nel sottosuolo dei microrganismi.

Alcune normative (ad esempio quella svizzera) prevedono un tempo di permanenza nel suolo di almeno 10 giorni, mentre in altri casi si adotta un tempo di 20 giorni, essendosi constatato che la velocità di propagazione della contaminazione batterica è circa 2/3 di quella dell'acqua nel sottosuolo (Georgescu D., 1965).

Tuttavia tali periodi di tempo non tengono conto che alcuni microrganismi, come ad esempio la Salmonella, sopravvivono per circa 50 giorni; questo intervallo viene invece recepito dalla normativa tedesca.

Sarebbe tra l'altro necessario elevare a 75-100 giorni il limite qualora si tenesse conto anche dei tempi di sopravvivenza di alcuni virus.

La disparità di questi valori conduce alle seguenti considerazioni:

- non è possibile scegliere un intervallo di tempo assoluto che garantisca in modo univoco dalla contaminazione;
- bisogna effettuare preliminarmente una valutazione tecnico-economica e tradurla, sulla base delle condizioni idrogeologiche, in tempi di sicurezza;
- non è possibile considerare unicamente la contaminazione batterica, poiché la casistica italiana riferisce più spesso di inquinamento da sostanze chimiche (esempio cromo, solventi, pesticidi, nitrati) che subiscono una degradazione differente da quella dei microrganismi o addirittura sono persistenti;
- la protezione statica garantisce che non vi sia infiltrazione di inquinanti nelle zone di rispetto, ma non impedisce

l'arrivo di quelli provenienti da aree esterne e già presenti in falda.

Si arriva pertanto alla conclusione che il tempo di sicurezza da attribuire alle zone di rispetto non deve essere scelto in funzione esclusiva delle caratteristiche dell'inquinante, ma determinato dalla periodicità dei controlli che si possono effettuare in una certa realtà locale.

La protezione statica viene in questo modo integrata dalla dinamica.

Una rete di monitoraggio efficiente e controlli frequenti risultano più onerosi, ma determineranno una minore estensione delle zone; controlli saltuari implicano invece un maggiore coinvolgimento del territorio nella protezione idrogeologica.

Sintetizzando gli elementi di maggiore importanza contenuti nelle risultanze delle sperimentazioni effettuate, si possono tracciare i seguenti indirizzi:

1. Si deve adottare il criterio di protezione statica e dinamica delle opere di captazione.
2. Per la protezione statica si sono adottate, oltre alla zona di tutela assoluta, due zone di rispetto (ristretta e allargata) di cui la più esterna risulta necessaria per costituire una transizione alle zone di protezione mediante una opportuna attenuazione della vincolistica.
3. Il metodo prescelto per la delimitazione delle zone di rispetto è quello del "tempo di sicurezza".
4. L'intervallo di tempo adottato è stato individuato sulla base della possibilità di eseguire controlli e in parte sulla base delle caratteristiche degli inquinanti.
5. La periodicità dei controlli analitici è in relazione al tempo di sicurezza (protezione dinamica).
6. Il sistema di controllo è costruito in base alle opere esistenti o da realizzarsi allo scopo.

Poiché è stato prescelto un sistema di protezione basato sul "tempo di sicurezza" deve essere valutata la velocità del flusso idrico sotterraneo in vicinanza delle captazioni; questa grandezza dipende dalle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (conducibilità idraulica, porosità efficace e gradiente idraulico).

Le varie configurazioni del flusso idrico in vicinanza dei pozzi sono state precedentemente esplicitate; in tal senso il contributo dell'idrogeologia è risultato di fondamentale importanza.

Si sottolinea che nelle aree a "elevato rischio di crisi ambientale" la situazione pregressa è tale da determinare una "efficacia limitata" delle misure di prevenzione che si possono adottare mediante le zone di salvaguardia.

Le zone a efficacia limitata sono rappresentate da aree in cui la conducibilità idraulica dei terreni interposti tra la superficie del suolo e della falda è elevata (superiore a 10^{-4} m/s) ed esistono condizioni di pericolo determinati dall'urbanizzazione, dagli insediamenti e dalle attività presenti.

In tali condizioni deve essere data una maggiore importanza alla protezione dinamica e devono essere previsti piani di intervento in caso di inquinamento delle acque destinate al consumo umano e di situazioni d'urgenza.

4. La delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi in acquiferi protetti

Il crescente degrado delle risorse idriche sotterranee e in particolare modo delle falde superficiali ha spinto l'approvvigionamento idrico potabile verso quelle più profonde, meno vulnerabili all'inquinamento.

Questa scelta è stata generalmente imposta per motivi tecnico-economici legati alla rete di distribuzione e in molti casi ha caratterizzato sia le grandi città che i piccoli centri.

Per la loro moderata consistenza e per l'elevato grado di protezione dalla contaminazione le acque delle falde profonde sono in genere destinate al consumo umano sulla base di studi specifici (Avanzini M. et al., 1995); talora le acque presentano però facies idrochimiche che comportano la presenza di sostanze indesiderabili come ferro, manganese, ammoniaca che devono essere trattate prima della distribuzione all'utenza.

Per la destinazione al consumo umano si esprime ad esempio la L.R. del 30 aprile 1996 n.22 della Regione Piemonte laddove, stabilendo una distinzione tra falde freatiche e in pressione, riserva queste ultime al solo uso acquedottistico. Una volta definito il progetto di captazione delle falde profonde e realizzati i pozzi è necessaria una valutazione circa la perimetrazione delle aree di salvaguardia dei pozzi.

In effetti questa operazione si rende necessaria perché in letteratura sono segnalati episodi di contaminazione anche delle falde profonde, ritenute in prima approssimazione protette dall'effetto prodotto dall'antropizzazione del territorio e dall'uso del suolo.

Del resto lo stesso D.lgs. 152/99, con successive modifiche e integrazioni, stabilisce che le dimensioni delle aree di salvaguardia e l'entità dei vincoli debbano essere considerati alla luce della vulnerabilità e rischio della risorsa.

Un primo tentativo di diversificazione dei vincoli in relazione alla vulnerabilità fu in effetti effettuato da Muratori A., 1988 all'interno di uno studio del C.N.R.-G.N.D.C.I.

4.1 Cenni alle caratteristiche idrauliche e di vulnerabilità di un acquifero

Per una maggiore comprensione di quanto successivamente illustrato, si riportano di seguito alcuni concetti generali riguardanti le definizioni comunemente adottate in idrogeologia, che generalmente mettono a confronto i criteri legati alle condizioni idrauliche rispetto a quelle di potenziale contaminazione di un acquifero.

4.1.1 Caratteristiche idrauliche degli acquiferi

Una prima distinzione riguarda le caratteristiche idrauliche in base alle quali si avranno le seguenti definizioni:

Acquifero (aquifer)

Roccia o terreno permeabile che può contenere acqua e consentirne il flusso con velocità compatibile con le possibilità di un normale utilizzo. Una roccia può essere quindi acquifera, ma non esprimere questa sua potenzialità nel caso non sia interessata da un'alimentazione di acque. È per questa ragione che alcuni AA. definiscono un acquifero non saturo

(al di sopra del livello della falda) e un acquifero saturo sottostante a esso.

Un acquifero non confinato viene definito come un "acquifero caratterizzato da una superficie della falda" (ASTM, 1990). Un acquifero confinato viene definito come "acquifero che è limitato a tetto e a letto da orizzonti confinanti e in cui il livello piezometrico statico presenta una quota superiore a quella del tetto dell'acquifero" (ASTM, 1990).

Questa situazione caratterizza sia gli acquiferi francamente confinati che quelli semiconfinati.

Acquitardo (aquitard)

Roccia o terreno semipermeabile contenente una quantità d'acqua che viene trasmessa lentamente e in particolari condizioni, ma comunque con velocità inferiore a quella dell'acquifero e superiore a quella dell'acquicludo.

Acquicludo (aquiclude)

Roccia o terreno impermeabile che contiene una quantità d'acqua che però non è libera di fluire o fluisce tanto lentamente da non poter essere comunemente utilizzata.

Aquifugo (aquifuge)

Roccia compatta (ad esempio un granito non alterato) che non contiene acqua se non presente in qualche minerale e non può consentirne la trasmissione poiché gli eventuali interstizi non sono intercomunicanti.

Falda

Il concetto di "falda", di scuola latina e ampiamente adottato in Italia, non trova una stretta equivalenza in quella anglosassone dove può invece essere utilizzato il termine di acque sotterranee (groundwater). Infatti una falda può essere definita come una massa idrica che è contenuta nell'acquifero e si distingue in:

- libera (unconfined): falda limitata solo inferiormente da terreni impermeabili e che può ricevere apporti laterali e dalla superficie;
- confinata (confined): falda limitata inferiormente e superiormente da livelli impermeabili (aquicludes), con acqua in pressione, che può ricevere alimentazione solo lateralmente; nel caso vi sia la risalienza dei livelli al di sopra del piano campagna, si è in presenza di una falda artesianica;
- semiconfinata: falda limitata da livelli semipermeabili (aquitardi) che permettono un debole passaggio da una falda all'altra; a seconda dell'oggetto dell'indagine si distinguono una falda semiconfinata (leaky artesian) o semilibera (leaky phreatic);
- sospesa (perched): falda libera e generalmente periodica presente nel terreno non saturo, sostenuta da orizzonti impermeabili di estensione ridotta e sopraelevata rispetto alla sottostante falda libera;
- con drenaggio ritardato: falda simile alla libera, ma con la parte superiore dell'acquifero di permeabilità minore, per cui l'acqua continua a drenare verticalmente anche dopo

che il livello della falda viene notevolmente abbassato in seguito ad esempio all'azione di pompaggio da un pozzo;

- illimitata: falda in cui durante una sollecitazione (drenaggio in seguito al pompaggio), il raggio di esplorazione investe acquiferi in cui non si realizza una brusca variazione di trasmissività;
- limitata: falda in cui durante una sollecitazione il raggio di esplorazione interessa acquiferi aventi una brusca variazione di trasmissività, individuando un limite impermeabile (trasmissività tendente a zero) o un limite di alimentazione (trasmissività tendente all'infinito).

La superficie che separa la zona non satura da quella satura sottostante nella falda libera viene definita "superficie della falda" (water table), mentre la superficie alla quale si alzerebbe il livello dell'acqua in un pozzo perforato in una falda in pressione viene definita "superficie piezometrica" (piezometric surface).

Nel linguaggio corrente i due termini sono comunque usati come sinonimi.

Esempi di diversi tipi di acquifero sono schematizzati nelle Figg. 4.1 e 4.2.

4.1.2 Caratteristiche di vulnerabilità degli acquiferi

Le varie metodologie utilizzabili per la cartografia delle vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento sono riportate in Beretta G.P., 1992, Civita M., 1994 e Civita M. et al., 1997. Nelle applicazioni considerate questi approcci devono essere necessariamente semplificati e schematizzati.

Per quanto attiene alle caratteristiche di protezione dalla contaminazione delle acque captate, un primo aspetto di rilevante importanza è costituito dalla definizione di "acquifero protetto".

Dal punto di vista normativo una prima definizione è data dalla Regione Lombardia (Del. G.R. del 27 giugno 1996 n. 6/15137) che, riprendendo quanto contenuto in Ministero dell'Ambiente, 1990, considera come "acquifero protetto" un "acquifero idraulicamente separato dalla superficie e dalla falda freatica, o comunque da una falda sovrastante, da uno

o più corpi geologici a bassissima conducibilità idraulica (indicativamente dell'ordine di 10^{-8} m/s) aventi uno spessore complessivo dell'ordine di una decina di metri e un'adeguata continuità areale (indicativamente dell'ordine di 200 m di raggio intorno al punto di captazione), rilevati mediante indagini nel sottosuolo, prove di pompaggio, prove idrochimiche, ecc."

Verrà quindi definito "acquifero vulnerabile" un acquifero che non possiede le caratteristiche di acquifero protetto sopra elencate.

Con riferimento alle caratteristiche idrauliche precedentemente elencate, a livello generale e schematizzando il problema, si possono suddividere gli acquiferi in due grandi categorie: non confinati (o liberi) e confinati.

Sono possibili diverse combinazioni tra le caratteristiche idrauliche e di vulnerabilità, ma solo in rari casi un acquifero non confinato è anche protetto; generalmente si hanno infatti acquiferi confinati e protetti.

In base a queste considerazioni, la possibilità di definire protetto un acquifero deriva dalla presenza di sicuro confinamento e all'interno di questa tipologia si distinguono ulteriormente gli acquiferi sicuramente confinati da quelli semiconfinati.

Un acquifero semiconfinato è limitato superiormente da un corpo geologico di permeabilità ridotta rispetto a quella dell'acquifero, ma in grado di permettere il transito di un significativo quantitativo di acqua per drenanza.

In un acquifero confinato il fenomeno di drenanza non avviene in modo significativo tranne che in corrispondenza di interruzioni dei corpi poco permeabili, come in presenza di percorsi preferenziali quali variazioni di facies o fratture (Fig. 4.3).

Un acquifero confinato ai fini dell'applicazione della perimetrazione delle aree di salvaguardia può quindi essere considerato come un "corpo geologico limitato da orizzonti poco permeabili che abbassano la probabilità che vi sia una contaminazione proveniente da sorgenti poste in superficie" (U.S. Environmental Protection Agency, 1991).

Le condizioni che possono produrre una migrazione di contaminanti in profondità sono del resto geologiche, idrauliche e chimico-fisiche.

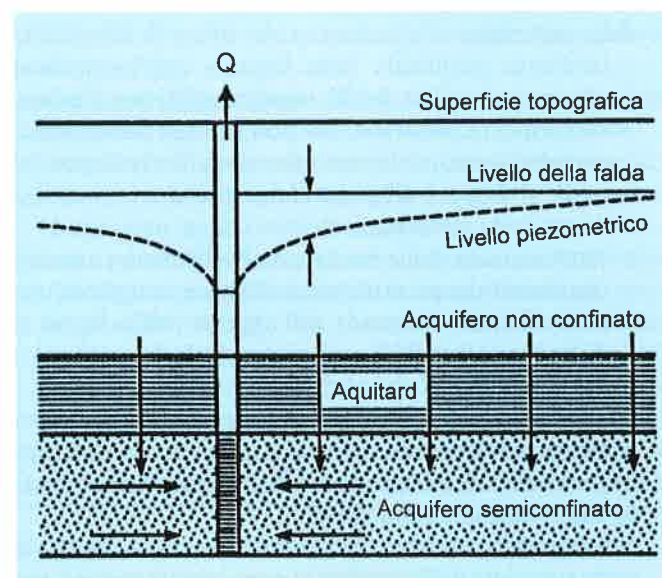


Fig. 4.1 - Schema di acquifero semiconfinato

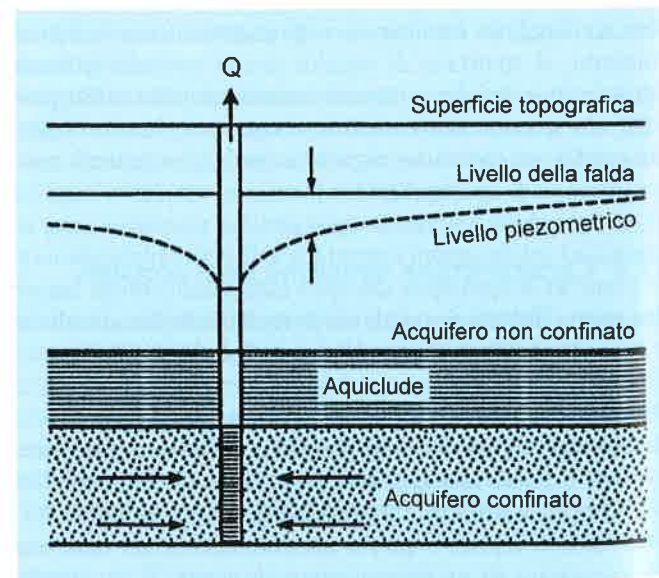


Fig. 4.2 - Schema di acquifero confinato

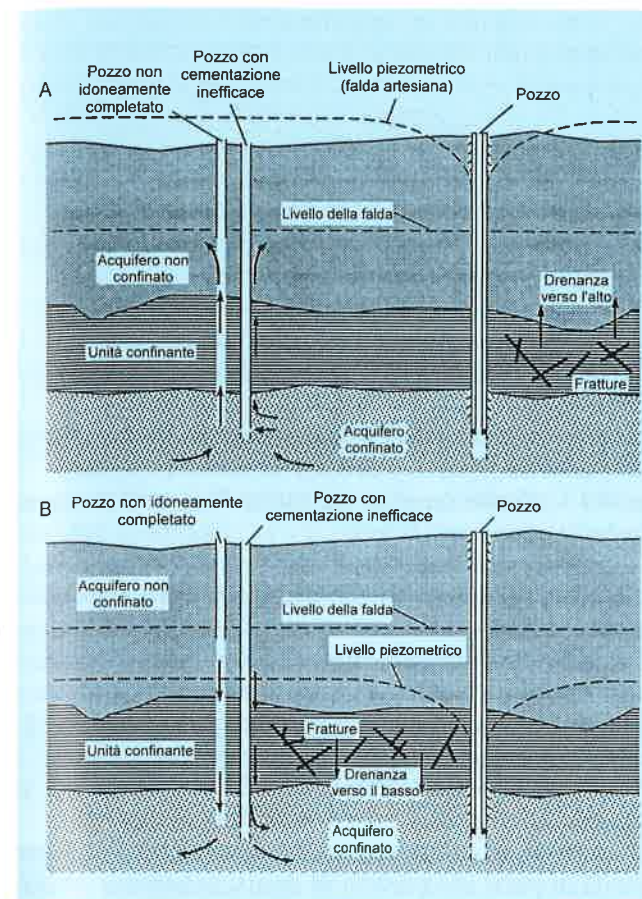


Fig. 4.3 - Schema di intercomunicazione in acquifero confinato:

a: quota del livello piezometrico dell'acquifero confinato superiore a quello dell'acquifero non confinato (passaggio dal basso in alto)

b: quota del livello piezometrico dell'acquifero confinato inferiore a quella dell'acquifero non confinato (passaggio dall'alto in basso)

La potenziale contaminazione di un acquifero confinato può infatti avvenire per:

- presenza di percorsi preferenziali quali fratture, lenti di materiale permeabile, pozzi abbandonati non cementati;
- differenza di carico idraulico tra le falde, con drenanza orientata verso il basso;
- densità dei contaminanti superiore a quella dell'acqua, come nel caso dei DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquid).

Infine si riportano alcune definizioni che considerano le caratteristiche idrauliche e di vulnerabilità dell'acquifero che sono contenute in Comitato Tecnico Discariche, 1997 nelle Linee-guida C39-C43 e in particolare:

- "C39 - Viene definita come "falda" una massa idrica che circola all'interno di un "acquifero", il quale a sua volta viene definito come "corpo permeabile in grado di immagazzinare e trasmettere un quantitativo idrico tale da fornire l'approvvigionamento d'acqua per i diversi usi legati all'attività umana": Ai fini della caratterizzazione del sito non costituiscono falda i livelli discontinui e/o di modesta estensione presenti all'interno e sulla superficie di una litozona a bassa conducibilità idraulica.

- C40 - Viene definita "falda confinata" una falda in cui il minimo livello piezometrico ha una quota superiore a quella del tetto dell'acquifero corrispondente.
- C41 - Ai fini della scelta dell'impermeabilizzazione di fondo, nei mezzi a porosità interstiziale viene definito "protetto" un acquifero in cui il livello massimo della falda è separato dall'esterno da un orizzonte continuo avente spessore l e conducibilità idraulica k tale che il loro rapporto risulti sempre $k/L < 10^{-10} s^{-1}$. Lo spessore L non può essere inferiore a 5 m nel caso di acquifero confinato e a 10 m nel caso di acquifero non confinato. I requisiti devono essere verificati sulla base di specifiche indagini estese a una porzione significativa di territorio.
- C42 - Viene definito "vulnerabile" un acquifero che non presenta le caratteristiche di cui alla linea guida C41. Nei mezzi a porosità fissurale o carsificati la circolazione idrica sotterranea viene considerata in ogni caso come assimilabile a quella di un acquifero vulnerabile."

4.2 Criteri per la definizione del grado di protezione di un acquifero

A livello generale la distinzione tra le tipologie di acquifero sono basate sulla diversa sensibilità alla contaminazione, alle risposte idrauliche dei pozzi e all'aliquota di ricarica verticale.

Sulla base delle considerazioni precedentemente indicate, esistono differenti approcci per definire non confinato o confinato un acquifero; altri criteri possono essere utilizzati per distinguere un acquifero semiconfinato da uno confinato.

In ordine di applicazione questi criteri sono di seguito riassunti.

Criterio geologico

L'approccio geologico classico è rappresentato dall'utilizzo delle cartografie geologiche integrate da prospezioni dirette e indirette che possono consentire di ricostruire la geometria dei corpi geologici sepolti.

La costruzione di sezioni geologiche permette di valutare la separazione tra diversi corpi geologici e di individuare i settori dove può realizzarsi una discontinuità che consente l'intercomunicazione di eventuali fluidi circolanti.

Criterio idrogeologico

I litotipi che costituiscono un acquifero possono essere di varia natura e presentare eterogeneità e anisotropia; queste condizioni possono caratterizzare anche gli orizzonti confinanti.

Come termine di riferimento potremmo considerare di almeno due ordini di grandezza la differenza di valori della conducibilità idraulica dell'acquifero da quelli dell'acquitaro o acquiclude limitrofo.

Oltre all'approccio idrogeologico classico, si tratta poi di valutare alcuni elementi tipici che caratterizzano il diverso grado di confinamento delle falde. Questi elementi possono essere così sintetizzati:

- livello piezometrico delle falde: nelle falde confinate la quota assunta dal livello piezometrico è superiore a quella del tetto dell'acquifero;
- variazioni temporali del livello piezometrico: le oscillazioni del livello piezometrico in una falda non confinata sono a scala annuale molto più pronunciate rispetto a quelle di

una falda confinata, ma quest'ultima può tuttavia far registrare in un pozzo variazioni giornaliere dovute all'effetto barometrico;

- coefficiente di immagazzinamento: dato il significato di questo parametro, il valore assunto è molto più alto nelle falde non confinate e superiore a 10^{-1} , mentre nelle falde non confinate è inferiore a 10^{-4} ;
 - cono di depressione: visto il valore assunto dal coefficiente di immagazzinamento e le condizioni di ricarica, il cono di depressione è anche di oltre un ordine di grandezza superiore nelle falde confinate rispetto a quelle non confinate;
 - ricarica verticale: mentre in un acquifero non confinato avviene una ricarica conseguente all'infiltrazione diretta di acque, creandosi in tal modo un gradiente idraulico tra le zone di alimentazione e quelle di recapito, il passaggio di acque Q (m^3/s) all'interno di orizzonti confinanti (drenanza) su un'area A (m^2) è dovuto alla differenza di quota piezometrica tra le falde Δh (m) ed è direttamente proporzionale alla conducibilità idraulica del mezzo semipermeabile k' (m/s) e inversamente allo spessore di quest'ultimo b' (m) secondo la relazione:
- $$Q = k' \frac{\Delta h}{b'} A \quad (4.1)$$
- velocità di flusso: generalmente nelle falde non confinate si ha un gradiente idraulico maggiore e pertanto si registrano condizioni di maggiore velocità del flusso idrico, che può essere misurata anche mediante l'utilizzo di tecniche di tipo idrochimico.

Criterio idrochimico

Anche questo criterio integra i precedenti in quanto si può utilizzare una parametrizzazione basata sull'idrochimica classica o su quella isotopica per mezzo di ^3H e ^{14}C e in particolare possono essere utilizzati i seguenti elementi:

- facies idrochimica: generalmente nelle falde non confinate si hanno composti tipici di forme ossidate (ad esempio nitrati e solfati), mentre in quelle confinate si hanno quelle ridotte (ad esempio ammoniaca e idrogeno solforato);
- tempo di residenza: le acque nelle falde libere sono sottoposte a un veloce ricambio, mentre è più lento quello delle falde confinate.

4.3 Metodi utilizzabili per la distinzione tra acquifero semiconfinato e confinato

Mentre le misure e i dati relativi alla distinzione tra acquifero non confinato e confinato sono numerosi, sono invece più scarsi quelli relativi alla distinzione tra acquifero semiconfinato e confinato.

Considerando il significato pratico di questa distinzione, ai fini della tutela delle acque captate, possono essere infatti utilizzati due tipi fondamentali di approccio:

Metodo idrogeologico

Questo metodo è basato sul calcolo del fattore r/B delle falde semiconfinite, derivante dall'elaborazione dei dati di una prova di pompaggio in un pozzo.

Adottando ad esempio il metodo di interpretazione di Hantush, il valore di r/B deve essere molto ridotto e quindi la curva di Hantush deve in pratica coincidere con quella di

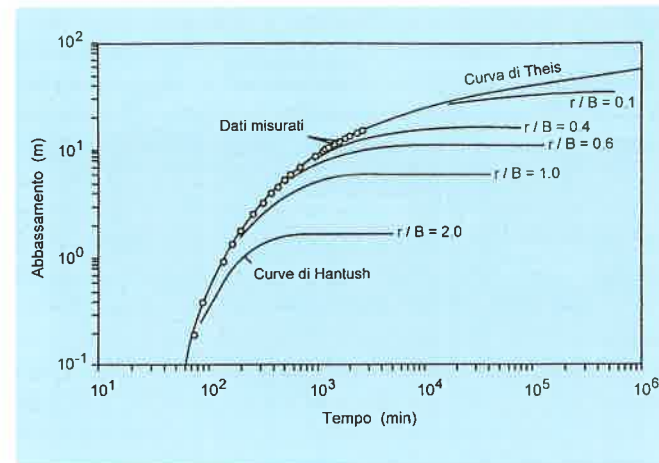


Fig. 4.4 - Curve teoriche per acquiferi semiconfinato (Hantush) e confinato (Theis)

Theis; una buona approssimazione di ciò avviene quando i dati sperimentali si allineano su curve con $r/B < 0.01$ e quindi l'acquifero tende a essere in pratica confinato (Fig. 4.4). Un altro parametro utilizzabile, ma di maggiore sensibilità e quindi di scarsa affidabilità pratica, è costituito dal coefficiente di immagazzinamento che dovrebbe essere inferiore a 10^{-4} nelle falde confinate e invece superiore a tale valore in quelle semiconfinite.

Infine una prova di interferenza del pompaggio può essere eseguita in pozzi che captano da diversi acquiferi e ciò può essere eseguito sia in pozzi singoli con filtri posti a differenti profondità che con pozzi all'interno di uno stesso perforo (pozzi a grappolo o cluster).

Se non si registrano abbassamenti nella falda soprastante a quella in pompaggio si ottiene un dato sperimentale che indica una mancanza di intercomunicazione tra le falde.

Metodo idrochimico

Questo metodo si basa sull'utilizzo di isotopi ambientali quali ^3H e ^{14}C che consentono di calcolare il tempo di residenza delle acque nel sottosuolo; il primo isotopo permette una differenziazione dell'ordine delle decine d'anni, il secondo anche delle centinaia e migliaia.

Nel calcolo dei tempi di trasferimento dalla falda superiore rispetto a quella inferiore si adotta come riferimento un tempo di 40 anni per individuare una differenziazione tra acquifero semiconfinato e confinato (U.S. Environmental Protection Agency, 1991).

Questa differenziazione viene introdotta sia per fattori relativi alla metodica di indagine (ad esempio connesso al limite di applicabilità del ^3H) che per quelli dovuti alla pressione antropica sull'acquifero (tempo di inizio di una massiccia urbanizzazione del territorio e quindi della messa in circolo di sostanze contaminanti).

Si può introdurre pertanto la seguente differenziazione:

- se il tempo di transito calcolato in base ai parametri idrogeologici è inferiore a 40 anni e/o se il ^3H è superiore a $1-2$ TU si classifica un acquifero come semiconfinato;
- se il tempo di transito calcolato in base ai parametri idrogeologici è superiore a 40 anni e/o se il ^3H è inferiore a $1-2$ TU si classifica un acquifero come confinato.

Come illustrato in precedenza, nell'acquifero semiconfinato avviene un flusso verticale diffuso di drenanza che apporta le acque e quindi trasporta anche eventuali inquinanti dalla

falda soprastante. Diversamente, in acquiferi confinati il flusso di drenanza può avvenire solo in settori localizzati, dove si verifica una interruzione del corpo geologico poco permeabile che opera il confinamento.

Ai fini della perimetrazione delle aree di salvaguardia si potrà quindi indicare come protetto un acquifero confinato o un acquifero semiconfinato dove però il tempo di attraversamento dell'orizzonte semipermeabile sia superiore a 40 anni. Si raccomanda comunque di usare un approccio integrato in cui si confrontino i risultati dell'applicazione di diversi criteri di valutazione.

Ciò in ragione dell'incertezza dei valori ricavati dalle indagini, della presenza di eterogeneità e anisotropia del mezzo geologico e delle limitate disponibilità tecnico-economiche. Un'ulteriore possibilità è costituita dall'individuazione di sostanze di origine antropica, come ad esempio i composti organici di sintesi.

Per le ragioni sopra esposte, in assenza di intercomunicazione tra le falde dovuta a una non idonea modalità di completamento del pozzo, si può ritenere che la loro presenza sia la testimonianza di una situazione di acquifero semiconfinato.

4.4 Criteri per la definizione delle aree di salvaguardia nelle captazioni da acquifero protetto

Prima della definizione dei criteri di perimetrazione delle aree di salvaguardia degli acquiferi protetti si propone una rassegna critica dell'applicabilità di quelli adottati per gli acquiferi vulnerabili.

Si ricorda che gli obiettivi generali a cui deve rispondere la realizzazione delle aree di salvaguardia sono rappresentati dalla possibilità di:

- disporre di un tempo sufficiente di transito della contaminazione perché sia individuata ed eliminata la fonte, prima dell'arrivo a un pozzo di concentrazioni significative;
- ridurre il carico inquinante in seguito a diluizione-dispersione della massa e suo arrivo al pozzo eventualmente al di sotto di una concentrazione prestabilita;
- proteggere parzialmente o globalmente la zona di influsso di una captazione, cioè l'area in cui un pozzo è in grado di far risentire della depressione provocata dal pompaggio.

Gli elementi indicati sono abbastanza particolari per quanto riguarda un acquifero protetto.

Nel primo caso la circolazione idrica sotterranea si realizza con una velocità generalmente bassa, questo accade soprattutto negli aquitards, e quindi si può avere a disposizione un tempo di intervento più lungo rispetto a quanto accade in un acquifero vulnerabile.

Nel secondo caso la già citata lunghezza dei percorsi e la presenza di argille possono determinare una forte riduzione delle concentrazioni; tuttavia in un mezzo fessurato la presenza di discontinuità può diminuire sostanzialmente questa capacità di attenuazione.

Nel terzo caso infine la zona interessata dal raggio di esplorazione in un acquifero confinato è molto estesa e si possono raggiungere anche dimensioni dell'ordine del km; in tal caso le esigenze di protezione sono di difficile realizzazione pratica.

Di seguito sono analizzati i criteri adottati nella tutela delle opere di captazione e riportati in Beretta G.P., 1992.

Criterio geometrico

L'adozione del criterio geometrico (ad esempio i 10 m delle zone di tutela assoluta del Dlgs 152/99) penalizza in modo rilevante il territorio senza conseguire il risultato di proteggere le acque captate dalla contaminazione.

Pur essendo molto semplice da utilizzare è possibile un suo utilizzo solo in una prima fase e in attesa di ulteriori indagini, in quanto non risultano considerate le modalità di alimentazione della falda.

Criterio dell'influsso del pozzo

In falde semiconfinite o confinate l'estensione della zona di influenza di un pompaggio è superiore a quella in falda libera, anche di oltre un ordine di grandezza, in quanto si possono registrare raggi di esplorazione di qualche km.

La depressione piezometrica indotta nella falda captata produce un incremento della drenanza e un potenziale passaggio di inquinanti dalla falda soprastante (più vulnerabile) a quella sottostante (più protetta).

Mentre nelle falde semiconfinite questo fenomeno è misurabile e comunque può essere importante, nelle falde confinate lo scambio per drenanza risulta trascurabile e talvolta non può essere ragionevolmente quantificato.

Generalmente non si dispone di molti punti di misura degli abbassamenti e quindi il calcolo delle aree di salvaguardia può essere eseguito solo dal punto di vista teorico, ma senza verifiche sperimentali.

In qualche caso il basso gradiente idraulico facilita l'approccio in quanto diventa praticamente trascurabile l'effetto prodotto sulla morfologia del cono di depressione e si può quindi utilizzare l'approccio per le falde in assenza di moto proprio.

Anche il criterio del raggio di influenza del pozzo in pompaggio risulta discutibile in termini di efficacia nella tutela delle risorse idriche in quanto, a causa delle caratteristiche idrauliche, aumenta l'area da salvaguardare quando diminuisce la drenanza dalla falda soprastante e quindi l'eventuale passaggio di contaminanti.

Si avrebbe quindi una tutela distribuita su un'area meno ampia in una falda semiconfinata rispetto a una confinata, meno vulnerabile all'inquinamento.

Criterio temporale

Per valutare il tempo di trasferimento di un contaminante dalla sorgente verso l'opera di captazione, materializzato da linee isocrone, è necessario eseguire un calcolo che tenga in considerazione il tragitto in parte con componente verticale (negli orizzonti poco permeabili) e in parte orizzontale (in quelli permeabili) di un inquinante trasportato dalle acque sotterranee.

Questi calcoli sono basati sulla componente avvertiva del moto e in termini di composti conservativi (senza interazioni chimico-fisico-biologiche con la matrice dell'acquifero); tali condizioni si traducono in un approccio sufficientemente cautelativo.

Come nel caso del criterio del raggio di influenza del pozzo in pompaggio, anche questo metodo potrebbe essere discutibile in termini di tutela efficace delle risorse idriche, in quanto aumenta l'area da salvaguardare quando diminuisce la drenanza dalla falda soprastante e quindi l'eventuale passaggio di contaminanti.

Criterio idrogeologico

Si tratta di utilizzare i limiti di flusso conosciuti per poter definire le aree che contribuiscono all'alimentazione di una falda direttamente intercettata da un pozzo.

Possono allora manifestarsi limiti in corrispondenza di situazioni dovute alla geologia (rocce impermeabili) o alle condizioni idrauliche (presenza di corsi d'acqua).

Nelle falde confinate si possono inoltre avere gradienti idraulici trascurabili o non trascurabili.

Nel primo caso possono essere utilizzate le soluzioni relative alle falde senza moto proprio, nel secondo invece la differenza diventa rimarchevole.

Inoltre nelle falde protette, che traggono la loro alimentazione da aree distanti, generalmente non si conosce nel dettaglio la provenienza delle acque sotterranee, a causa della scarsità di informazioni circa la struttura idrogeologica e quindi non si hanno dati circa l'eventuale presenza di spartiacque. Pertanto l'applicazione del criterio è limitato alle zone di protezione.

Criterio del potere autodepurante

Questo criterio è il più completo nelle strategie di protezione delle acque captate da un pozzo, ma la molteplicità dei fattori che intervengono nella definizione della "capacità di attenuazione" sono di difficile comprensione e parametrizzazione.

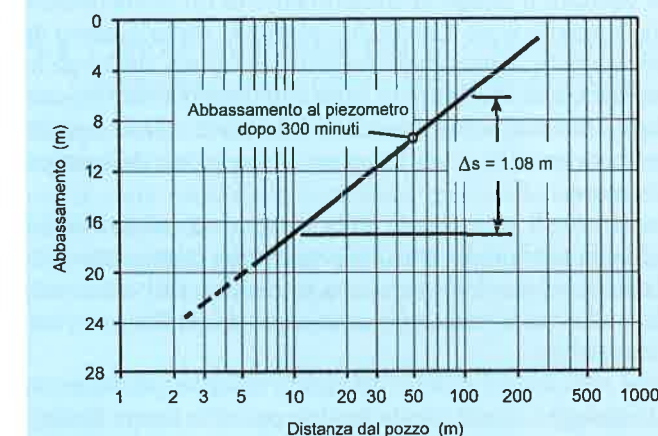
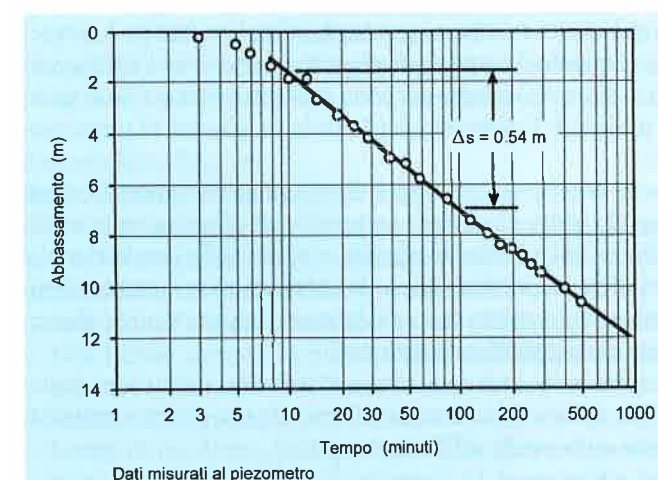


Fig. 4.5 - Estensione di un cono di depressione in un pozzo in pompaggio: curve abbassamento - tempo e abbassamento - distanza (la pendenza della prima curva è la metà della seconda)

Si tratta infatti di definire le reazioni chimico-fisiche e biologiche che intervengono nel ridurre le concentrazioni di un inquinante fino a raggiungere un valore inferiore a quella massima ammissibile in corrispondenza dell'opera di captazione.

Un'applicazione su larga scala di questo approccio non risulta ancora possibile e pertanto in pratica è poco utilizzato.

Constatati i pregi e limiti dei diversi criteri, possono essere proposte diverse soluzioni al problema della perimetrazione di aree di salvaguardia.

Innanzitutto si osserva che possono presentare possibilità di applicazione il criterio dell'influsso del pompaggio e temporale (U.S. Environmental Protection Agency, 1991) e che è possibile ancora differenziare l'approccio a seconda che vi sia un gradiente idraulico di entità trascurabile oppure non trascurabile, ponendo come limite di transizione tra le due condizioni il valore di $5 \cdot 10^{-4}$.

4.4.1 Criterio dell'influenza del pozzo

Nel caso di valori del gradiente idraulico trascurabile, i metodi di calcolo suggeriti sono sperimentali e teorici.

Tra i metodi sperimentali possono essere utilizzati:

- la curva abbassamenti-distanza (che individua il raggio di influenza in corrispondenza dell'abbassamento nullo);
- la curva abbassamenti-tempo (che ha una pendenza doppia rispetto a quella della curva abbassamenti-distanza come indicato in Fig. 4.5).

Nell'ambito dei metodi teorici invece si possono adottare:

- metodo basato sulla relazione di Dupuit-Thiem (per condizione di regime stazionario);
- metodo basato sulla relazione di Theis (per condizioni di regime transitorio e introducendo un tempo corrispondente a quello medio di funzionamento del pozzo).

Nel caso di valori del gradiente idraulico non trascurabile è suggerito l'approccio di Todd D.K., (1980) per mezzo del quale è possibile definire la forma assunta dalla depressione piezometrica, in particolare per quanto riguarda il fronte di richiamo e la posizione del punto di stagnazione (Fig. 4.6).

Risulta invece indefinito il limite a monte della zona da delimitare che viene generalmente assunto in corrispondenza del primo limite idrogeologico.

Una ulteriore limitazione è rappresentata dalla impossibilità di considerare il flusso di drenanza e quindi il metodo è applicabile alle falde confinate.

4.4.2 Criterio temporale

Anche con questo criterio in presenza di un gradiente idraulico basso, possono essere utilizzate le soluzioni per pozzi in falde senza moto proprio.

Per quanto attiene al calcolo delle isocrone possono essere utilizzati sostanzialmente tre approcci:

- calcolo dei tempi lungo le linee di flusso (secondo ad esempio una procedura riportata in Beretta G.P., Pagotto A., 1984);
- metodo del cilindro (basato sul rapporto tra volume d'acqua emunto da un pozzo e volume di acquifero svuotato, rappresentato da un cilindro secondo lo schema di Fig. 4.7);
- metodo semianalitico (sviluppato da Blandford T.N.,

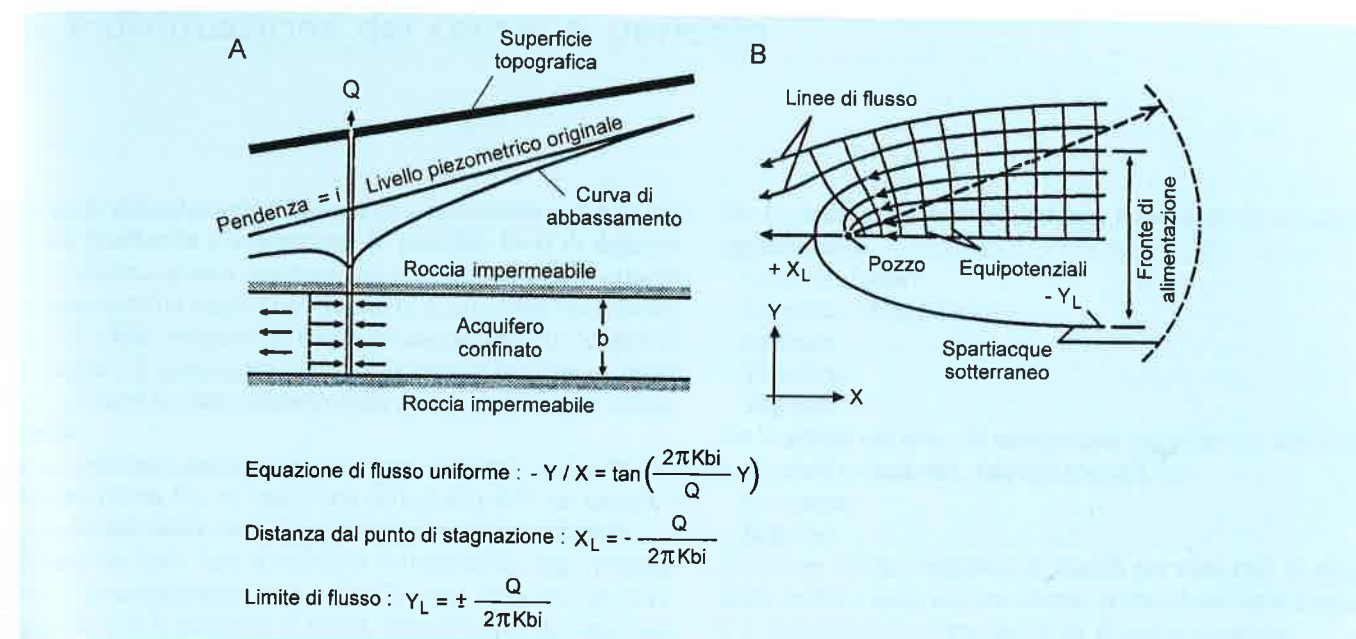


Fig. 4.6 - Campo di flusso in un pozzo in falda inclinata

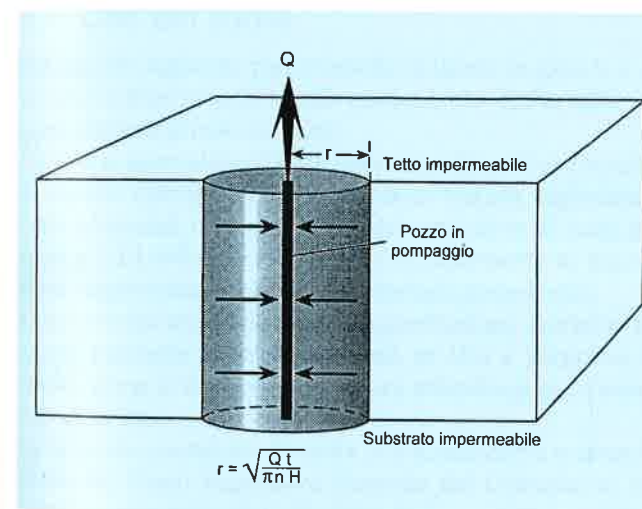


Fig. 4.7 - Applicazione del metodo dello svuotamento del cilindro per l'applicazione del criterio del tempo di trasferimento in un pozzo in falda orizzontale

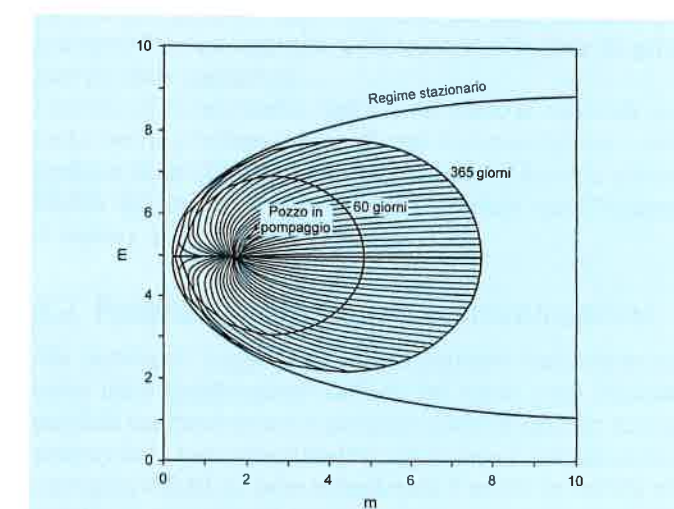


Fig. 4.8 - Applicazione del metodo del percorso a ritroso del cilindro per l'applicazione del criterio del tempo di trasferimento in un pozzo in falda inclinata

Huyakorn P.S., 1990 sulla base di Bear J., 1979 e inserito all'interno del codice numerico WHPA).

Nel caso di gradiente idraulico non trascurabile, si possono invece considerare i seguenti approcci:

- metodo analitico di Bear J., Jacob M., 1965 che è stato riproposto in C.N.R.-G.N.D.C.I., 1988;
- metodo semianalitico (lo stesso sviluppato da Blandford T.N., Huyakorn P.S., 1990 indicato in precedenza che include la possibilità di considerare la drenanza);
- metodo del percorso a ritroso (reverse path) utilizzabile mediante il codice numerico WHPA (Fig. 4.8).

I metodi basati sul criterio temporale richiedono un'elaborazione relativamente più complessa rispetto a quella basata sull'influsso del pompaggio del pozzo, ma presentano il vantaggio di poter individuare un limite anche a monte dell'opera di captazione.

Si ricorda che in alcune particolari condizioni può essere perimetrata una zona di rispetto rappresentata dall'involuppo di aree calcolate per diverse falde (Fig. 4.9).

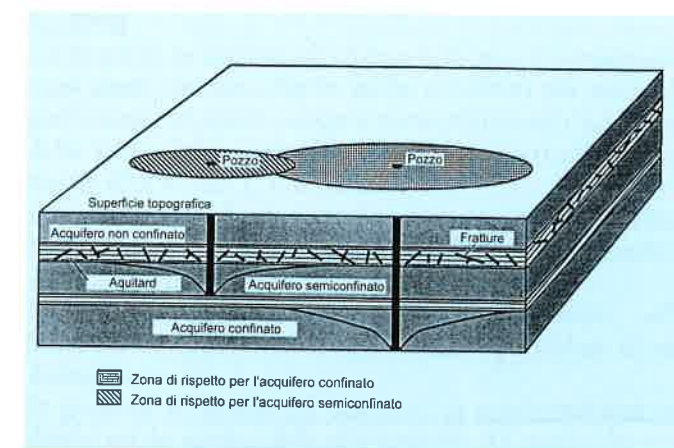


Fig. 4.9 - Schema della sovrapposizione di aree di salvaguardia in pozzi che captano da un acquifero semiconfinato e da un acquifero confinato

5. Individuazione dei centri di pericolo

Dopo la delimitazione delle aree di salvaguardia segue un'attività finalizzata a evidenziare le possibili fonti di degrado della risorsa, questa operazione è assai importante in quanto si deve caratterizzare l'uso del suolo e, una volta individuate le potenziali sorgenti di contaminazione definite "centri di pericolo", è necessario valutare la possibilità che si possa manifestare un loro impatto sulla qualità delle acque sotterranee.

L'operazione considerata può essere realizzata in due fasi. In una prima fase si opera una cartografia dell'uso attuale e passato del suolo mediante informazioni e dati esistenti. In una seconda fase si valuta la compatibilità degli insediamenti eventualmente presenti all'interno delle aree di salvaguardia con le esigenze di tutela, considerando gli inquinanti attesi anche in relazione alla loro attività.

5.1 Uso del suolo

Per quanto riguarda questo aspetto si hanno in genere a disposizione diverse fonti di informazione, che molte volte sono però disperse presso vari Enti.

La prima operazione da eseguire consiste nell'acquisizione di idonea cartografia, come la carta tecnica regionale, le carte comunali (comunque con denominatore di scala inferiore a 1:10.000) e di foto aeree, preferibilmente in due versioni (aggiornate e relative a un periodo precedente).

L'uso combinato delle due documentazioni (carte e foto aeree) permette di verificare l'uso in atto e pregresso del suolo, come è ovvio con maggiore attenzione per l'area di salvaguardia.

La seconda operazione consiste nell'acquisizione e consultazione del Piano Regolatore Generale del Comune; in esso infatti vengono riportati gli elementi di uso attuale del suolo e le previsioni di piano.

L'analisi critica degli elementi riportati sul PRG consente un primo approccio alle esigenze di tutela in quanto vengono individuate le grandi tipologie di attività antropiche (residenziale, commerciale, industriale o agricola), potendosi in tal modo dimensionare le successive indagini.

In effetti si deve in seguito passare in molti casi a un dettaglio superiore, come ad esempio in presenza di un'area industriale.

Le fonti da cui acquisire i dati sono molteplici, partendo ad esempio dai censimenti ISTAT; di seguito sono riportate alcune indicazioni.

Per quanto riguarda i sistemi di smaltimento delle acque:

- Comuni e Consorzi di depurazione, Aziende speciali, etc;
- Provincia
- Regione
- ARPA
- Autorità di bacino.

Per quanto riguarda le attività produttive:

- Comuni
- ARPA
- ASL o USL
- Camera di Commercio e Unione industriali
- INPS

Per l'uso di pesticidi e fertilizzanti, nonché per le attività di spandimento

- Consorzi Agrari
- Consorzi Fitosanitari
- Comune
- Provincia
- Regione

Per le attività estrattive, di smaltimento dei rifiuti o le bonifiche:

- Comuni e Consorzi, Aziende speciali, etc;
- Provincia;
- Regione.

Si ricorda infine l'esigenza di analisi per elementi in previsione anche a scala sovracomunale come ad esempio impianti di depurazione e importanti vie di comunicazione.

Visti il rilevante numero delle informazioni da trattare e l'esigenza di disporre di un idoneo supporto cartografico, è preferibile una gestione informatizzata dei dati; talora si può implementare un apposito GIS dedicato alle aree di salvaguardia delle captazioni.

L'attività di ricostruzione dell'uso del suolo si conclude pertanto con la predisposizione di una documentazione cartografica e di un data-base da utilizzare per definire la compatibilità dell'uso pregresso, attuale e previsto, con l'esigenza di captare acque di idonea qualità.

5.2 Potenziali sorgenti di contaminazione

Alle potenziali sorgenti di contaminazione individuate nel corso della ricostruzione dell'uso del suolo sono associate possibili contaminazioni e pertanto si dovrà valutare successivamente la loro compatibilità con le aree di salvaguardia.

Operando infatti su aree urbanizzate è molto probabile che insediamenti e attività ricadano all'interno delle zone delimitate e quindi si sia in presenza di "acquiferi urbani".

Per "acquifero urbano" si può intendere un acquifero interessato da captazioni con presenza di aree già edificate e urbanizzate per almeno il 20% della zona di rispetto ristretta e/o il 30% della zona di rispetto allargata o il 25% della somma delle zone di rispetto ristretta e allargata (Muratori A., 1988).

Gli elementi da valutare all'interno delle aree di salvaguardia sono quelli che sono riferiti anche a territori più vasti e in particolare può essere adottata come riferimento la legenda delle Carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (C.N.R.-G.N.D.C.I., 1988).

Con riferimento alla cartografia realizzata, una volta definita la presenza di un centro di pericolo deve essere valutata la sua effettiva pericolosità per le acque sotterranee.

Per quanto riguarda l'insediamento residenziale, nella Tabella 5.1 vengono riportate le sostanze pericolose di uso domestico.

In generale la Tabella 5.2 definisce, in corrispondenza dei diversi usi del suolo e delle differenti attività, quelle che possono essere le sostanze attese come inquinanti delle acque sotterranee; allo stesso modo la Tabella 5.3 è riferita solo al comparto industriale, con riferimento alle lavorazioni classificate dall'ISTAT.

Prodotto	Composto tossico o nocivo
Antigelo (benzina e sistemi refrigeranti)	Metanolo, glicole etilenico
Fluidi di trasmissione automatica	Derivati dal petrolio, xilene
Batterie	Acido solforico
Sgrassanti per pavimenti e garage	Derivati dal petrolio, alcool, glicole etilenico
Sgrassanti per macchine e materiali	Solventi clorurati, toluene, fenoli, dicloropercloroetilene
Flussi da macchine e radiatori	Solventi organici, chetoni, butanolo, glicole etilenico
Fluidi idraulici (fluidi per freni)	Idrocarburi, fluorocarburi
Oli per motori e residui di oli	Idrocarburi
Benzine e combustibili	Idrocarburi
Gasolio, kerosene, oli combustibili	Idrocarburi
Grassi, lubrificanti	Idrocarburi
Antiruggine	Fenoli, metalli pesanti
Detergenti per vetture	Alchibenzene sulfonati
Sostanze per pulizia vetture	Derivati dal petrolio, idrocarburi
Asfalti e sigillanti a base catramosa	Idrocarburi
Pitture, vernici, coloranti	Metalli pesanti, toluene
Pitture e diluenti	Acetone, benzene, toluene, butilacetato, metolchetoni
Pitture e solventi per vernici, sostanze per togliere lucido	Cloruro di metilene, toluene, acetone, xilene, etanolo, benzene, metanolo
Smacchianti	Idrocarburi, toluene, acetone, metanolo, glicole etilenico, metil alchilchetone
Trattamento striature di pavimenti e mobili	Xilene
Pulizia metalli	Derivati del petrolio, isopropanolo, nafta
Rimozione di sporco e smacchianti	Idrocarburi, benzene, tricloroetilene, I, I, I-tricloroetano
Altri solventi	Acetone, benzene
Sali	Concentrazione di sodio
Refrigeranti	I, I, 2-tricloroetano, I, 2, 2-trifluoroetano
Rimozione di detriti e catrame	Xilene, derivati dal petrolio
Pulizia della casa	Xilene, glicole etilenico, isopropanolo
Pulizia di tubazioni	I, I, I-tricloroetano
Pulizia di toilette	Xilene, sulfonati, fenoli clorurati
Pulizia di fosse settiche	Tetracoloetilene, diclorobenzene, cloruro di metilene
Disinfettanti	Cresolo, xilenoli
Pesticidi	Naftalene, fosforo, xilene, cloroformio, metalli pesanti, solventi clorurati
Composti chimici per la fotografia	Fenoli, solfito di sodio, cianuri, alogenuri di ferro, bromuro di potassio
Inchiostri	Metalli pesanti, fenolo, formaldeide
Conservanti del legno (creosoto)	Pentaclorofenolo
Pulizia di piscine	Ipcloclorito di sodio
Soda caustica e liscivia	Idrossido di sodio
Pulizia di gioielli	Cianuro di sodio

Tabella 5.1 - Potenziali componenti pericolosi di prodotti casalinghi (da U.S. Environmental Protection Agency, 1993)

All'interno di un'area urbanizzata una rassegna dei centri di pericolo in relazione agli usi del territorio, alle attività e alle funzione è altresì riportata in Tab. 5.4.

Come precedentemente indicato, per quanto attiene alla reperibilità dei dati relativi alla presenza di centri di pericolo possono essere censiti i dati presenti presso gli enti che si occupano di controlli ambientali e sanitari (Regione,

Provincia, Comune, USL, ARPA), presso Associazioni di categoria (Unione Industriali, Associazioni agricole, Camere di Commercio, etc.) o Enti previdenziali (INPS).

La valutazione della compatibilità della presenza di queste attività e insediamenti viene condotta all'interno della gestione territoriale connessa alla protezione statica e dinamica che saranno considerate successivamente.

Sorgente	Contaminante per la salute umana, per l'ambiente o estetico ^{1,2,3}
Naturale	
Rocce e suoli	Contaminanti estetici: Ferro e ferro-batteri; manganese; calcio e magnesio (durezza dell'acqua) Contaminanti per la salute umana e per l'ambiente: Arsenico, amianto, metalli, cloruri, fluoruri, batteri-solfato riduttori e altri microrganismi Eccessivi valori di sodio, batteri, virus e acque acide.
Acqua contaminata	Batteri
Materia organica in putrefazione	Radionuclidi (radon, ecc.)
Gas radioattivi di origine geologica	Intrusione di acqua salata/acqua salmastra (o intrusione di altra acqua di bassa qualità); contaminazione da varie sostanze inghiottite in rocce calcaree
Eventi e complessi idrogeologici	
Agricola	
Zone di pascolo e zone di sepoltura di animali	Liquame di bestiame: nitrati, fosfati; cloruri; sostanze utilizzate per la lotta contro insetti, parassiti batterici, virali e funghi su bestiame; batteri coliformi ⁴ e non coliformi; virus
Area di accumulo e di spandimento del letame	Liquame di bestiame, nitrati
Aree coltivate e zone irrigate	Antiparassitari ⁵ , fertilizzanti ⁶ , combustibili e oli provenienti dalle attrezzature agricole meccanizzate
Aree di immagazzinamento e contenitori di sostanze chimiche	Residui di antiparassitari ⁵ e di fertilizzanti ⁶
Zone di stazionamento di macchine agricole	Scarichi di veicoli ⁷ e residui di saldatura
Pozzi agricoli di drenaggio e canali	Antiparassitari ⁵ , fertilizzanti ⁶ , batteri, acqua salata (in zone in cui l'interfaccia acqua dolce/acqua salata è a bassa profondità e dove la superficie freatica è abbassata da canalizzazione, pompaggio o altre cause)
Residenziale	
Manutenzione domestica ordinaria e hobby	Prodotti domestici comuni ⁸ . Detersivi domestici, detersivi per forni; detersivi e fluidi per pulizia a secco, detersivi per bagno, disinfettanti, pulitori per metalli e gioielli, lucidi per scarpe, detergenti sintetici, candeg-gianti, smacchiatori, solventi, liscivia o soda caustica, antiparassitari domestici ⁹ prodotti chimici per la foto-grafia, inchiostro e altri prodotti comuni. Trattamento di mobili e muri: Pitture; vernici, scoloranti, tinture, conservanti per legno (creosoto) diluenti per vernici e lacche, sverniciatori, solventi per sverniciatura di mobili e pavimenti Riparazioni meccaniche e altri prodotti di manutenzione: rifiuti di autoveicoli ⁷ , oli, gasolio, cherosene, com-bustibile per riscaldamento, sgrassanti per strade e rimesse, sgrassanti per metalli, catrame per asfalti e per tetti, solventi per catrame, lubrificanti, antiruggine, detergenti per automobili, cere per carrozzerie di auto-mobili, sali e refrigeranti
Prati e giardini	Fertilizzanti ⁵ , diserbanti e altri antiparassitari usati per la manutenzione di giardini e prati ¹⁰
Piscine	Prodotti chimici usati per la manutenzione delle piscine ¹¹
Sistemi settici, fosse biologiche, pozzi neri e fogne	Batteri coliformi e non coliformi ⁴ , virus, nitrati, metalli pesanti, detergenti sintetici, oli per motori e da cucina, sbiancanti, antiparassitari ^{9,10} , vernici, diluenti, prodotti chimici per fotografia, prodotti chimici per pisci-ne ¹¹ , sostanze chimiche per pulizia di fosse settiche e pozzi neri ¹² , elevate concentrazioni di cloruri, solfati, calcio, magnesio, potassio e fosfati
Serbatoi interrati	Combustibile per riscaldamento domestico
Appartamenti e condomini	Sostanze chimiche per la manutenzione di piscine ¹¹ , antiparassitari per la manutenzione di prati e giardini, sostanze antiparassiti, formiche e roditori ¹⁰ , rifiuti domestici pericolosi ⁹
Strutture pubbliche	
Uffici, scuole e terreni pubblici	Solventi, antiparassitari ^{9,10} , acidi, sostanze alcaline, oli, rifiuti di macchine e autoveicoli, gasolio e nafta per riscaldamento, rifiuti domestici generici
Parchi	Fertilizzanti ⁶ , diserbanti ¹⁰ , insetticidi ⁹
Aree pubbliche e residenziali infestate da insetti, formiche e parassiti vari	Antiparassitari ⁵
Autostrade, manutenzione di strade e fondenti stradali	Diserbanti in autostrade ¹⁰ , sali per strade (cloruro di sodio e di calcio) sali antiagglomeranti per strade (fer-rocianuro ferrico e di sodio), sali anticorrosivi per strade (fosfati e cromati), scarichi di automobili ⁷
Impianti di depurazione di acque nere e impianti fognari	Acqua di scarico comunale, sedimenti fangosi ¹⁴ e sostanze chimiche di trattamento delle acque
Bacini di chiarificazione e di trattamento delle acque nere	Acqua di fogna; nitrati e altri rifiuti liquidi, contaminanti microbiologici
Terreni trattati con acque di scarico o con fanghi biologici	Sostanze organiche, nitrati, sali inorganici, metalli pesanti, batteri coliformi e non coliformi ⁴ , virus, sedimen-ti fangosi ¹⁴ , rifiuti non pericolosi ¹⁵
Zone di drenaggio e di accumulo di acque bianche	Prodotti della lisciviazione, benzine, oli e altri derivati del petrolio, contaminanti microbiologici

Tabella 5.2

Sorgente	Contaminante per la salute umana, per l'ambiente o estetico ^{1,2,3}
Flussi di acque miste (nere e bianche)	Acqua di scarico comunale, sedimenti fangosi ¹⁴ e sostanze chimiche di trattamento delle acque, benzine, oli e altri derivati del petrolio, sali per strade, contaminanti microbiologici
Impianti di riciclaggio	Residui di rifiuti solidi residenziali o commerciali
Discariche di rifiuti solidi urbani	Contaminanti chimici organici e inorganici, rifiuti domestici ⁸ e commerciali ¹³ , nitrati, oli e metalli
Zone per lo stoccaggio all'aperto o al coperto dei rifiuti	Contaminanti chimici organici e inorganici, rifiuti domestici ⁸ e commerciali ¹³ ,
Inceneritori comunali	Metalli pesanti, idrocarburi, formaldeide, metano, etano, etilene, acetilene, composti a base di zolfo e nitrati
Pozzi per acqua pubblici, domestici, agricoli, pozzi dimessi e abbandonati, teste dei pozzi, pozzi non cementati, pozzi di monitoraggio	Flussi d'acqua superficiale, effluenti da impianti zootecnici, fosse settiche, benzine, olio usato per motori, sali per strade
Bacini di raccolta e pozzi asciutti	Flussi di acqua piovana, sversamenti di liquidi, oli usati, sostanze antigelo, petrolio e altri derivati del petrolio, sali per strade, antiparassitari ⁵ e diverse altre sostanze
Pozzi di drenaggio	Antiparassitari ⁹⁻¹⁰ , batteri
Pozzi con scambio d'acqua tra acquiferi differenti, infiltrazioni, infiltrazioni di acqua di mare in aree costiere	Acqua marina, acqua eccessivamente mineralizzata
Ricarica artificiale degli acquiferi	Flussi di acqua piovana, eccesso di acqua per irrigua, acqua di raffreddamento, flussi di acque fognarie trattate, altre sostanze che possono contenere contaminanti come nitrati, metalli, detergenti, composti organici sintetici, batteri e virus
Aeroporti e campi di atterraggio abbandonati	Carburanti per aeromobili, sostanze antighiaccio, gasolio, solventi clorurati, scarichi di veicoli ⁷ , carburanti per riscaldamento, rifiuti provenienti dagli edifici ¹³
Cimiteri	Percolati, sostanze chimiche usate per la manutenzione delle aree verdi ¹⁰
Ferrovie	Nafta, erbicidi, creosoto usato per proteggere le traversine di legno
Commerciale	
Autofficine	Oli usati, solventi, acidi, vernici, scarichi di autoveicoli ⁷ , oli vari
Parrucchieri e centri estetici	Soluzioni per permanenti, tinture per capelli, miscele chimiche contenute nei lavaggi per capelli
Cantieri navali	Gasolio, oli, sostanze protettive per legno e trattamenti chimici, vernici, cere, pitture, scarichi di motori, accumuli di barche usate
Piste per bowling	Resine epossidiche, finiture di pavimenti a base di poliuretano
Autoconcessionarie	Scarichi di veicoli ⁷ , olii, solventi, rifiuti vari
Autolavaggi	Saponi, detergenti, cere, sostanze chimiche varie
Campeggi	Sistemi settici, benzine, nafta proveniente dai motori per barche, antiparassitari usati per limitare la presenza di formiche e insetti ⁹ , rifiuti domestici pericolosi da veicoli e mezzi ricreativi ⁸
Negozi di tappeti	Collanti e altre sostanze adesive; carburanti conservati in contenitori se si usano elevatori motorizzati
Cantieri edili e zone di stoccaggio di materiali usati nell'edilizia	Solventi, amianto, vernici, colle e altre sostanze adesive, rifiuti di sostanze chimiche varie
Clubs privati	Fertilizzanti ⁶ , diserbanti ¹⁵⁻¹⁶ , antiparassitari usati per limitare la presenza di insetti e parassiti vari, sostanze chimiche usate per la manutenzione di piscine, scarichi di veicoli
Lavanderie a secco	Solventi (percloroetilene, solventi organici, freon) smacchiatori (tricloroetano, metilcloroformio, ammoniaca, perossidi, acido cloridrico, solventi per ruggine, acetato d'amile)
Pompe funebri e impianti crematori	Formaldeide, umidificanti, fumiganti, solventi
Restauratori di mobili	Vernici, solventi, sostanze sgrassanti
Stazioni di servizio di carburanti	Carburanti, oli, solventi, rifiuti vari
Campi da golf	Fertilizzanti ⁶ , diserbanti ¹⁵⁻¹⁶ , antiparassitari usati per limitare la presenza di insetti e parassiti vari ⁹
Ferramenta e falegnameria	Prodotti chimici pericolosi in magazzino, carburanti per riscaldamento e bidoni, vernici e prodotti di trattamento (come il creosoto)
Serbatoi interrati di società fornitrici di carburanti per il riscaldamento	Carburanti per riscaldamento, rifiuti provenienti dall'area riservata alla manutenzione dei camion ⁷
Serre, fiorai e vivaisti	Diserbanti, insetticidi e antiparassitari vari
Gioiellerie e negozi che lavorano metalli placcati	Sodio e cianuro, sali metallici, acido cloridrico, acido solforico e acido cromico
Lavanderie	Detergenti, candeggine, tinture per tessuti
Centri medici	Sviluppatori e fissatori di raggi X ¹⁷ , rifiuti infettivi, scarti radioattivi, rifiuti biologici, disinfettanti, amianto, berillio, acidi dentali, sostanze chimiche varie

Tabella 5.2

Sorgente	Contaminante per la salute umana, per l'ambiente o estetico ^{1,2,3}
Uffici e centri direzionali	Rifiuti generici, sostanze chimiche per la manutenzione di aiuole e giardini ¹⁰ , benzine e oli di motore
Negozi di vernici	Vernici, lacche, pitture, diluenti e sostanze usate per il trattamento del legno
Farmacie	Prodotti di scarto, scaduti e resi
Fotografi e fotolaboratori	Fanghi biologici, fanghi di argento, cianuri, fanghi vari
Copisterie	Solventi, inchiostro, tinture, oli e sostanze chimiche per la fotografia
Laboratori di ricerca	Sviluppatori e fissatori di raggi X ¹⁷ , rifiuti infettivi, scarti radioattivi, rifiuti biologici, amianto, berillio, solventi, medicinali, disinfettanti, sostanze chimiche varie
Zone di raccolta di rottami	Ogni tipo di scarto domestico o commerciale, oli
Negozi di articoli sportivi e hobby	Polvere da sparo e munizioni, carburanti per motori da modellismo, colla per modellismo
Serbatoi interrati e fuori terra	Combustibile per riscaldamento, nafta e altri derivati del petrolio, sostanze chimiche utilizzate per uso commerciale
Servizi e stazioni trasporto passeggeri (locale e interurbano)	Perdite di olio, solventi, benzina e gasolio proveniente da veicoli e serbatoi, altri tipi di scarichi di veicoli
Servizi veterinari	Solventi, materiale infetto, vaccini, medicine varie e disinfettanti, sviluppatori e fissatori di raggi X
Industriali	
Cumuli di materiali (carbone, metalli grezzi, gesso e fosfati)	Drenaggio acido e altri tipi di sostanze pericolose e non pericolose
Bacini di raccolta degli scarti minerari	Acidi, metalli, solidi disciolti, minerali radioattivi e altri scarti pericolosi o non pericolosi
Trasporti e stazioni (ferroviarie e di autobus)	Carburanti, scarti di materiali ricambio ⁷ e altri scarti pericolosi o non pericolosi
Serbatoi interrati e fuori terra	Combustibile per riscaldamento, benzina, nafta e altri derivati del petrolio, altri scarti pericolosi o non pericolosi
Bacini di stoccaggio, trattamento e smaltimento di acque	Scarti liquidi pericolosi o non pericolosi ¹⁴ , sistemi settici, fanghi ¹⁴
Discariche di rifiuti pericolosi	Percolati, rifiuti pericolosi e non pericolosi, nitrati
Pozzi di reimmissione	Rifiuti a elevata pericolosità, rifiuti industriali pericolosi e non pericolosi, acque salate, brine e oli
Depositi di materiale radioattivo	Scarti radioattivi provenienti da trattamenti medici, centrali elettrico-nucleari e operazioni militari, radionuclidi (uranio e plutonio)
Zone di scavi abusivi a secco e in acqua	Grande varietà di rifiuti liquidi e solidi, miscele di oli, acidi utilizzati per lavorazioni in acciaierie, cumuli contenenti grosse quantità di sali fondenti per strade
Pozzi esplorativi abbandonati o in uso (utilizzati per la ricerca di metano, petrolio, carbone), teste dei pozzi, pozzi di monitoraggio	Metalli, acidi, minerali, solfuri e altri tipi di sostanze chimiche pericolose o non pericolose
Pozzi asciutti	Acqua salmastra proveniente dal prelievo effettuato per tenere i pozzi asciutti
Perforazione di pozzi	Sostanze associate a operazioni con oli e gas, fanghi
Impianti industriali (attivi o dismessi)	
Impianti di asfalto	Derivati del petrolio
Costruzione di apparecchiature di comunicazione	Scarti di acidi nitrico, solforico e cloridrico, metalli pesanti, oli e solventi sgrassanti (tricloroetano, freon o tricloroetilene) flussi corrosivi di saldatura, vernici, scarti di materiali usati per la placcatura
Apparecchiature elettriche ed elettroniche	Cianuri, fanghi di metalli, acido cromico, solventi, oli, sostanze acide e alcaline, vernici, percloroetilene, tricloroetano, acetone, metanolo, toluene, PCB
Processi galvanici	Acido solforico, fluoridrico, cloridrico, borico, idrossido di potassio e di sodio, acido cromico, sodio e acido cianidrico, sali metallici
Fonderie e produzione di metalli	Scarti di vernici, acidi, metalli pesanti, fanghi di metalli, scarti di placcature, oli, solventi e scarti esplosivi
Costruzione di mobili e scaffalature	Vernici, solventi, fanghi sgrassanti, solventi esausti
Lavorazioni metalliche	Solventi, metalli, sostanze organiche varie, polveri, trucioli metallici, lubrificanti e oli, sostanze sgrassanti (teracloroetilene), fluidi di lavorazione di metalli, materiali per stampi
Miniere a cielo aperto e nel sottosuolo	Materiale di sterro e materiali di scarto che spesso contengono metalli, acidi, acque acide mineralizzate, solfuri metallici
Miniere abbandonate non sigillate usate come accumulo di rifiuti	Metalli, acidi, minerali, solfuri e altre sostanze chimiche pericolose e non pericolose ¹⁶
Cartiere	Metalli, acidi, minerali, solfuri e altre sostanze chimiche pericolose e non pericolose ¹⁶ , fanghi organici, idrossido di sodio, ipocloriti, cloro, perossidi
Produzione e stoccaggio di derivati del petrolio	Idrocarburi, oli e acqua satura di sali

Tabella 5.2

Sorgente	Contaminante per la salute umana, per l'ambiente o estetico ^{1,2,3}
Produzione di tubazioni industriali	Fluidi corrosivi, idrocarburi e altri materiali e rifiuti pericolosi e non pericolosi ⁴
Laboratori di sviluppo fotografico	Cianuri, fanghi biologici, fanghi di argento e di altri composti
Produzione di materiale plastico e sintetico	Solventi, oli, sostanze organiche e inorganiche varie (resine, fenoli), vernici, cianuro, sostanze acide e alcaline, acque di trattamento dei fanghi, esteri di cellulosa, agenti tensioattivi, glicoli, fenoli, formaldeide, perossidi, ecc.
Lavorazione di metalli grezzi (acciaierie)	Acque da fanghi di trattamento di metalli pesanti, fluidi scrostanti, scarti di olio, ammoniaca, fanghi di catrame acido, detergenti alcalini, solventi, sgrassatori, scorie e polveri metalliche
Tipografie	Solventi, inchiostri, pitture, oli, sostanze organiche varie, sostanze chimiche per uso fotografico
Attività di pubblica utilità (telefoniche, per l'elettricità e per il gas)	PCB, oli per trasformatori e condensatori, oli vari, solventi, fanghi, soluzioni acide, sostanze usate per trattare superfici metalliche (cromo, nichel e cadmio), diserbanti
Lavorazione del legno (segherie e piallatrici)	Residui di legno lavorato, tannino, vernici, solventi, creosoto, scarti di rivestimenti e incollaggi
Lavorazione di pietre, argilla e vetro	Solventi, oli e grassi, sostanze alcaline, rifiuti acetici, amianto, fanghi di metalli pesanti, fenoli o fanghi fenolici, fanghi di raffinazione dei metalli
Saldatura metalli	Acetilene, ossigeno
Impianti di protezione per il legno	Sostanze protettive per il legno, creosoto

- 1) In genere la contaminazione delle acque sotterranee è dovuta a un uso improprio di rifiuti liquidi e solidi, alle discariche abusive e all'abbandono di rifiuti chimici, domestici, commerciali o industriali, allo sversamento accidentale di sostanze chimiche dal camion, treni, aerei e serbatoi di immagazzinamento, o agli inadeguati posizionamento, progetto, costruzione e manutenzione di pozzi industriali, pubblici e agricoli e agli impianti di smaltimento di rifiuti solidi e liquidi. I contaminanti possono anche essere generati da inquinanti atmosferici, come ad esempio i composti a base di zolfo e azoto che sono prodotti da fumi, fuliggini, nebulizzatori, scarichi di automobili, che solitamente si trovano sospesi nell'aria ma che ricadono sotto forma di piogge acide, infiltrandosi nel sottosuolo. Quando le sorgenti elencate nella tabella sono progettate e gestite in maniera opportuna, è molto improbabile il verificarsi di una significativa contaminazione dell'acqua.
- 2) Tutti i contaminanti generati dall'attività svolte in superficie, dovuti ad esempio a stoccaggio di rifiuti industriali, o quelli generati nel sottosuolo al di sopra della superficie della falda, come ad esempio quelli dovute a fosse settiche, o infine quelli generati anche al di sopra della superficie della falda, possono raggiungere le acque sotterranee.
- 3) La tabella elenca i rifiuti più comuni ma non tutti i possibili rifiuti.
- Ad esempio non è possibile elencare tutti contaminanti che possono essere contenuti nell'acqua piovana o nei rifiuti provenienti dai laboratori di ricerca.
- 4) Batteri coliformi possono indicare la presenza di microrganismi patogeni che possono essere trasmesse dalle feci umane. Malattie come il tifo, l'epatite, la diarrea e la dissenteria possono essere provocate da contaminazione degli acquedotti pubblici da parte delle acque fognarie.
- 5) Gli antiparassitari includono diserbanti, insetticidi, veleni per roditori e fungicidi. Sono stati ad esempio registrati dall'U.S. Environmental Protection Agency circa 50000 diversi tipi di prodotti antiparassitari usati negli Stati Uniti; molti di questi sono altamente pericolosi e abbastanza mobili nel sottosuolo.
- 6) Secondo l'U.S. Environmental Protection Agency, l'uso di fertilizzanti è correlato con la contaminazione da nitrati degli acquedotti pubblici.
- 7) Scarichi di autoveicoli possono includere idrocarburi, anticongelanti, fluidi per la trasmissione automatica, acidi per batterie, fluidi per radiatore e motore, sgrassanti per metalli e per motore, fluidi per i freni idraulici e oli per motore.
- 8) I composti pericolosi o nocivi di comuni prodotti domestici sono elencati in Tabella
- 9) I comuni pesticidi domestici usati per limitare la presenza di insetti e altri animali come i topi possono contenere principi attivi come naftalina, fosforo, xilene, cloroformio, metalli pesanti, idrocarburi, arsenico, stricnina, cherosene e diossina.
- 10) I comuni pesticidi usati per la manutenzione di aiuole e giardini (per esempio per estirpare erbacce) contengono sostanze chimiche come il 2,4-D, diazinon, ecc.
- 11) Le sostanze chimiche per la manutenzione di piscine possono contenere cloro, bromo, iodio liberi o in forma di composto, acidi a base di mercurio, rame e cianuri, calcio o sodio ipoclorito, acido muriatico e carbonato di sodio.
- 12) I detergenti di fosse settiche e pozzi neri contengono sostanze chimiche organiche come 1,1,1 tricloroetano, tetracloroetilene, tetracloruro di carbonio e cloruro di metilene
- 13) Rifiuti comuni provenienti da edifici pubblici e commerciali contengono scarichi di autoveicoli, sali e residui dei prodotti di pulizia i quali possono contenere sostanze chimiche quali xileni, isopropanolo, estere di glicole, xilenoli, 1,1,1 tricloroetano, fenoli clorurati, ecc.
- 14) I residui dei fanghi trattati possono contenere materia organica, nitrati, sali inorganici, metalli pesanti, batteri coliformi e non coliformi e virus.
- 15) Le sostanze chimiche per il trattamento delle acque di scarico contengono ossidi di calcio, solfato di alluminio, allume attivato, carbone e silice, polimeri, resine a scambio ionico, idrossido di sodio, cloro, ozono e inibitori della corrosione.
- 16) Nel Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) degli U.S.A., viene definito come rifiuto pericoloso una sostanza solida che può determinare un aumento della mortalità o di gravi malattie o che costituisce minaccia alla salute umana o all'ambiente quando impropriamente trattato, immagazzinato, trasportato o altrimenti maneggiato. Un rifiuto è considerato pericoloso se possiede caratteristiche di infiammabilità, corrosività, reattività o pericolosità. Non sono sotto la regolamentazione della RCRA le fogne domestiche, le zone di scarico di acqua per irrigazione o per uso industriale permessi dal CLEAN WATER ACT, alcuni rifiuti nucleari o di miniere, rifiuti domestici, rifiuti agricoli (escluso alcuni pesticidi) e piccole quantità di rifiuti pericolosi (per esempio meno di circa 100 kg al mese) generate da attività commerciali.
- 17) Gli sviluppatori e i fissatori di raggi X possono contenere argento, glutaldeide, idrochinone, fenone, idrochinone, bromuro di potassio, solfito di sodio, carbonato di sodio, tiosolfato e allume di potassio che possono essere recuperati.
- 18) La tabella elenca potenziali contaminanti di acque sotterranee provenienti da molte attività industriali comuni, ma essa non indica tutte le industrie esistenti.

Tabella 5.2 - Potenziali sorgenti di contaminazione delle acque sotterranee (da U.S. Environmental Protection Agency, 1993)

Classe di industria	Codice ISTAT	Tipi di scarico e rifiuti*	AE / Addetto	Principali materiali usati e rifiuti. Parametri di controllo più significativi	MHI **	IPI ***
Alimentari di base	15.1-15.7	A	84	Vari biodegradabili, azoto, fosforo	2-4	2
Alimentari vari, zucchero, bevande e tabacco	15.8-15.9	A-C	348	Vari biodegradabili, azoto, fosforo	2-5	2
Tessili	17	B-A-C	18	Metalli, acidi, basi, solventi clorurati, tensioattivi, grassi, fungicidi, vari biodegradabili	6	2
Abbigliamento	18	A	0.6	Vari biodegradabili	2-4	1
Calzature	19.3	B-A	0.6	Solventi, colle, vernici, vari biodegradabili	4-8	3
Cuoio e pelli	19.1-19.2	C-B-A	57.0	Solventi clorurati, acidi, basi, colle, vernici, sali metallici, vari biodegradabili	3-8	3
Legno	20	A-B	1.6	Oli, colle, resine, fenoli, vari biodegradabili	3-8	3
Mobili e arredamento	36.1	A-B	1.6	Solventi, colle, resine, vernici, grassi, vari biodegradabili	2-5	1
Metallurgiche	27	B-C-A	5	Ossidi, sali metallici, acidi, basi, ammoniaca, cianuri, solventi clorurati	3-8	3
Metalmeccaniche	28, 29, 30, 21, 32, 33	C-B-A	2-1-0.6	Idrocarburi, basi, acidi, olii, cianuri, solventi clorurati, composti organo-metallici	5-8	3
Mezzi di trasporto	34,35	B-C-A	1.7	Idrocarburi, oli, acidi, basi, sali metallici, solventi clorurati, vernici, sostanze organiche	5-8	3
Lavorazione materiali non metallici	26	C-B	1.5	Metalli pesanti, oli, amianto	3-4	2
Petrolifera	23.2	B-A-C	65	Idrocarburi, olii, azoto, fenoli, solfuri	7-8	3
Chimiche	24.1-24.6	B-A-C	68	Composti chimici inorganici e organici (oli, acidi, basi, sali metallici, cianuri, solventi....)	6-9	3
Gomma	25.1	B-A-C	15	Olii, grassi, solventi, metalli, cianuri, cloruri	4-6	2
Fibre sintetiche	24.7	B-A-C	40	Composti organici diversi, metalli pesanti, solventi, fenoli	6-8	2
Carta	21	B-C-A	60	Metalli pesanti, tensioattivi, sali inorganici, vari biodegradabili	6	2
Poligrafiche e affini	22	B-C-A	60	Idrocarburi vari, metalli, acidi, solventi, cianuri, fenoli, olii, grassi	2-8	3
Materie plastiche	25.2	B-C-A	15	Idrocarburi vari, metalli, acidi, solventi, cianuri, fenoli, olii, grassi	6-8	3
Manifatturiere diverse	36.2-36.6	B-C-A	2	Idrocarburi, solventi, metalli, vari biodegradabili	2-5	2
Energetiche	40	B-C	1.4	Metalli pesanti, boro, sostanze organiche non biodegradabili	3-5	1
Elettroniche	30	B	1	Metalli pesanti, solventi, boro, sostanze organiche non biodegradabili	5-8	2
Estrattiva: carbone e torbe	10	C-A	20	Vari con metalli pesanti e sali, acque acide	4-7	3
Estrattiva: petrolio e gas naturale	11	B-C	30	Idrocarburi e salamoie, metalli pesanti, zolfo, solventi	7-8	3

Estrattiva: combustibili nucleari	12	C	1	Radionuclidi e metalli nelle scorie	7-8	3
Estrattiva: minerali metalliferi	13	C-B-A	5	Solfati, solfuri, ossidi metallici, acque acide	4-7	3
Estrattiva: minerali non metalliferi	14	C-B	30	Salamoie, reflui con olii e metalli degli abrasivi	2-5	1

* A-prevalentemente organico-biologico
B-prevalentemente organico difficilmente biodegradabile
C-prevalentemente inorganico

** MHI-Indice di pericolosità [1-9] (Mazurek J., 1979)

*** IPI-Indice di pericolo di inquinamento delle acque sotterranee [1-3] (Foster S.S.D., Hirata R., 1988)

Tabella 5.3 - Classi di pericolo di gruppi di attività industriali classificate su base ISTAT (da Civita M., 1994)

USO DEL TERRITORIO, ATTIVITÀ E FUNZIONI	FATTORI DI DEGRADO E CENTRI DI PERICOLO
I USI AGRICOLI E GESTIONE DEL VERDE	Vedi singole voci
I A CENTRI AZIENDALI CON ALLEVAMENTI ZOOTECNICI	Attività passibile di gestioni scorrette, con rischio di contaminazione di acque superficiali e sotterranee. Si vedano inoltre le singole voci
I A.1 Lagoni di accumulo di liquami zootecnici	contaminazione per infiltrazioni dal fondo (di effetto variabile in relazione all'efficienza della protezione artificiale e del grado di protezione naturale)
I A.2 Pozzi neri a tenuta	rischio di contaminazione per rottura o lesioni di manufatti e/o delle opere di impermeabilizzazione
I A.3 Stabulazione di capi animali su aree esterne	rischio di contaminazione in funzione delle modalità di allontanamento e delle caratteristiche dei dispositivi di collettamento dei percolati e del ricettore finale
I B CENTRI DI PRIMA LAVORAZIONE E TRASFORMAZIONE DI PRODOTTI AGRICOLI (senza allevamento)	Come 2.A relativamente alle acque reflue di lavorazione, in base alle caratteristiche qualitative delle stesse e a quelle dei manufatti e dei ricettori
I C ESERCIZIO DI ATTIVITÀ AGROSILVICOLTURALI E MANTENIMENTO DI IMPIANTI DIVERSE ANCHE PUBBLICO E ATTREZZATO	Vedi singole voci
I C.1 Spandimento di liquami zootecnici	contaminazione per infiltrazione dalla superficie topografica (alta probabilità di apporti eccedenti agli asporti delle colture)
I C.2 Trattamenti con presidi sanitari	come I C.1: (minor rischio sull'entità dei dosaggi, ma elevata pericolosità dei principi attivi appartenenti alle prime classi di tossicità)
I C.3 Distribuzione di fanghi biologici e composti da rifiuti e fanghi	come I C.1 (da segnalare la presenza di metalli pesanti e possibili patogeni)
I C.4 Concimazione tradizionale chimica	come I C.1 (minor rischi in relazione alla minore solubilità dei prodotti impiegati)
I C.5 Concimazione tradizionale con letame	ridotto rischio di contaminazione
I C.6 Irrigazione con acque superficiali	ridotto rischio di contaminazione, salvo che in presenza di scadenti parametri qualitativi delle acque impiegate, con particolare riferimento a scorrimento e a sommersione
I C.7 Irrigazione con acque sotterranee (pozzi irrigui)	non presenta fattori di rischio (necessità tecniche a di adeguata tutela dei pozzi)
2 ATTIVITÀ INDUSTRIALI E ARTIGIANALI, MANIFATTURIERE, DI SERVIZIO E VARI	oltre alle tipologie elencate nelle successive voci permangono gli elementi di rischio di cui ai punti 6 e 7, nonché possibili fattori connessi a gestione impropria delle attività
2 A ATTIVITÀ COMPORTANTI ACQUE REFLUE DI LAVORAZIONE CONTAMINATE	rischio di contaminazione per lesioni o rotture dei manufatti di accumulo, trattamento, collettamento; si vedano in particolare le successive voci
2 A.1 Con diretto scarico di acque superficiali in assenza di trattamenti (scarichi nei limiti di accettabilità tabellari)	rischio di contaminazione per rottura dei manufatti di collettamento
2 A.2 Con previo trattamento biologico o chimico - fisico e scarico in acque superficiali (scarichi tal quali fuori limite di accettabilità)	contaminazione per infiltrazione dal fondo del ricettore finale, in funzione della sua permeabilità
	rischio di contaminazione per rottura dei manufatti (collettamento e/o trattamento)
	contaminazione per infiltrazione dal fondo del ricettore finale, in funzione della sua permeabilità

USO DEL TERRITORIO, ATTIVITÀ E FUNZIONI	FATTORI DI DEGRADO E CENTRI DI PERICOLO
2 A.3 Con diretto scarico in fognatura, in assenza di trattamenti (scarichi nei limiti di accettabilità tabellari)	rischio di rottura dei manufatti di collettamento e conseguente contaminazione
2 A.4 Con previo trattamento biologico o chimico - fisico e scarico in fognatura (scarichi tal quali fuori limite di accettabilità)	come 2 A.3, (con maggior rischio in caso di rotture a monte del trattamento o inefficienza dell'impianto)
2 B ATTIVITÀ COMPORTANTI DETENZIONE E STOCCAGGIO DI MATERIE PRIME PERICOLOSE E/O PRODUZIONE DI RIFIUTI PERICOLOSI O TOSSICI E NOCIVI	rischio di rottura degli stoccaggi, se interrati, ovvero come 2 C.
2 C LAVORAZIONI COMPORTANTI RICADUTA DI POLVERI CONTAMINANTI SU COPERTURE E SUPERFICI DI PERTINENZA	Come 2.A.3, in funzione dell'accoglimento dei dilavamenti nel sistema di collettamento delle acque reflue
2 D ATTIVITÀ ESTRATTIVE E/O MINERARIE	diminuzione dello strato di protezione rischio di uso improprio degli invasi rischio di scopertura della falda per gestione impropria
2 D.1 Lavorazione e trasformazione di materiali lapidei	afflusso di veicoli e mezzi d'opera in aree in genere scarsamente protette, presenza di bacini di decantazione con rischio di infiltrazione dal fondo di sostanze nocive
3 ATTIVITÀ DI DEPOSITO E STOCCAGGIO, COMMERCIO ALL'INGROSSO INFRASTRUTTURE TECNICHE, DI SERVIZIO	oltre alle tipologie elencate nelle successive voci, permangono i fattori di rischio di cui ai punti 6 e 7
3 A DEPOSITO E STOCCAGGIO DI MATERIALI LIQUIDI PERICOLOSI (es.: acidi, idrocarburi, solventi)	rischio di contaminazione per rottura degli stoccaggi rischio di contaminazione per dilavamento degli eventuali sversamenti incidentali, o connessi alla gestione dell'attività
3 A.1 Distributori di carburanti per autotrazione	come 3.A inoltre: dilavamento dei piazzali
3 B DEPOSITO E STOCCAGGIO DI MATERIALI PULVERULENTI POTENZIALMENTE NOCIVI ALLE ACQUE	come 2. C.
3 C CONSERVAZIONE E STOCCAGGIO DI MATERIE DEPERIBILI DA ASSOGGETTARE A TRATTAMENTI CON SOSTANZE PERICOLOSE	possibile contaminazione per sversamento/dilavamento delle sostanze impiegate
3 D MAGAZZINI FRIGORIFERI CON IMPIEGO DI ACQUA COME FLUIDO DI SCAMBIO TERMICO	possibili squilibri al regime dell'acquifero in caso di auto-approvvisionamento; rischio di gestione scorretta dei pozzi; rischio di c nel caso di pompe di calore con reimmissione in falda
3 E ATTIVITÀ DI AUTOTRASPORTO	rischio di contaminazione per dilavamento di idrocarburi e rottura dei manufatti di raccolta/collettamento
3 F ATTIVITÀ DI AUTORIPARAZIONE, RIPARAZIONE MACCHINE UTENSILI	Come 3 E; rischio di sversamenti per gestione scorretta dell'attività
3 G CENTRI DI ROTTAMAZIONE E AUTOROTTAMAZIONE	rischio di contaminazione per dilavamento di sostanze nocive; rischi connessi a improprie modalità di gestione delle attività
4 ATTREZZATURE PUBBLICHE E D'USO PUBBLICO	Salve le fattispecie elencate, i fattori di rischio non vanno ricondotti all'attività in sé, ma gli elementi di cui ai punti 6 e 7, a essi connessi
4 A INFRASTRUTTURE TECNOLOGICHE	Vedi singole voci
4 A.1 Discariche di rifiuti	Contaminazione per infiltrazione dal fondo
4 A.2 Altri impianti per il trattamento e lo smaltimento di rifiuti	Rischio connesso alla rottura degli stoccaggi, vasche di accumulo, manufatti di raccolta
4 A.3 Impianti per il trattamento e la depurazione di acque reflue	Come 4 A. 2
4 A.4 Macelli e mercati bestiame	Come 2 A.2 o 2 A.4 a seconda del recapito terminale dei reflui; ulteriore rischio di contaminazione per presenza di stoccaggi e fosse di accumulo di materiali putrescibili
4 A.5 Centrali per la produzione di energia elettrica e termica	Come 3 A nel caso di combustibili liquidi; il grado di rischio dipende dalla natura del combustibile utilizzato (rischio minimo nel caso di utilizzo del gas metano)

USO DEL TERRITORIO, ATTIVITÀ E FUNZIONI	FATTORI DI DEGRADO E CENTRI DI PERICOLO
4 A. 6 Centri aziende e stazioni di trasporto pubblico (autofiloviario, ferroviario, tranviario, aeroportuale)	Come 3.E
4 B ATTIVITÀ DI SERVIZIO GENERALE	Vedi singole voci; in ogni caso permangono i fattori di rischio di cui al punto 6
4 B. 1 Centri ospedalieri e case di cura	Rischio di contaminazione per rottura dei dispositivi di collettamento delle acque reflue; alta probabilità di presenza di patogeni nelle acque reflue
4 B. 2 Centri carcerari e caserme	Come 4 B.1
4 B. 3 Servizi cimiteriali	Contaminazione per infiltrazione di prodotti di decomposizione
4 C IMPIANTI E ATTREZZATURE PER LO SPORT ED IL TEMPO LIBERO	Vedi singole voci – in ogni caso permangono i fattori di rischio di cui ai punti 6 e 7
4 C. 1 Bacini idrici per nautica, motonautica, pesca sportiva	Possibile contatto fondo/falda – possibile contaminazione per infiltrazione dal fondo, variabile in relazione alla qualità delle acque di alimentazione e agli usi
4 C. 2 Centri sportivi con attività di balneazione	Rischio di possibili rotture ai collettamenti delle acque reflue e degli stoccaggi agli impianti di trattamento/depurazione
4 C. 3 Campeggi e aree attrezzate per roulotte	Rischio connesso alla rottura dei sistemi di collettamento delle acque reflue, variabili a seconda dei ricettori finali
4 D PARCHEGGI PUBBLICI (anche in connessione con attività di servizio)	Dilavamento di acque di prima pioggia contaminate: rischio di infiltrazione dalla superficie topografica
5 ATTIVITÀ RESIDENZIALI, DIREZIONALI	I fattori di rischio non sono direttamente riconducibili all'attività ma agli elementi di cui ai punti 6 e 7 a esse connessi
6 EDIFICI, INSEDIAMENTI E DOTAZIONI COLLATERALI	Vedi singole voci
6 A ELEMENTI COSTITUTIVI DEGLI EDIFICI	Vedi singole voci
6 A. 1 Fondazioni in contatto con il tetto delle ghiaie (palificate)	Fattore di rischio connesso alla formazione di linee preferenziali di infiltrazione dalla superficie topografica o dagli strati intermedi in grado di vanificare localmente la protezione naturale
6 A. 2 Fondazioni superficiali	Elemento di alterazione, per formazione di linee di discontinuità, delle naturali caratteristiche di protezione degli strati soprastanti
6 B OPERE IDROIGIENICHE	Vedi singole voci
6 B. 1 Fosse biologiche o Imboff	Rischio di rottura dei manufatti e conseguente fuoriuscita dei liquami, con possibile contaminazione
6 B. 2 Pozzi neri a tenuta	Come 6.B.1, con eventuale maggior rischio in relazione a vetustà e caratteristiche dei manufatti
6 B. 3 Dispensori (pozzi perdenti) o eventuali dispositivi di subirrigazione	Diffusione di elementi contaminanti al di sotto dello strato pedogenizzato
6 B. 4 Tubazioni e opere di collettamento ai ricettori di acque nere e miste	Rischio di rottura dei manufatti e conseguente fuoriuscita dei liquami, con possibile contaminazione
6 B. 5 Tubazioni e opere di collettamento ai ricettori di acque meteoriche	Come 6 B.4, ferma restando la natura usualmente meno contaminante dei reflui veicolati
6 C DOTAZIONI COLLATERALI AGLI EDIFICI O INSEDIAMENTI	Vedi singole voci
6 C. 1 Cisterne interrate di idrocarburi per riscaldamento	Come 6 B.1 (salvo la maggiore pericolosità del potenziale inquinante)
6 C. 2 Pozzi di uso domestico od extradomestico per fornitura d'acqua potabile o dotazione servizi idroigienici	Elementi di discontinuità e di alterazione della protezione naturale. Se abbandonati possono costituire vie preferenziali di infiltrazione di inquinanti
6 C. 3 Pozzi d'uso civile tecnologico (fluido di scambio termico) senza reimmissione in falda o pozzi a servizio di insediamenti produttivi	Come 6 C.2 inoltre, in relazione ai quantitativi emunti, possono creare turbativa al regime idraulico dell'acquifero
6 C. 4 Pozzi d'uso civile tecnologico (fluido di scambio termico) con reimmissione in falda (pompe di calore acqua – acqua)	Fattore di inquinamento termico: rischio di immissione diretta di inquinanti in caso di rotture dei circuiti

USO DEL TERRITORIO, ATTIVITÀ E FUNZIONI	FATTORI DI DEGRADO E CENTRI DI PERICOLO
6 C. 5 Pozzi destinati all'innaffiamento di orti che captano falde sospese	Come 6 C.2, con minor grado di pericolosità in relazione alla minor profondità delle captazioni
6 D UTILIZZAZIONE DELLE AREE DI PERTINENZA DI EDIFICI ED INSEDIAMENTI	Vedi singole voci
6 D. 1 Deposito o ammasso a cielo aperto di sostanze potenzialmente nocive aggredibili o dilavabili dagli agenti atmosferici	Come 2 C.
6 D. 2 Piazzole per il lavaggio di veicoli o il travaso di idrocarburi	Rischio di sversamenti e dilavamento di sostanze nocive; fattore di potenziale contaminazione in relazione all'esistenza e all'efficienza dei dispositivi di collettamento
6 D. 3 Parcheggi di pertinenza	Come 4.D (minor rischio, in funzione della minor estensione)
6 D. 4 Arredo a verde	Come 1 C. (presenta modesti fattori di rischio)
6 D. 5 Arredo con pavimentazione	Non presenta fattori di rischio, salva l'ipotesi di sversamenti incidentali
7 INFRASTRUTTURE PER IL TRAFFICO, OPERE DI URBANIZZAZIONE, OPERE IDRAULICHE	Vedi singole voci
7 A VIABILITÀ	Dà luogo a ricaduta laterale di agenti inquinanti, con possibile infiltrazione dalla superficie topografica, di pericolosità variabile in relazione al grado di protezione naturale e all'intensità del traffico – rischio di sversamenti, incidentali o dolosi
7 A. 1 Autostrade	rischio di sversamenti di sostanze nocive, incidentali o dolosi ricaduta di emissioni da traffico; dilavamento di sostanze antigelive e possibile contaminazione per infiltrazione dalla superficie topografica
7 A. 2 Viabilità ordinaria a elevato carico di traffico	Come 7 A.1 (con minor grado di rischio per sversamenti dolosi); rischio connesso ai dilavamenti e alle emissioni attenuato in caso di recapito alla fognatura urbana, e di impermeabilizzazione per urbanizzazione delle superfici contermini
7 A. 3 Viabilità secondaria	Come 7 A.2 con significativa attenuazione del rischio in funzione del minor peso del traffico
7 A. 4 Viabilità vicinale e di collegamento interno	Come 7 A.3 con ulteriore attenuazione del rischio
7 A. 5 Piste ciclabili e pedonali	Non presenta fattori di rischio
7 A. 6 Aree di sosta e parcheggio	Come 4.D
7 B RETI FOGNARIE E ALTRE OPERE IDRAULICHE	Vedi singole voci
7 B. 1 Canali di scolo a cielo aperto non impermeabilizzabili	Contaminazione per dispersione, con diverso grado di pericolosità in funzione delle caratteristiche qualitative delle acque veicolate
7 B. 2 Canalizzazioni impermeabilizzate di acque reflue nere e miste	Rischio di lesioni e rotture manufatti, con conseguente infiltrazione di sostanze contaminate
7 B. 3 Opere di collettamento di sole acque metoidiche	Rischio di contaminazione in compresenza di lesioni o rotture dei manufatti e scadenti qualità delle acque veicolate
7 B. 4 Canalizzazioni irrigue/aste del reticolo idrografico naturale secondario	Possibile contaminazione per infiltrazione del fondo nel solo caso di scadente qualità delle acque veicolate
7 B. 5 Fontanili/risorgive	Elementi di discontinuità della protezione naturale; possibili linee preferenziali di infiltrazione di eventuali inquinanti, se prosciugati
7 B. 6 Oleodotti	Come 7 B.1, ferma restando la maggiore pericolosità del potenziale inquinante

Tab. 5.4 - Usi del territorio, attività, funzioni e relativi centri di pericolo (da Muratori A., 1988)

6. Gestione delle aree di salvaguardia: protezione statica e dinamica

Il percorso metodologico seguito fino alla delimitazione delle aree di salvaguardia è finalizzato a raggiungere l'obiettivo di definire alcuni settori di territorio in cui vietare-regolamentare alcune attività e controllare le acque in afflusso alle captazioni, in modo tale da garantire un normale approvvigionamento idrico e impedire il manifestarsi di condizioni di "crisi idrica", così come descritte anche dal D.P.C.M. del 4 marzo 1996.

La semplice individuazione di queste zone non costituisce infatti una garanzia per gli obiettivi previsti in quanto il sistema deve essere integrato con la gestione territoriale delle risorse idriche.

Un importante elemento di riferimento è stato introdotto a livello normativo dalla Legge 5 gennaio 1994, n.36 che introduce sia il concetto di "gestione delle aree di salvaguardia" che quello dei "costi di gestione delle aree di salvaguardia" all'interno della tariffa del servizio idrico.

L'esistenza di disponibilità finanziarie determina in pratica l'effettiva possibilità di gestire le aree di salvaguardia, al di là di una teorica delimitazione cartografica.

Le esperienze finora attuate a livello internazionale e in Italia hanno indicato alcuni orientamenti nella gestione delle aree al fine di difendere le acque in afflusso ai pozzi.

In tutti i casi è stato dimostrato che se da un lato non è possibile lasciare senza forme di tutela il territorio, non è parimenti possibile definire vincoli e obblighi puntuali su vasta scala che diventano di difficile attuazione e controllo, oltre che suscitare lunghi contenziosi.

6.1 Strategie di pianificazione territoriale o di protezione statica

In questo paragrafo sono riassunte le operazioni che tendono a orientare lo sviluppo del territorio circostante le captazioni in modo compatibile con le esigenze di protezione delle acque sotterranee; tali operazioni sono state dedotte dalla letteratura internazionale e dalle più rare esperienze italiane in merito.

Le prime sono riportate a titolo esemplificativo anche se la loro effettiva applicabilità al territorio nazionale, viste le caratteristiche socio-economiche e amministrative, risulta incerta; le seconde come si è detto sono in numero ridotto e verranno successivamente commentate.

Gli interventi di seguito elencati ovviamente sono attuabili in tempi diversi (breve, medio e lungo termine) e con diversa conflittualità di interessi.

Non si devono peraltro escludere forme di incentivo per attuare gli obiettivi di protezione che possono comportare un pesante aggravio economico per i privati o un danno obiettivo.

La complessità delle realizzazioni deve inoltre essere vista anche in funzione delle strutture pubbliche disponibili per il loro studio e controllo in fase di attuazione.

Infine si raccomanda di valutare l'aspetto giuridico di queste imposizioni e regolamentazioni in sede di pianificazione territoriale.

Delimitazione delle aree di salvaguardia

Alla delimitazione delle aree di salvaguardia derivate da studi e indagini segue una loro acquisizione all'interno degli strumenti di pianificazione locale (Piano Regolatore Generale, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) e una definizione dei vincoli e delle norme d'uso del suolo.

Questa operazione è generalmente accettata, ma può incontrare resistenze e contenziosi, soprattutto laddove la perimetrazione risulta arbitraria o poco basata su considerazioni di tipo tecnico.

Si deve inoltre svolgere questa delimitazione su un territorio in cui possono essere preesistenti insediamenti e attività.

Compatibilità degli insediamenti e delle attività

Generalmente viene accettato il principio di adottare una serie di cautele di minore rilevanza man mano che ci si allontana dalla captazione di acque sotterranee.

Alcuni riferimenti sulla compatibilità degli insediamenti possono essere dedotti dalle normative o dalla letteratura, mentre una serie di altre misure può essere specificamente studiata in conseguenza della situazione locale.

Si attueranno cioè diverse tipologie di regolamentazioni e con diversa difficoltà di accettazione a seconda se ci si trovi in presenza di un'area urbana o non urbana, interessata da attività agricole o disabitata.

Una prima valutazione circa la compatibilità dei centri di pericolo è offerta dalla normativa in quanto il Dlgs 152/99 specifica le seguenti limitazioni.

"La zona di tutela assoluta ... deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio".

"Nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;*
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;*
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;*
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade;*
- e) aree cimiteriali;*
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;*
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;*
- h) gestione di rifiuti;*
- i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;*
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;*

m) pozzi perdenti;

n) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta."

"Le zone di protezione devono essere delimitate ... per assicurare la protezione del patrimonio idrico. In esse si posso-

no adottare misure relative alla destinazione del territorio interessato, limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici da inserirsi negli strumenti urbanistici comunali, provinciali, regionali, sia generali sia di settore".

Una seconda possibilità è offerta da Muratori A., 1988 (in C.N.R.-G.N.D.C.I.) che, sulla base della prima esperienza ita-

DESTINAZIONI URBANISTICHE	Ammissibilità e vincoli per le zone di rispetto secondaria	
	Ammissibilità e vincoli per le zone di rispetto primaria	
1 Zone a parco naturale o assimilabili	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con regolamentazione ammessa con regolamentazione e vincoli (vedasi prescrizioni sui centri di pericolo)
2 Zone agricole o assimilabili	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con regolamentazione ammessa con vincoli e regolamentazione
3 Zone a verde pubblico e attrezzate	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con regolamentazione ammessa con regolamentazione
4 Zone a servizi di quartiere	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con vincoli e regolamentazione ammessa come destinazione urbanistica con vincoli e regolamentazioni sulle modalità d'uso delle aree da destinarsi a verde, con conseguente divieto di edifici
5 Zone a servizi di interesse urbano	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con vincoli e regolamentazioni, salvo divieto di attività specificamente indicate dalle prescrizioni ai centri di pericolo, ed ulteriori condizioni da prevedersi negli strumenti particolareggiati come per le zone di servizi di quartiere (destinazione delle aree a verde di comparto)
6 Zone per infrastrutture tecniche ed impianti Tecnologici	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	vietata vietata
7 Zone industriali ed artigianali	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	vietata vietata
8 Zone residenziali e direzionali	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con vincoli e regolamentazioni, nel rispetto delle prescrizioni relative ai centri di pericolo, ulteriori condizioni da prevedersi negli strumenti particolareggiati attuativi ammessa come destinazione urbanistica, ferma restando la destinazione a verde di comparto per le aree interessate da prevedersi in sede di piani particolareggiati attuativi
9 Zone per la viabilità	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con vincoli e regolamentazioni salvo divieto per autostrade in acquiferi vulnerabili vietata, salvo che per la viabilità secondaria, ed eventuali deroghe per acquiferi urbani protetti
10 Zone per attività estrattive	ZONA DI RISPETTO SECONDARIA ZONA DI RISPETTO PRIMARIA	ammessa con vincoli e prescrizioni, se gestita sotto diretto controllo pubblico vietata, salvo l'ipotesi di interventi che comportino una diminuzione della vulnerabilità intrinseca, sotto diretto controllo pubblico

Tab. 6.1 - Zonazione di Piano Regolatore Generale e zone di rispetto delle captazioni idropotabili: prospetto dei livelli di ammissibilità delle destinazioni urbanistiche (da Muratori A., 1988)

liana di attuazione delle aree di salvaguardia nella città di Modena, ha proposto uno schema di compatibilità delle diverse destinazioni urbanistiche del territorio comunale (Tab. 6.1) ed è stato sviluppato un approccio relativo anche ai centri di pericolo (Tab. 6.2) che tiene conto della tipologia

di acquifero (vulnerabile o protetto) e di attività (esistente o nuova) (Tab. 6.3). A livello orientativo si può consultare anche la Tab. 6.4 che considera l'esperienza della Francia sull'argomento e che quindi può servire come confronto degli approcci perseguibili nella pratica.

USI AGRICOLI E GESTIONE DEL VERDE			Vedi singole voci
1	A	CENTRI AZIENDALI CON ALLEVAMENTI ZOOTECNICI	Attività passibile di gestioni scorrette, con rischio di contaminazione di acque superficiali e sotterranee. Si vedano inoltre le singole voci
1	A.1	Lagoni di accumulo di liquami zootecnici	- contaminazione per infiltrazioni dal fondo (di effetto variabile in relazione all'efficienza della protezione artificiale e del grado di protezione naturale)
1	A.2	Pozzi neri a tenuta	- rischio di contaminazione per rottura o lesioni di manufatti e/o delle opere di impermeabilizzazione
1	A.3	Stabulazione di capi animali su aree esterne	- rischio di contaminazione in funzione delle modalità di allontanamento e delle caratteristiche dei dispositivi di collettamento dei percolati e del ricettore finale
1	B	CENTRI DI PRIMA LAVORAZIONE E TRASFORMAZIONE DI PRODOTTI AGRICOLI (senza allevamento)	Come 2.A relativamente alle acque reflue di lavorazione, in base alle caratteristiche qualitative delle stesse e a quelle dei manufatti e dei ricettori
1	C	ESERCIZIO DI ATTIVITÀ AGROSILVICOLTURALI E MANTENIMENTO DI IMPIANTI DI VERDE ANCHE PUBBLICO E ATTREZZATO	Vedi singole voci
1	C.1	Spandimento di liquami zootecnici	- contaminazione per infiltrazione dalla superficie topografica (alta probabilità di apporti eccedenti agli asporti delle colture)
1	C.2	Trattamenti con presidi sanitari	- come 1.C.1: (minor rischio sull'entità dei dosaggi, ma elevata pericolosità dei principi attivi appartenenti alle prime classi di tossicità)
1	C.3	Distribuzione di fanghi biologici e composti da rifiuti e fanghi	- come 1.C.1 (da segnalare la presenza di metalli pesanti e possibili patogeni)
1	C.4	Concimazione tradizionale chimica	- come 1.C.1 (minor rischi in relazione alla minore solubilità dei prodotti impiegati)
1	C.5	Concimazione tradizionale con letame	- ridotto rischio di contaminazione
1	C.6	Irrigazione con acque superficiali	- ridotto rischio di contaminazione, salvo che in presenza di scadenti parametri qualitativi delle acque impiegate, con particolare riferimento allo scorrimento e a sommersione
1	C.7	Irrigazione con acque sotterranee (pozzi irrigui)	- non presenta fattori di rischio (necessità tecniche a di adeguata tutela dei pozzi)
2	ATTIVITÀ INDUSTRIALI E ATRIGIANALI, MANIFATTURIERE, DI SERVIZIO EVARI		- oltre alle tipologie elencate nelle successive voci permangono gli elementi di rischio di cui ai punti 6 e 7, nonché possibili fattori connessi a gestione impropria delle attività
2	A	ATTIVITÀ COMPORTANTI ACQUE REFLUE DI LAVORAZIONE CONTAMINATE	- rischio di contaminazione per lesioni o rotture dei manufatti di accumulo, trattamento, collettamento; si vedano in particolare le successive voci
2	A.1	Con diretto scarico di acque superficiali in assenza di trattamenti (scarichi nei limiti di accettabilità tabellari)	- rischio di contaminazione per rottura dei manufatti di collettamento - contaminazione per infiltrazione dal fondo del ricettore finale, in funzione della sua permeabilità
2	A.2	Con previo trattamento biologico o chimico - fisico e scarico in acque superficiali (scarichi tal quali fuori limite di accettabilità)	- rischio di contaminazione per rottura dei manufatti (collettamento e/o trattamento) - contaminazione per infiltrazione dal fondo del ricettore finale, in funzione della sua permeabilità
2	A.3	Con diretto scarico in fognatura, in assenza di trattamenti (scarichi nei limiti di accettabilità tabellari)	- rischio di rottura dei manufatti di collettamento e conseguente contaminazione
2	A.4	Con previo trattamento biologico o chimico - fisico e scarico in fognatura (scarichi tal quali fuori limite di accettabilità)	- come 2.A.3, (con maggior rischio in caso di rotture a monte del trattamento o inefficienza dell'impianto)
2	B	ATTIVITÀ COMPORTANTI DETENZIONE E STOCCAGGIO DI MATERIE PRIME PERICOLOSE	- rischio di rottura degli stoccaggi, se interrati, ovvero come 2.C.

USI AGRICOLI E GESTIONE DEL VERDE			Vedi singole voci
		E/O PRODUZIONE DI RIFIUTI PERICOLOSI O TOSSICI E NOCIVI	
2	C	LAVORAZIONI COMPORTANTI RICADUTA DI POLVERI CONTAMINANTI SU COPERTURE E SUPERFICI DI PERTINENZA	Come 2.A 3, in funzione dell'accoglimento dei dilavamenti nel sistema di collettamento delle acque reflue
2	D	ATTIVITÀ ESTRATTIVE E/O MINERARIE	- diminuzione dello strato di protezione - rischio di uso improprio degli invasi - rischio di scopertura della falda per gestione impropria
2	D.1	Lavorazione e trasformazione di materiali lapidei	- afflusso di veicoli e mezzi d'opera in aree in genere scarsamente protette, presenza di bacini di decantazione con rischio di infiltrazione dal fondo di sostanze nocive
3		ATTIVITÀ DI DEPOSITO E STOCCAGGIO, COMMERCIO ALL'INGROSSO, INFRASTRUTTURE TECNICHE, DI SERVIZIO	- oltre alle tipologie elencate nelle successive voci, permangono i fattori di rischio di cui ai punti 6 e 7
3	A	DEPOSITO E STOCCAGGIO DI MATERIALI LIQUIDI PERICOLOSI (es.: acidi, idrocarburi, solventi)	- rischio di contaminazione per rottura degli stoccaggi - rischio di contaminazione per dilavamento degli eventuali sversamenti incidentali, o connessi alla gestione dell'attività
3	A.1	Distributori di carburanti per autotrazione	- come 3.A inoltre: dilavamento dei piazzali
3	B	DEPOSITO E STOCCAGGIO DI MATERIALI PULVERULENTI POTENZIALMENTE NOCIVI ALLE ACQUE	- come 2. C.
3	C	CONSERVAZIONE E STOCCAGGIO DI MATERIE DEPERIBILI DA ASSOGGETTARE A TRATTAMENTI CON SOSTANZE PERICOLOSE	- possibile contaminazione per sversamento/dilavamento delle sostanze impiegate
3	D	MAGAZZINI FRIGORIFERI CON IMPIEGO DI ACQUA COME FLUIDO DI SCAMBIO TERMICO	- possibili squilibri al regime dell'acquifero in caso di autoapprovvigionamento; rischio di gestione scorretta dei pozzi; rischio di c nel caso di pompe di calore con reimmissione in falda
3	E	ATTIVITÀ DI AUTOTRASPORTO	- rischio di contaminazione per dilavamento di idrocarburi e rottura dei manufatti di raccolta/collettamento
3	F	ATTIVITÀ DI AUTORIPARAZIONE, RIPARAZIONE MACCHINE UTENSILI	Come 3 E; rischio di sversamenti per gestione scorretta dell'attività
3	G	CENTRI DI ROTTAMAZIONE E AUTOROTTAMAZIONE	- rischio di contaminazione per dilavamento di sostanze nocive; rischi connessi ad improprie modalità di gestione delle attività
4		ATTREZZATURE PUBBLICHE E D'USO PUBBLICO	Salve le fattispecie elencate, i fattori di rischio non vanno ricondotti all'attività in sé, ma gli elementi di cui ai punti 6 e 7, ad essi connessi
4	A	INFRASTRUTTURE TECNOLOGICHE	Vedi singole voci
4	A.1	Discariche di rifiuti	Contaminazione per infiltrazione dal fondo
4	A.2	Altri impianti per il trattamento e lo smaltimento di rifiuti	Rischio connesso alla rottura degli stoccaggi, vasche di accumulo, manufatti di raccolta
4	A.3	Impianti per il trattamento e la depurazione di acque reflue	Come 4 A. 2
4	A.4	Macelli e mercati bestiame	Come 2 A.2 o 2 A.4 a seconda del recapito terminale dei reflui; ulteriore rischio di contaminazione per infiltrazione da stoccaggi e fosse di accumulo di materiali putrescibili
4	A.5	Centrali per la produzione di energia elettrica e termica	Come 3 A nel caso di combustibili liquidi; il grado di rischio dipende dalla natura del combustibile utilizzato (rischio minimo nel caso di utilizzo del gas metano)
4	A.6	Centri aziende e stazioni di trasporto pubblico (autofiloviario, ferroviario, tranviario, aeroportuale)	Come 3.E
4	B	ATTIVITÀ DI SERVIZIO GENERALE	Vedi singole voci; in ogni caso permangono i fattori di rischio di cui al punto 6

USI AGRICOLI E GESTIONE DEL VERDE			Vedi singole voci
4	B.1	Centri ospedalieri e case di cura	Rischio di contaminazione per rottura dei dispositivi di collettamento delle acque reflue; alta probabilità di presenza di patogeni nelle acque reflue
4	B.2	Centri carcerari e caserme	Come 4 B.1
4	B.3	Servizi cimiteriali	Contaminazione per infiltrazione di prodotti di decomposizione
4	C	IMPIANTI E ATTREZZATURE PER LO SPORT ED IL TEMPO LIBERO	Vedi singole voci – in ogni caso permangono i fattori di rischio di cui ai punti 6 e 7
4	C.1	Bacini idrici per nautica, motonautica, pesca sportiva	Possibile contatto fondo/falda – possibile contaminazione per infiltrazione dal fondo, variabile in relazione alla qualità delle acque di alimentazione ed agli usi
4	C.2	Centri sportivi con attività di balneazione	Rischio di possibili rotture ai collettamenti delle acque reflue e degli stoccaggi agli impianti di trattamento/depurazione
4	C.3	Campeggi ed aree attrezzate per roulotte	Rischio connesso alla rottura dei sistemi di collettamento delle acque reflue, variabili a seconda dei ricettori finali
4	D	PARCHEGGI PUBBLICI (anche in connessione con attività di servizio)	Dilavamento di acque di prima pioggia contaminate: rischio di infiltrazione dalla superficie topografica
5		ATTIVITÀ RESIDENZIALI, DIREZIONALI	I fattori di rischio non sono direttamente riconducibili all'attività ma agli elementi di cui ai punti 6 e 7 ad esse connessi
6		EDIFICI, INSEDIAMENTI E DOTAZIONI COLLATERALI	Vedi singole voci
6	A	ELEMENTI COSTITUTIVI DEGLI EDIFICI	Vedi singole voci
6	A.1	Fondazioni in contatto con il tetto delle ghiaie (palificate)	Fattore di rischio connesso alla formazione di linee preferenziali di infiltrazione dalla superficie topografica o dagli strati intermedi in grado di vanificare localmente la protezione naturale
6	A.2	Fondazioni superficiali	Elemento di alterazione, per formazione di linee di discontinuità, delle naturali caratteristiche di protezione degli strati sovrastanti
6	B	OPERE IDROIGIENICHE	Vedi singole voci
6	B.1	Fosse biologiche o Imboff	Rischio di rottura dei manufatti e conseguente fuoriuscita dei liquami, con possibile contaminazione
6	B.2	Pozzi neri a tenuta	Come 6.B 1, con eventuale maggior rischio in relazione a vetustà e caratteristiche dei manufatti
6	B.3	Dispensori (pozzi perdenti) o eventuali dispositivi di subirrigazione	Diffusione di elementi contaminanti al di sotto dello strato pedogenizzato
6	B.4	Tubazioni ed opere di collettamento ai ricettori di acque nere e miste	Rischio di rottura dei manufatti e conseguente fuoriuscita dei liquami, con possibile contaminazione
6	B.5	Tubazioni ed opere di collettamento ai ricettori di acque meteoriche	Come 6 B 4, ferma restando la natura usualmente meno contaminante dei reflui veicolati
6	C	DOTAZIONI COLLATERALI AGLI EDIFICI O INSEDIAMENTI	Vedi singole voci
6	C.1	Cisterne interrato di idrocarburi per riscaldamento	Come 6 B.1 (salvo la maggior pericolosità del potenziale inquinante)
6	C.2	Pozzi di uso domestico od extradomestico per fornitura d'acqua potabile o dotazione servizi idroigienici	Elementi di discontinuità e di alterazione della protezione naturale. Se abbandonati possono costituire vie preferenziali di infiltrazione di inquinanti
6	C.3	Pozzi d'uso civile tecnologico (fluido di scambio termico) senza reimmissione in falda o pozzi a servizio di insediamenti produttivi	Come 6 C.2 inoltre, in relazione ai quantitativi emunti, possono creare turbativa al regime idraulico dell'acquifero
6	C.4	Pozzi d'uso civile tecnologico (fluido di scambio termico) con reimmissione in falda (pompe di calore acqua – acqua)	Fattore di inquinamento termico: rischio di immissione diretta di inquinanti in caso di rotture dei circuiti

USI AGRICOLI E GESTIONE DEL VERDE			Vedi singole voci
6	C.5	Pozzi destinati all'innaffiamento di orti che captano falde sospese	Come 6 C.2, con minor grado di pericolosità in relazione alla minor profondità delle captazioni
6	D	UTILIZZAZIONE DELLE AREE DI PERTINENZA DI EDIFICI ED INSEDIAMENTI	Vedi singole voci
6	D.1	Deposito o ammasso a cielo aperto di sostanze potenzialmente nocive aggredibili o dilavabili dagli agenti atmosferici	Come 2 C.
6	D.2	Piazzole per il lavaggio di veicoli o il travaso di idrocarburi	Rischio di sversamenti e dilavamento di sostanze nocive; fattore di potenziale contaminazione in relazione all'esistenza e all'officiosità dei dispositivi di collettamento
6	D.3	Parcheggi di pertinenza	Come 4.D (minor rischio, in funzione della minor estensione)
6	D.4	Arredo a verde	Come 1 C. (presenta modesti fattori di rischio)
6	D.5	Arredo con pavimentazione	Non presenta fattori di rischio, salva l'ipotesi di sversamenti incidentali
7	INFRASTRUTTURE PER IL TRAFFICO, OPERE DI URBANIZZAZIONE, OPERE IDRAULICHE		Vedi singole voci
7	A	VIABILITÀ	ricaduta laterale di agenti inquinanti, con possibile infiltrazione dalla superficie topografica, di pericolosità variabile in relazione al grado di protezione naturale e all'intensità del traffico - rischio di sversamenti, incidentali o dolosi
7	A.1	Autostrade	- rischio di sversamenti di sostanze nocive, incidentali o dolosi - ricaduta di emissioni da traffico; dilavamento di sostanze antigelive e possibile contaminazione per infiltrazione dalla superficie topografica
7	A.2	Viabilità ordinaria ad elevato carico di traffico	Come 7 A.1 (con minor grado di rischio per sversamenti dolosi); rischio connesso ai dilavamenti e alle emissioni attenuato in caso di recapito alla fognatura urbana, e di impermeabilizzazione per urbanizzazione delle superfici contermini
7	A.3	Viabilità secondaria	Come 7 A.2 con significativa attenuazione del rischio in funzione del minor peso del traffico
7	A.4	Viabilità vicinale e di collegamento interno	Come 7 A.3 con ulteriore attenuazione del rischio
7	A.5	Piste ciclabili e pedonali	Non presenta fattori di rischio
7	A.6	Aree di sosta e parcheggio	Come 4.D
7	B	RETI FOGNARIE E ALTRE OPERE IDRAULICHE	Vedi singole voci
7	B.1	Canali di scolo a cielo aperto non impermeabilizzabili	Contaminazione per dispersione, con diverso grado di pericolosità in funzione delle caratteristiche qualitative delle acque veicolate
7	B.2	Canalizzazioni impermeabilizzate di acque reflue nere e miste	Rischio di lesioni e rotture manufatti, con conseguente infiltrazione di sostanze contaminate
7	B.3	Opere di collettamento di sole acque metodiche	Rischio di contaminazione in compresenza di lesioni o rotture dei manufatti e scadenti qualità delle acque veicolate
7	B.4	Canalizzazioni irrigue/aste del reticolo idrografico naturale secondario	Possibile contaminazione per infiltrazione del fondo nel solo caso di scadente qualità delle acque veicolate
7	B.5	Fontanili/risorgive	Elementi di discontinuità della protezione naturale; possibili linee preferenziali di infiltrazione di eventuali inquinanti, se prosciugati
7	B.6	Oleodotti	Come 7 B.1, ferma restando la maggiore pericolosità del potenziale inquinante

Tab. 6.2 - Classificazione dei centri di pericolo (da Muratori A., 1988)

USI SPECIFICI ATTIVITÀ E SINGOLE FUNZIONI OGGETTO DI REGOLAMENTAZIONE		ZONA DI RISPETTO PRIMARIA			ZONA DI RISPETTO SECONDARIA		
		DISCIPLINA	DISCIPLINA	DISCIPLINA	DISCIPLINA	DISCIPLINA	DISCIPLINA
		e p n	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n
1	USI AGRICOLI E GESTIONE DEL VERDE	VEDI VOCI SINGOLE			VEDI VOCI SINGOLE		
A	CENTRI AZIENDALI CON ALLEVAMENTO ZOOTECNICO	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n
A.1	LAGONI DI ACCUMULO DI LIQUAMI ZOOTECNICI IN TERRA BATTUTA	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n
A.2	POZZI NERI A TENUTA PER LIQUAMI ZOOTECNICI	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n
A.3	STABILIZZAZIONE DI CAPI ANIMALI SU AREE ESTERNE	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n
B	CENTRI DI PRIMA LAVORAZIONE E TRASFORMAZIONE DI PRODOTTI AGRICOLI	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n	e p n

	(senza allevamento)	n	n	Divieto di insediamento	n	Come per la zona di rispetto primaria	Divieto di insediamento	n
C	ESERCIZIO DI ATTIVITA' AGROSVILUPPO E MANTENIMENTO DI IMPIANTI DI VERDE ANCHE PUBBLICO E ATTREZZATO			vedi singole voci			Vedi singole voci	
C.1	SPANDIMENTO DI LIQUAMI ZOOTECNICI	p		divieto	v		divieto	p
C.2	TRATTAMENTI CON PRESIDI SANITARI	p		Censimento colture in atto e regolamentazione attraverso divieto di impianto di colture industriali e frutteti programmati; sostituzione impianti a rischio con definizione di termini temporali coercitivi mediante ordinanze	v		Come in zona di rispetto primaria	v
C.3	DISTRIBUZIONE DI FANGHI BIOLOGICI E COMPOSTI DA RIFIUTI E FANGHI	p		divieto	v		divieto	v
C.4	CONCIMAZIONE TRADIZIONALE CHIMICA	p		ammessa Regolamentazione attraverso disposizioni ordinarie sugli impianti colturali ammissibili	v		Ammesse salve possibili restrizioni in esito al monitoraggio di analogia a quanto previsto in zona di rispetto primaria	v
C.5	CONCIMAZIONE TRADIZIONALE CON LETAME	p		ammessa Regolamentazione come per l.C.4	v		Ammesse	v
C.6	IRRIGAZIONE CON ACQUE SUPERFICIALI	p		regolamentata con il divieto di tecniche a sommersione e scorrimento in caso di utilizzo di acque superficiali di caratteristiche idonee	v		come per zone di rispetto primaria	v
C.7	IRRIGAZIONE CON ACQUE SOTTERRANEE (pozzi d'uso irriguo)	p		ammessa (monitoraggio sui pozzi e controllo dispositivi protezione dei manufatti "vincoli quantitativi")	v		ammessa	v
2	ATTIVITA' INDUSTRIALI E ARTIGIANALI, MANIFATTURIERE, DI SERVIZIO E VARIE			Da soddisfare comunque prescrizioni punti 5.6.7., vedi molte voci singole			Da soddisfare comunque prescrizioni punti 5.6.7., vedi molte voci singole	
A	ATTIVITA' COMPORTANTI ACQUE REFLUE DI LAVORAZIONE CONTAMINATE			Vedi singole voci			Vedi singole voci	
A.1	CON DIRETTO SCARICO IN ACQUE SUPERFICIALI IN ASSENZA DI TRATTAMENTI	e p n	e v n	Ordinanza di trasferimento Divieto di insediamento	e v n	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
A.2	CON PREVIO TRATTAMENTO BIOLOGICO O CHIMICO-FISICO E SCARICO IN ACQUE SUPERFICIALI	e p	e v	Trasferimento pianificato od ordinanza di trasf. in relazione agli scambi ricettore falda Ordinanza di trasferimento	e v	e v	Come zona di rispetto primaria	e p

		n	n	Divieto di insediamento	n	n	n	n
A.3	CON DIRETTO SCARICO IN FOGNATURA, IN ASSENZA DI TRATTAMENTI	e p n	e v n	Trasferimento pianificato. Immediate disposizioni ordinarie relative alla rete interna acque reflue Ordinanza di trasferimento	e v n	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
A.4	CON PREVIO TRATTAMENTO BIOLOGICO O CHIMICO-FISICO IN FOGNATURA	e p n	e v n	Trasferimento pianificato. Immediate disposizioni ordinarie relative ai manufatti e rete interna reflui Divieto di insediamento	e v n	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
B	ATTIVITA' COMPORTANTI DETENZIONE E STOCCAGGIO DI MATERIE PRIME PERICOLOSE E/O PRODUZIONE DI RIFIUTI PERICOLOSI O TOSSICI E NOCIVI	e p n	e v n	Ordinanza di trasferimento, o trasferimento pianificato Divieto di insediamento	e v n	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
C	LAVORAZIONI COMPORTANTI RICADUTA DI POLVERI CONTAMINANTI SU COPERTURE E SUPERFICI DI PERTINENZA	e p n	e v n	Ordinanza di trasferimento Divieto di insediamento	e v n	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
D	ATTIVITA' ESTRETTIVE E/O MINERARIE	e p n	e v n	Vietato salvo completamento lotto di scavo in corso, con modalità di ripristino disciplinate Sospensione dell'attività o ripristino delle escavazioni tale da migliorare le condizioni di protezione Divieto di insediamento	e v n	e v n	Salvo il soddisfacimento dei requisiti sotto indicati, completamento del tetto di scavo in corso e ribombamento con materiali idonei a non far perdere le caratteristiche di acquifero protetto Ammesse, ove restino garantiti infiltrazioni requisiti di acquifero protetto ai sensi dell'art. 3.6 operando le valutazioni a partire dalla quota di fondo delle escavazioni Valgono le prescrizioni relative alla situazione di campo acquifero protetto in zona di rispetto primaria	e p n
D.1	LAVORAZIONE E TRASFORMAZIONE DI MATERIALI LAPIDEI	e p n	e v n	Trasferimento pianificato. Immediate disposizioni ordinarie per vasche decantazione acque lavorazione o stoccaggi idrocarburi etc. Ordinanza di trasferimento Divieto di insediamento	e v n	e v n	Come in zona di rispetto primaria	
3	ATTIVITA' DI DEPOSITO E STOCCAGGIO, COMMERCIO ALL'INGROSSO, INFRASTRUTTURE TECNICHE, DI SERVIZIO			Da soddisfare comunque prescrizioni punti 5.6.7., vedi inoltre voci singole			Da soddisfare comunque prescrizioni punti 5.6.7., vedi inoltre voci singole	
A	DEPOSITO STOCCAGGIO DI MATERIALI LIQUIDI PERICOLOSI (es: acidi, idrocarburi)	e	e	ordinanza di trasferimento	e	e	Come in zona di rispetto primaria	e

	solventi)	P n	divieto di insediamento		V n	V n	P n
A.1	DEPOSITO E STOCCAGGIO DI MATERIALI PULVIRENTI POTENZIALMENTE NOCIVI ALLE ACQUE	e p n	Ordinanza trasferimento o trasferimento pianificato in base a valutazioni specifiche	Ordinanza di trasferimento	e v n	Come in zona di rispetto primaria	Eventuale manutenzione in base a valutazioni specifiche ed alla valutazione di particolari dispositivi per aumentare le misure di sicurezza Divieto di insediamento
B	DEPOSITO E STOCCAGGIO DI MATERIALI PULVIRENTI NOCIVI ALLE ACQUE		Divieto di trasferimento	Divieto di trasferimento		Come in zona di rispetto primaria	
C	CONSERVAZIONE STOCCAGGIO DI MATERIE DEPERIBILI DA ASSOGGETTARE A TRATTAMENTI CON SOSTANZE PERICOLOSE		Trasferimento pianificato. Immediate disposizioni ordinarie per stoccaggio e allontanamento rifiuti	Ordinanza di trasferimento		Come in zona di rispetto primaria	
D	MAGAZZINI FRIGORIFERI CON IMPIEGO DI ACQUA COME FLUIDO DI SCAMBIO TERMICO		Pianificazione del trasferimento (es.: mancato rinnovo concessione per autoapprovvigionamento)	Divieto di insediamento		Come in zona di rispetto primaria	
E	ATTIVITA' DI AUTOTRASPORTO	c p n	Trasferimento pianificato. Immediate disposizioni ordinarie per piazzole lavaggio e travaso, impianto raccolta e dissolazione acqua prima pioggia	Divieto di insediamento		Come in zona di rispetto primaria	
F	ATTIVITA' DI AUTORIZZAZIONE RIPARAZIONE DI MACCHINE UTENSILI		Pianificazione del trasferimento disciplina con ordinanza di stoccaggi e fognature interne	Ordinanza di trasferimento		Come in zona di rispetto primaria	
G	CENTRI DI AUTOROTTAMAZIONE E ROTTAMAZIONE		Divieto di insediamento	Ordinanza di trasferimento		Come in zona di rispetto primaria	
4	ATTREZZATURE PUBBLICHE E D'USO PUBBLICO		vedi singole voci			vedi singole voci	

A	INFRASTRUTTURE TECNOLOGICHE		Da soddisfare comunque prescrizioni punti 5.6.7, vedi inoltre singole voci			Da soddisfare comunque le prescrizioni punti 5.6.7., vedi inoltre singole voci	
A.1	DISCARICHE E RIFIUTI	e p n	Rimozione imposta dall'Autorità competente e bonifica delle aree	Divieto di insediamento (anche per rifiuti inerti)	e v n	Come zona di rispetto primaria	
A.2	ALTRI IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO E LO SMALTIMENTO DEI RIFIUTI		Trasferimento pianificato. Monitoraggio di eventuali aspetti di degrado	Trasferimento disposto dall'Autorità competente	e v n	Come zona di rispetto primaria	
A.3	IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO E LA DEPURAZIONE DI ACQUE REFLUE		Trasferimento pianificato. Controlli sistematici e immediati provvedimenti per sicurezza manufatti e reti. Disposizioni specifiche per accertati scambi ricettore/falda	Divieto di insediamento	e v n	Come zona di rispetto primaria	
A.4	MACELLI E MERCATI BESTIAME		Divieto di insediamento, salvo accertata insistenza di soluzioni tecniche alternative	Ordinanza di trasferimento	e v n	Come zona di rispetto primaria	
A.5	CENTRALI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA	e p n	Trasferimento pianificato. Provvedimenti immediati per sicurezza stoccaggi idrocarburi e reti fognarie	Divieto di insediamento	e v n	Come zona di rispetto primaria	
A.6	CENTRI, AZIENDE E STAZIONI DI TRASPORTO PUBBLICO (autoflustrario, ferroviario, aereoportuale)	e p n	Trasferimento pianificato. Provvedimenti immediati per sicurezza stoccaggi idrocarburi, reti fognarie interne, piazzale travaso liquidi, aree sosta mezzi etc.	Divieto di insediamento	e v n	Come zona di rispetto primaria	
B	ATTIVITA' DI SERVIZIO GENERALE		Da soddisfare comunque prescrizioni punti 5.6.7				

B.1	CENTRI OSPEDALI E CASE DI CURA	e p n	Attuazione di provvedimenti per l'attenuazione del rischio	Trasferimento pianificato. Attuazione di provvedimenti per l'attenuazione del rischio	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
B.2	CENTRI CARCERARI E CASERME	e p n	Divieto di insediamento	Trasferimento pianificato. Provvedimenti immediati per sicurezza stoccaggi idrocarburi, reti fognarie etc.	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
B.3	SERVIZI CIMITERIALI	e p n	Divieto di insediamento	Trasferimento pianificato. Monitoraggio locale	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
C	IMPIANTI E ATTREZZATURE PER LO SPORT E IL TEMPO LIBERO	e	Da soddisfare comunque prescrizione punti 5.6.7				e
C.1	BACINI IDRICI PER LA NAUTICA, MOTONAUTICA, PESCA SPORTIVA	e p n	Mantenimento subordinato all'attuazione delle condizioni di campo acquifero protetto a partire dal fondo dell'invaso	Possibilità di mantenimento subordinato all'attuazione di interventi per migliorare artificialmente le condizioni di protezione	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
C.2	CENTRI SPORTIVI CON ATTIVITA' DI BALNEAZIONE	e p n	Mantenimento subordinato all'esecuzione di opere per la sicurezza delle reti di deflusso di acque reflue	Divieto di insediamento	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n
C.3	CAMPEGGI ED AREE ATTREZZATE PER ROULOTTES	e p n	Ordinanza di trasferimento	Divieto di insediamento	e v n	Come zona di rispetto primaria	e p n

4	PARCHEGGI PUBBLICI (anche in connessione con attività di servizio)	e p n	Ammessi in connessione ad attività autorizzate in zona di rispetto secondaria previa realizzazione interventi ad opere per assicurare impermeabilizzazione piazzali e tenuta rete	Mantenimento condizionato ad adeguamento tecnico e solo per strutture di dimensione modesta	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n
5	ATTIVITA' RESIDENZIALI, DIREZIONALI E SIMILI	e p n	Monitoraggio: eventuali disposizioni in esito ai risultati	Divieto di insediamento	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n
6	EDIFICI, INSEDIAMENTI DOTAZIONI COLLATERALI	e p n	Monitoraggio ed assunzioni di provvedimenti in esito ai risultati	Divieto di insediamento, salvo le disposizioni relative ad acquiferi urbani	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n
ELEMENTI COSTITUTIVI DEGLI EDIFICI							
A.1	FONDAZIONI PROFONDE	e p n	Vedi disposizioni di cui al punto 6	Vietate	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n
A.2	FONDAZIONI SUPERFICIALI	e p n	Vedi disposizioni di cui al punto 6	Vedi disposizioni relative al punto 6	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n
B	OPERE IDROIGIENICHE	e	Vedi disposizioni di cui al punto 6	Vedi disposizioni relative al punto 6	e	Come in zona di rispetto primaria	e
B.1	FOSSE BIOLOGICHE O IMHOFF	e p n	Vedi disposizioni di cui al punto 6	Vedi disposizioni relative al punto 6	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n
B.2	POZZI NERI A TENUTA	e p n	Vedi disposizioni di cui al punto 6	Vedi disposizioni relative al punto 6	e v n	Come in zona di rispetto primaria	e p n

B.3	DISPERSORI (pozzi perdenti) OD EVENTUALI DISPOSITIVI DI SUBIRIGAZIONE	e p n	Ordinanza di eliminazione		e v n	e	Come in zona di rispetto primaria		e p n
			Vietati						
B.4	TUBAZIONI ED OPERE DI COLLETTAMENTO AI RICETTORI DI ACQUE NERE E MISTE	e p n	Eventuali disposizioni per rinnovo e ristrutturazione conseguenti agli esiti del monitoraggio	Accertamento delle condizioni e tecnologie costruttive e conseguenti disposizioni ordinarie per rinnovo	e		Disposizioni per rinnovo e ristrutturazione in dipendenza dagli esiti del monitoraggio		e
			In relazione all'ammissibilità di interventi edificatori, ammessi con garanzie costruttive particolari	Vedi disposizioni di cui al punto 6. Interventi sostitutivi e di rinnovo eventualmente disposti con ordinanza per edifici preesistenti	v		Ammessi interventi di sostituzione e rinnovo a servizio di edifici esistenti, con miglioramento delle garanzie	Come in zona di rispetto primaria	p
B.5	TUBAZIONE ED OPERE DI COLLETTAMENTO DI ACQUE METEORICHE	e p n	Ammesse, previa adeguate garanzie costruttive nei limiti di ammissibilità degli interventi edificatori, o in relazione a preesistenza	Possibili disposizioni ordinarie per sostituzioni e rinnovi in esito ai risultati del monitoraggio e/o all'accertamento di specifiche situazioni di rischio	e		Valgono le prescrizioni relative alla situazione di campo acquifero protetto in zona di rispetto primaria	Ammesse	e
				Vedi disposizioni relative al punto 6.A	v				p
					n				n
6 C	DOTAZIONI COLLATERALI AGLI EDIFICI ED INSEDIAMENTI		Vedi singole voci				Vedi singole voci		
C.1	CISTERNE INTERRATE DI IDROCARBURI PER RISCALDAMENTO		Eliminazione, in relazione a possibilità di collegamento alla rete dei gas metano e a servizi di teliscaldamento			e	Come in zona di rispetto primaria		e
			Realizzazione vietata			v			p
C.2	POZZI D'USO DOMESTICO OD EXTRA DOMESTICO PER FORNITURE D'ACQUA POTABILE O DOTAZIONE SERVIZI IDROIGIENICI	e p n	Acquisizione al sistema di monitoraggio. Divieto di uso in caso di possibilità di allacciamento all'acquedotto degli edifici preesistenti serviti		c		Come in zona di rispetto primaria		e
			Realizzazione consentita solo quale intervento sostitutivo e servizio di edifici preesistenti non allacciati e/o allacciabili all'acquedotto		v				p
C.3	POZZI D'USO CIVILE TECNOLOGICO (fluido di scambio termico) SENZA REIMMISSIONE IN FALDA	e p n	Acquisizione al sistema di monitoraggio e divieto d'uso		c		Acquisizione al sistema di monitoraggio e divieto d'uso	Acquisizione al sistema di monitoraggio; mantenimento in uso in relazione all'inesistenza di alternative	e
					v				p
					n		Vietati		n
C.4	POZZI D'USO CIVILE TECNOLOGICO (fluido di scambio termico) CON REIMMISSIONE IN FALDA (pompe di calore acqua - acqua)		Ordinanza di eliminazione		e		Come in zona di rispetto primaria		e
			Vietati		v				p
					n				n
C.5	POZZI DESTINATI AD INNAFFIAMENTO DI ORTI E GIARDINI CHE CAPTANO FALDE SOSPENSE	e p n	Determinazione sul mantenimento in relazione agli esiti dell'attività di monitoraggio	Vietati	e		Valgono le prescrizioni relative alle condizioni di campo acquifero in zona di rispetto primaria	Ammessi	e
					v				p
					n				n
D	UTILIZZAZIONE DELLE AREE DI PERTINENZA DI EDIFICI ED INSEDIAMENTI		Vedi singole voci				Vedi singole voci		

D.1	DEPOSITO O AMMASSO A CIELO APERTO DI SOSTANZE POTENZIALMENTE NOCIVE AGGREDIBILI O DILAVABILI DAGLI AGENTI ATMOSFERICI	e p n	Vietato		e v n	e	Come in zona di rispetto primaria		e p n
D.2	PIAZZALE PER IL LACAGGIO VEICOLI O IL TRAVASO DI IDROCARBURI	e p n	Immediate disposizioni ordinarie per l'attuazione di opere per l'attenuazione del rischio in attesa del trasferimento dell'attività principale		e		Valutazione di ammissibilità caso per caso con possibili disposizioni per la riduzione del rischio		e
			Attività ed uso vietati		v		Attività vietata		p
D.3	PARCHEGGI DI PERTINENZA	e p n	Eventuali disposizioni subordinate agli esiti del monitoraggio	Come per il punto 4.D	e		Ammessi in relazione all'ammissibilità dell'attività principale		e
			Realizzazione ammessa in caso di attività edificatorie consentibili, previa adozione di adeguate metodologie costruttive	Come per il punto 4.D	v		Valgono le prescrizioni relative alle condizioni di campo acquifero protetto in zona di rispetto primaria		p
D.4	ARREDO A VERDE	e p n	Amnesso, nel rispetto delle prescrizioni di cui al punto 4.C		e		Come in zona di rispetto primaria		e
D.5	ARREDO CON PAVIMENTAZIONE	e p n	Amnesso		v		Come in zona di rispetto primaria		p
7	INFRASTRUTTURE PER IL TRAFFICO. OPERE DI URBANIZZAZIONE. OPERE IDRAULICHE		Vedi singole voci				vedi singole voci		
A	VIABILITA'		Vedi singole voci				Vedi singole voci		
A.1	AUTOSTRADE	e p n	Pianificazione di opere di riduzione del rischio (impermeabilizzazione di manufatti laterali, vasche di impermeabilizzazione di caduta per le acque reflue, barriere di contenimento contro la fuoriuscita di autostime etc.) da programmare con grado di priorità correlato alle condizioni di vulnerabilità		e		Come in zona di rispetto primaria		e
					v				p
					n				n
A.2	VIABILITA' ORDINARIA AD ELEVATO CARICO DI TRAFFICO	e p n	Realizzazione di interventi per l'impermeabilizzazione delle opere di collettamento acque meteoriche e barriere di contenimento contro i sversamenti	Verificare la possibilità di tracciati alternativi in variante. In difetto: attuazione di opere per la prevenzione dei rischi come a lato opposto	e		Come in zona di rispetto primaria		e
			Ammissibile solamente se comprovata assenza di alternative atte ad evitare l'interessamento della zona	Vietata	v				p
					n				n
A.3	VIABILITA' SECONDARIA	e p	Amnessa con attuazione di opere per l'attenuazione del rischio da definirsi in relazione all'uso della rete e alla distanza	Verificare possibilità di tracciati alternativi in variante. In difetto: attuazione di opere per la prevenzione dei rischi come a lato opposto	e		Amnessa con attuazione di opere per l'attenuazione del rischio da definirsi in relazione all'uso della rete e alla		e
					v		Amnessa		p

		delle captazioni	Ammissa in assenza di alternativa atte ad evitare l'interessamento della zona. Prescrizioni attuative per opera di deflusso acque meteoriche		distanza dalle captazioni	
A.4	VIABILITA' VICINALE E DI COLLEGAMENTO INTERNO	e p n	Ammesse	e v n	Ammissa	e p n
A.5	PISTE CICLABILI E PEDONALI	e p n	Ammesse	e v n	Come in fascia di rispetto primaria	e p n
A.6	AREE DI SOSTA E PARCHEGGIO	e p n	Vedi disposizioni relative al punto 6.D.3	e v n	Come per il punto 6.D.3.	e p n
B	RETI FOGNARIE ED ALTRE OPERE IDRAULICHE		Vedi singole voci		Vedi singole voci	
	RETI FOGNARIE ED ALTRE OPERE IDRAULICHE		Vedi singole voci		Vedi singole voci	
B.1	CANALI DI SCOLO A CIELO APERTO NON IMPERMEABILIZZABILI		Programmazione di interventi di impermeabilizzazione del fondo e delle fiancate, ovvero realizzazione di tubazioni per infiltrazione convogliamento delle portate nere. Attuazione correlata al grado di rischio e/o ai risultati dell'attività di monitoraggio	e v n	Come in fascia di rispetto primaria	e p n
B.2	CANALIZZAZIONE IMPERMEABILIZZATE DI ACQUE REFLUE NERE E MISTE	e p n	programmazione di interventi di sostituzione e rinnovo da attuare con grado di priorità legata alle effettive condizioni delle reti realizzazione ammessa nei casi tecnicamente indispensabili, previa posa di tubazioni e pozzetti in cassonetto a sua volta impermeabile	e v n	Valgono le prescrizioni relative alle situazioni di campo acquifero protetto in zona di rispetto primaria	e p n
B.3	OPERE DI COLLETTAMENTO DI SOLE ACQUE METEORICHE	e p n	monitoraggio della qualità delle acque convogliate e conseguenti determinazioni sulla necessità di impermeabilizzazione in relazione a portate, grado di protezione intrinseco, distanza delle captazioni ammesse: obbligo di impermeabilizzazione per portate rilevabili	e v n	Valgono le prescrizioni relative alle situazioni di campo acquifero protetto in zona di rispetto primaria	e p n
B.4	CANALIZZAZIONI IRRIGUE	e p n	ammesse: monitoraggio della qualità delle acque convogliate e conseguenti determinazioni su opportunità priorità modalità per eventuali opere di tamponamento in relazione agli usi specifici del territorio e al grado di rischio rilevato	e v n	Ammesse: esercizio condizionato in relazione agli esiti del monitoraggio sulla qualità delle acque convogliate	e p n

B.5	OLEODOTTI	e p n	prescrizione agli enti gestori di procedere alla programmazione di varianti di tracciato atte ad evitare l'interessamento della fascia da protezione, ad attuarsi con priorità correlata al grado di vulnerabilità	e v n	Come per zona di rispetto primaria	e p n
B.6	FONTANILI E RISORGIVE	e p n	divieto di realizzazione consenso e localizzazione, compresi gli elementi dismessi, determinazione su opportunità priorità modalità per eventuali opere di tamponamento in relazione agli usi specifici del territorio e al grado di rischio rilevato	e v n	Come per zona di rispetto primaria	e p n

Tab. 6.3 - Normative proibibili per i centri di pericolo posti in zone di rispetto (da Muratori A., 1988)

Attività o insediamento	Vincoli
Autostrade. Segnalazione Costruzioni di edifici destinati all'allevamento di bestiame. Installazione	Sono regolamentati i trasporti di sostanze pericolose in grado di contaminare le acque sotterranee L'installazione deve soddisfare le prescrizioni relative alle aree di salvaguardia. Installazione proibita in prossimità di captazioni e prese.
Campeggi Cave	I campeggi sono vietati nel raggio di 200 m dalle captazioni di acque destinate al consumo umano Lo sfruttamento di materiali inerti in una cava è soggetto ad autorizzazione. Deve essere assicurata una gestione corretta per garantire la compatibilità con le acque riconosciute in grado di soddisfare i fabbisogni della collettività
Cimiteri	Nel caso di costruzione o ingrandimento deve essere richiesta una valutazione in merito da parte di un geologo per riconoscere i possibili rischi.
Stoccaggio di rifiuti. Discariche controllate	L'apertura di discariche è soggetta ad autorizzazione e ad apposita istruttoria. Gli stoccaggi sono proibiti all'interno della zona di tutela assoluta. Le discariche controllate sono proibite nella zona di rispetto ristretta. L'influenza di discariche controllate nella zona di rispetto allargata deve essere controllata con pozzi esistenti o con quelli di monitoraggio dell'impianto stesso.
Detergenti di particolari categorie. Sversamento Acque di fognatura pubblica. Scarico	Sversamenti proibiti nelle acque sotterranee Per evitare la contaminazione delle acque sotterranee. - Il tracciato dei collettori non deve interessare la zona di tutela assoluta e quella di rispetto ristretta; - l'attraversamento della zona di rispetto allargata è soggetta a particolari precauzioni, da definire in relazione al parere di un geologo. In caso di spandimento sul suolo (con o senza utilizzo agricolo), deve essere opportunamente valutata l'attitudine dei terreni all'operazione consultando gli Enti competenti e il geologo. Gli scarichi sono proibiti nei pozzi, nelle perforazioni o nelle gallerie filtranti dismessi. I pozzi di dispersione sono proibiti per acque fognarie pubbliche. L'iniezione delle acque residue in unità geologiche profonde è consentita solo in casi eccezionali e dopo parere degli Enti competenti.
Acque fognarie domestiche. Scarico	Sono proibiti gli scarichi in pozzi di resa e pozzi di raccolta. I pozzi di dispersione devono essere autorizzati dall'Autorità sanitaria; sono proibiti nelle zone di tutela assoluta.
Acque reflue. Spandimento	Installazioni classificate Dall'esame del piano di spandimento deve essere verificato da Enti competenti che siano osservate le prescrizioni relative alla tutela delle acque: - barbabietole da zucchero - distillerie di melassa - distillerie di succo di barbabietola - fabbriche di fecola di patate.
Effluenti liquidi radioattivi. Scarico	Lo scarico di effluenti radioattivi in acque sotterranee è proibito. Il geologo deve essere consultato sulle misure da intraprendere per la protezione delle acque sotterranee.
Fosse settiche e dispositivi autonomi di smaltimento Letamaie e deposito di altre deiezioni solide. Evacuazione e stoccaggio	Installazioni sottoposte al parere dell'Autorità sanitaria L'installazione di impianti permanenti devono soddisfare le prescrizioni delle aree di salvaguardia. Sono proibiti in vicinanza di opere di captazione e prese.
Stoccaggio di gas	L'installazione e l'utilizzo di stoccaggio sotterraneo devono essere sottoposti a misure che proteggono le captazioni e le acque sotterranee. Le acque sotterranee contenute nelle formazioni geologiche in cui avviene lo stoccaggio di gas non possono essere destinate all'alimentazione umana.
Oli e lubrificanti. Sversamento Idrocarburi liquidi e liquefatti. Stoccaggio e trasporto	Lo sversamento in acque sotterranee è proibito. Lo stoccaggio è sottoposto ad autorizzazione. E' necessario uno studio per evidenziare la possibilità che siano presenti eventuali intercomunicazioni tra gli orizzonti acquiferi ed assicurare la protezione delle acque sotterranee. La costruzione di sistemi di trasporto del gas è sottoposta a regolamentazione al fine di evitare possibilità di contaminazione.
Liquidi infiammabili	Installazioni classificate Lo stoccaggio in serbatoi interrati è proibito in zone di alta vulnerabilità (appositamente individuate). I serbatoi interrati devono soddisfare ai seguenti requisiti: - controllo del riempimento - costruzione di una intercapedine di ritenzione con le seguenti volumetrie: - 100% della capacità del serbatoio più grande; - 50% della capacità complessiva dei serbatoi

Attività o insediamento	Vincoli
	Per lo stoccaggio di combustibili e oli pesanti: - 50% della capacità del serbatoio più grande; - 20% della capacità complessiva dei serbatoi Installazioni non classificate I serbatoi con sicurezza rinforzata sono ammessi nelle zone di tutela delle acque. La distribuzione per canalizzazione è proibita. I serbatoi devono essere localizzati in una intercapedine stagna e incombustibile con le seguenti volumetrie: - 100% della capacità del serbatoio più grande; - 50% della capacità complessiva dei serbatoi Per lo stoccaggio di combustibili e oli pesanti: - 50% della capacità del serbatoio più grande; - 20% della capacità complessiva dei serbatoi. Serbatoi in materia plastica rinforzata possono essere messi in serie per costituire uno stoccaggio di 10.000 l. La loro intercapedine di ritenzione stagna deve avere una capacità pari alla volumetria globale dello stoccaggio.
Scoli, acque reflue di allevamenti di bestiame, fanghi di depurazione, ecc. Evacuazione e stoccaggio.	Le opere di stoccaggio devono essere stagne. Lo scarico esterno, come nei corsi d'acqua, nei pozzi di raccolta e nelle cave, è proibito.
Scoli, acque reflue di allevamenti di bestiame, fanghi di depurazione, ecc. Spandimento.	Lo spandimento deve rispettare le prescrizioni a tutela delle aree di salvaguardia; è comunque proibito in vicinanza delle captazioni e delle prese. Il piano di spandimento è sottoposto all'approvazione dell'Autorità sanitaria. Riferimento alle disposizioni particolari per ogni tipo di prodotto.
Lagoni Installazione Materiale di spurgo. Sversamento	La loro installazione deve soddisfare le prescrizioni delle aree di salvaguardia. Lo sversamento e scarico sono proibiti senza autorizzazione. Sono proibiti nelle aree di salvaguardia.
Materiale ed attività in grado di alterare la qualità delle acque. Sversamenti, spandimento, infossamento, stoccaggio.	Sono sottoposti ad autorizzazione tutti gli sversamenti, flussi, getti, stoccaggi diretti e indiretti d'acqua o di materiale e in generale tutte le attività in grado di alterare la qualità delle acque sotterranee. Lo spandimento degli effluenti sul suolo deve evitare la contaminazione delle acque sotterranee. Per la sorveglianza della qualità delle acque è opportuno installare pozzi di monitoraggio nelle aree di spandimento. Infossamento e stoccaggio dei rifiuti sono sottoposti agli stessi obblighi. Possono essere rese più severe le prescrizioni da parte degli Enti competenti nel caso lo giustifichi l'esigenza di protezione delle acque sotterranee. Le autorizzazioni sono subordinate alle esigenze dell'approvvigionamento idrico potabile. Il geologo deve essere consultato obbligatoriamente sia per quanto riguarda le falde superficiali (entro i 10 m) che per quelle profonde. Le operazioni esistenti non soggette a disposizioni, possono essere regolate d'ufficio dagli Enti competenti.
Materiale putrescibile. Stoccaggio	L'installazione deve soddisfare le prescrizioni delle aree di salvaguardia. Gli stoccaggi sono proibiti nelle cave, negli scavi in genere e in prossimità di captazioni e prese. Sversamento e depositi proibiti in corsi d'acqua e negli acquiferi alluvionali.
Materiale usato o in generale pericoloso Porcilaie. Spandimento dei liquami	Installazioni classificate Le porcilaie che ricadono nelle installazioni classificate (più di 50 capi di 30 kg) devono presentare un piano di spandimento all'esame degli Enti competenti, che devono verificare il rispetto delle prescrizioni relative alle aree di salvaguardia.
Prodotti chimici industriali. Stoccaggio Pozzi di raccolta e di resa Pozzi e perforazioni	Lo stoccaggio è sottoposto ad apposite regolamentazioni. Sono vietati In assenza di una procedura di autorizzazione, la loro realizzazione deve essere denunciata all'Autorità sanitaria. I prelievi di acque sotterranee superiori a 8 m/ora devono essere dichiarati e sottoposti a sorveglianza da parte dell'Ente pubblico competente. Silo per la conservazione di alimenti per animali L'installazione è regolamentata all'interno delle aree di salvaguardia; è invece proibita in prossimità di captazioni e prese. L'esecuzione di opere è sottoposta a dichiarazione all'Autorità sanitaria. Tutte le attività suscettibili di nuocere alla qualità delle acque sono proibite.
Sorgenti. Captazioni Sorgenti e pozzi. Inquinamento	

Tabella 6.4

Tipologia di attività	Possibili sostanze critiche	Quantità critiche
Composti chimici in agricoltura	Ammoniaca	725 kg (NH_4NO_3)
Magazzini e distribuzione	Nitrati	168 kg (NH_4NO_3)
	Solfati	1451 kg (NH_4) $_2\text{SO}_4$
	Cloruri	544 kg (KCl)
Fabbriche di lamine di alluminio	Pesticidi ed erbicidi	416 l
	Solventi organici	397 l
	Metiletilchetone	265 l
	1,1,1-Tricloroetano	416 l
	Benzina e gasolio	454 kg (NaCl)
	Sali clorurati	41 kg $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
	Sali di cromo	136 kg (AlF_3)
Riduzione dell'alluminio	Sali fluorurati	41 kg $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
	Sali a base di cromo	416 l
	Benzina e gasolio	
	Rifiuti fluorurati e clorurati	
Produzione di materiali da costruzione	Pentaclorofenolo	265 l (5% in soluzione)
	Sali di rame	41 kg (CuSO_4)
	Sali di cromo	41 kg $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
	Colle a base di resine fenoliche	6.8 kg (formaldeide)
	Soda caustica	385 kg
Industrie chimiche	Possono essere presenti tutti i tipi di prodotti chimici	
Magazzini e distribuzione di prodotti chimici	Possono essere presenti tutti i tipi di prodotti chimici	
Materiali per pulizia, produzione e distribuzione	Alcool isopropilico	416 l
	Fenoli clorurati	9 l
	Dibutilftalato	11355 l
Pulizia a secco	Tricloroetano	9.5 l
	Tetracloroetene	7.6 l
	Solventi organici	416 l
Enti educativi	Possono essere presenti tutti i tipi di prodotti chimici	
Industrie elettriche ed elettroniche	Metalli (Cr, Cu, Ni, Zn)	41 kg
	Cianuri	568 l (1% in soluzione NaCN)
	Cloruro di metilene	37.8 l
	1,1,1-Tricloroetano	265 l
	Acetone	227 l
	Metiletilchetone	397 l
	Formaldeide	3.8 l
Operazioni di galvanoplastica	Metalli (Cr, Cu, Ni, Zn)	41 kg
	Cianuri	568 l (1% in soluzione NaCN)
	Fosfato di sodio	1136 (30% in soluzione)
	Tricloroetano	9.5 l
	Tetracloroetene	7.6 l
	Xilene	416 l
	Altri solventi	416 l
Fonderie	Metalli (Cr, Cu, Ni, Zn)	41 kg
	Cianuri	568 l (1% in soluzione NaCN)
	Tricloroetano	9.5 l
	Alcool isopropilico	416 l
	Soda caustica (soluzione di pulizia)	946 l (35% in soluzione)
Finissaggio mobili	Cloruro di metilene	37.8 l
	Acetone	227 l
	Solventi organici	416 l
Prodotti medici	Prodotti di verniciatura	
	Idrocarburi aromatici mono e policiclici	
	Droghe a scopo terapeutico	3.78 l
	Contaminanti biologici	
Industrie di vernici e distribuzione all'ingrosso	Sali metallici (Cr, Pb, Sb, Zn)	41 kg

Tipologia di attività	Possibili sostanze critiche	Quantità critiche
	Esteri ftalici	
	Cloruro di metilene	37.8 l
	Metiletilchetone	397 l
	Glicole etilenico	28.4 l
	Solventi organici	416 l
Negozi di vernici	Solventi organici	416 l
	Xilene	416 l
	Cloruro di metilene	37.8 l
Prodotti petroliferi (produzione e stoccaggio) ; distribuzione dei prodotti petroliferi	Benzina	416 l
	Gasolio e oli pesanti	416 l
	Oli lubrificanti	416 l
	Glicole etilenico	28.4 l
	Alcool metilico	227 l
Laboratori fotografici	Sali d'argento	22.7 kg (AgNO_3)
	Fenoli	4.5 kg
	Cianuri	56.7 kg (NaCN)
	Idrocarburi aromatici	416 l
	Sali d'argento	22.7 kg (AgNO_3)
Industrie poligrafiche	Idrocarburi aromatici	416 l
	Fenoli	4.5 kg
	Cianuri	56.7 kg (NaCN)
	Tetracloroetene	7.6 l
	Solventi organici	416 l
Distributori di combustibili	Benzina	416 l
	Gasolio	416 l
	Oli lubrificanti	416 l
	Glicole etilenico	28.4 l
	Alcool metilico	416 l
Lavorazione metalli	Sali metallici (Cr, Cu, Ni, Zn)	41 kg
	Soluzioni caustiche	946 l
	Acido cloridrico	587 l
	Acido solforico	568 l
	Solventi organici	416 l
	Xilene	416 l
	Soda caustica	946 l (35% in soluzione)
	Fosfato di sodio	1135 l (30% in soluzione)
	Idrossido di sodio	363 kg

Tab. 6.5 – Attività e quantità critiche di sostanze nella Spokane County, Washington (da Jaffe M., 1987)

Livello di rischio	Attività	
BASSO	A	1. Aree intorno ai pozzi acquistate dall'Ente
		2. Spazi verdi
		3. Parchi
		4. Boschi per produzione del legno
		5. Spazi verdi ricreativi
	B	1. Campi coltivati, prati e pascoli, cereali e ortaggi
		2. Bassa densità residenziale (lotti maggiori di 8000 m ²)
		3. Chiese e Uffici pubblici
	C	1. Produzione agricola: caseifici, allevamento di animali, vivai, frutteti
		2. Campi di golf, cave
		3. Media densità residenziale (lotti tra 2000 e 4000 m ²)
	D	1. Strutture pubbliche: ospedali, scuole, impianti di trattamento, garages, magazzini di sale
		2. Alta densità residenziale (lotti inferiori a 2000 m ²)
		3. Aree commerciali: limitati quantitativi di materiali pericolosi immagazzinati e trattamento delle acque di scarico
ALTO	E	1. Aree commerciali con vendita al dettaglio: benzina, automobili e riparazione autoveicoli, materiale agricolo, pulizia a secco, laboratori fotografici, negozi e servizi, materiale medico, stampa, distributori di combustibili.
		2. Aree industriali: tutti i centri di produzione e trasformazione, laboratori di ricerca
		3. Stoccaggio sotterraneo di prodotti chimici e idrocarburi
		4. Stoccaggio rifiuti: pozzi di reiniezione, fosse, lagoni, discariche di rifiuti solidi urbani, trattamento di rifiuti pericolosi, siti di stoccaggio e discarica

Tab. 6.6 - Livello di rischio per le acque sotterranee associato all'uso del suolo

Fattore di rischio relativo alla sorgente inquinante	Peso dell'indice di rischio *	Fattore di rischio relativo al grado di protezione	Peso dell'indice di rischio
A. Potenziale tossicità dell'inquinante scaricato	Composti chimici tossici	3	E. Livello di protezione naturale
	Batteri e virus patogeni	2	Scarico all'interno di unità geologiche
	Composti che influenzano caratteri organolettici	1	Scarico nel suolo
B. Potenziale concentrazione dell'inquinante scaricato	50-100% (alta)	3	Scarico in superficie
	10-50% (media)	2	F. Livello di prevenzione e di regolamentazione
	<10% (bassa)	1	Basso
C. Potenziale carico inquinante per unità di superficie	> 0.04 m/giorno	3	Medio
	0.02-0.04 m/giorno	2	Alto
	< 0.02 m/giorno	1	Entro 805 m
D. Frequenza dello scarico di inquinante	30-365 giorni/anno	3	Entro 3219 m
	8-30 giorni/anno	2	Entro 8047 m
	0-7 giorni/anno	1	

* Indice di rischio : basso-1, medio-2, alto-3.

** La distanza a valle secondo il flusso idrico sotterraneo è più importante di quella a monte.

Tab. 6.7 - Sistema di classificazione dell'indice di rischio di contaminazione delle acque sotterranee (da Born S. e AL., 1985)

Sorgente potenziale di contaminazione	Fattore di rischio relativo alla sorgente inquinante (AxBxCxD)	Fattore di rischio relativo al grado di protezione (ExFxG)	Indice di rischio per le acque sotterranee (AxBxCxD)x(ExFxG)
Serbatoi interrati di sostanze chimiche	(3x3x3x1) = 27	(3x3x3) = 27	729
Serbatoi fuori terra di sostanze chimiche	(3x3x3x1) = 27	(1x2x3) = 6	162
Sversamento di sostanze tossiche e pericolose	(3x3x3x1) = 27	(1x2x3) = 6	162
Tubazioni di trasporto di sostanze tossiche	(3x3x1x1) = 9	(1x2x3) = 6	54
Acque irrigue di ripresa	(3x2x3x1) = 18	(3x2x2) = 12	216
Spandimento di letame	(2x1x1x1) = 2	(1x2x2) = 4	8
Trattamento con fertilizzanti	(1x1x1x1) = 1	(1x3x2) = 6	6
Trattamento con fitofarmaci	(3x1x1x1) = 3	(1x2x2) = 4	12
Alimenti animali o liquami immagazzinati su suoli non adatti	(2x2x1x2) = 8	(1x3x2) = 6	48
Stoccaggio di letame in superficie	(2x2x2x1) = 8	(1x2x1) = 2	16
Fosse di letame (non impermeabilizzate)	(2x2x1x3) = 12	(3x3x1) = 9	108
Vecchie discariche senza drenaggio del percolato	(3x2x1x3) = 18	(3x3x3) = 27	486
Aree di scarico	(3x1x1x1) = 3	(1x2x1) = 2	6
Sistemi fognari privati	(2x1x2x3) = 12	(2x2x2) = 8	96
Stoccaggio di fanghi	(2x2x1x2) = 8	(2x2x2) = 8	64
Area di infiltrazione di effluenti fognari	(2x2x3x3) = 36	(2x1x1) = 2	72
Reticolo fognario	(2x2x1x1) = 4	(2x1x3) = 6	24
Ammasso di sali e fertilizzanti (non ricoperti)	(1x1x1x1) = 1	(1x2x3) = 6	24
Uso di fondenti stradali	(1x1x1x1) = 1	(1x2x3) = 6	12

Tab. 6.8 - Indice di rischio per le sorgenti di contaminazione delle acque sotterranee (da Born S. e AL., 1985)

Mezzo	Tossico per l'uomo				Tossico per l'ambiente	Esplosivo Infiammabile
	Inalazione	Ingestione	Contatto dermico	Cancerogeno- Mutageno- Teratogeno		
Aria	X					
Acque superficiali		X		X	X	
Acque sotterranee		X		X		
Suolo		X	X	X		
Sito in generale			X	X		X

Tab. 6.9 - Classificazione della pericolosità delle sostanze di cui al D.M. del 16 febbraio 1993

Frase di rischio	Punteggio	Frase di rischio	Punteggio
R1	3	R39	3
R2	2	R40	2
R3	1	R41-R42-R43-R44	1
R4-R5	2	R45	3
R6	3	R46-R47	2
R7	2	R48	*
R8-R9-R10	1	R49-R50	3
R11	2	R51	2
R12-R13-R14-R15	3	R52	1
R16	1	R53	*
R17	2	R54-R55-R56-R57	2
R18	1	R58	*
R19	2	R59	1
R20-R21-R22	1	R60-R61	3
R23-R24-R25	2	R62-R63	2
R26-R27-R28	3	R64	1
R29-R30	2		
R31	1		
R32	2		
R33	*		
R34-R35	2		
R36-R37-R38	1		

* non compare mai da solo sulle etichette

Tab. 6.10 - Classificazione della pericolosità dei composti in funzione delle frasi di rischio (punteggi crescenti in relazione al pericolo per l'uomo e l'ambiente da 1 a 3)

Affinità dei composti alle matrici ambientali	Matrici ambientali				Punteggio
	ARIA Volatilità - Pressione di vapore (kPa)	ACQUE SUPERFICIALI Solubilità (mg/l)	ACQUE SOTTERRANEE Solubilità (mg/l)	SUOLO* Coefficiente di partizione n-octanolo/acqua (log Kow)	
Bassa	< 0.5	< 100	< 100	< 2.3	1
Media	0.5 + 1.5	100 + 103	100 + 103	2.3 + 3.5	2
Alta	> 1.5	> 103	> 103	> 3.5	3

Tab. 6.11 - Classificazione della pericolosità delle sostanze in base alle caratteristiche di mobilità che le rendono presenti in determinati mezzi e da essi eventualmente trasportati.

Una terza possibilità consiste nel considerare quantità critiche di sostanze utilizzate o immagazzinate per le diverse attività che si svolgono sul territorio. L'inserimento in una delle categorie indicate in apposite codifiche implica che si abbia la presenza delle sostanze e dei quantitativi indicati in Tab. 6.5.

Una quarta possibilità consiste nell'eseguire una valutazione di rischio considerando anche le caratteristiche delle sostanze presenti, classificate con simboli e indicazioni di pericolo dal D.M. del 16 febbraio 1993 (esplosiva, comburente, facilmente infiammabile, altamente infiammabile, tossico, altamente tossico, corrosivo, nocivo, irritante). Tale valutazione può essere svolta in termini qualitativi, ad esempio utilizzando le definizioni date in Tabella 6.6 o secondo quanto suggerito nella metodologia proposta da Civita M., 1996.

Una ulteriore possibilità comprende l'adozione della procedura suggerita da Born S., e Al., 1985 che prevede le seguenti fasi:

- selezione dell'influenza delle caratteristiche degli inquinanti e del grado di protezione sul "peso" del rischio (Tab. 6.7);
- calcolo di un indice di rischio per le diverse sorgenti di contaminazione delle acque sotterranee (Tab. 6.8);
- calcolo dell'area di apporto degli inquinanti in un determinato territorio, data dal prodotto tra il numero di sorgenti e area potenziale stimata di apporto;
- calcolo dell'indice di rischio per la comunità dato dal prodotto dell'indice di rischio normalizzato $[(A \times B \times C \times D) \times (E \times F \times G)] / 1000$ e area di apporto degli inquinanti.

In questo modo è possibile anche valutare l'incidenza delle

principali sorgenti potenziali di contaminazione presenti su un territorio e quindi determinare le priorità degli interventi.

Infine un altro approccio relativo alla classificazione semplificata del rischio viene indicata da Ministère de l'Environnement, 1995.

L'approccio è basato su tre aspetti:

- la classificazione delle sostanze pericolose secondo anche quanto contenuto nel D.M. del 16 febbraio 1993 (Repubblica Italiana, 1993);
- l'affinità dei composti classificati alle diverse matrici ambientali (aria, acque superficiali, acque sotterranee e suolo);
- concentrazione della sostanza pericolosa in una eventuale miscela.

Si ricorda che i composti si possono raggruppare in funzione del pericolo per la salute umana e l'ambiente nel modo seguente (Tab. 6.9):

- per inalazione umana (R20, R23, R26, R29, R31, R32)
- per contatto cutaneo con l'uomo (R21, R24, R27, R34-R38, R41)
- per ingestione umana (R22, R25, R28)
- cancerogeno/mutageno/teratogeno per l'uomo (R39, R40, R42, R43, R45-R47, R49, R60-R64)
- ecotossicità (R50-R59)
- esplosivo e infiammabile (R1-R19, R30, R44).

Pertanto utilizzando un punteggio crescente rispetto alla pericolosità e variabile da 1 a 3 per la tipologia di sostanza (Tab. 6.10), per l'affinità con le matrici ambientali (Tab. 6.11) e per la concentrazione nella miscela (Tab. 6.12) può essere ottenuta una valutazione di rischio relativo.

In termini quantitativi la valutazione può essere attualmente eseguita su siti specifici mediante l'utilizzo di modelli che,

Tipo di sostanza in base al punteggio	Concentrazione nella miscela della sostanza	Punteggio effettivo da attribuire
1	< 10% > 10%	0.5 1
2	< 1% > 1%	1 2
3	< 0.1% > 0.1%	1.5 3

Tab. 6.12 - Revisione del punteggio da attribuire in relazione alla concentrazione di una sostanza all'interno di una miscela

partendo dalle caratteristiche e dai quantitativi delle sostanze considerate pericolose e adottando ipotesi cautelative, devono stimare le concentrazioni in arrivo alle opere di captazione.

Tale approccio non è al momento utilizzabile per fini di pianificazione territoriale su larga scala, ma è disponibile ad esempio per i siti contaminati da bonificare (ASTM, 1995 e U.S Environmental Protection Agency, 1996a e 1996b).

Autorizzazioni e prescrizioni

Nel caso di insediamenti e strutture preesistenti o che non trovano una precisa regolamentazione, deve essere eseguita una specifica valutazione della compatibilità con le aree di salvaguardia e, in caso di non compromissione della qualità delle acque sotterranee, possono essere date autorizzazioni con eventuali prescrizioni.

Il risultato delle operazioni deve essere conseguente a un'istruttoria che preveda idonee indagini; le attività autorizzate devono essere poi sottoposte a controlli nel tempo per verificare l'effettivo rispetto delle prescrizioni e l'impatto sulle risorse idriche sotterranee.

In caso di esiti negativi, le autorizzazioni possono essere revocate.

Variazioni degli standards costruttivi

Questa operazione, da eseguire in sede di Piano Regolatore Generale, deve tendere a limitare l'insediamento sparso e a concentrare le costruzioni, mantenendo però costante la volumetria massima edificabile all'interno delle aree di salvaguardia.

In tal modo si massimizzano le estensioni a verde e di riducono i problemi dovuti allo smaltimento diffuso delle acque reflue.

Trasferimento dello sviluppo degli insediamenti

È prevedibile lo spostamento dello sviluppo urbanistico e produttivo nel caso si sia in presenza di un'area di salvaguardia.

Questa possibilità è molto onerosa e complessa da realizzare e quindi necessita di una buona struttura amministrativa che possa orientare le scelte.

Inoltre, nel caso di insediamenti preesistenti, possono essere introdotti meccanismi di incentivazione che facilitano l'operazione di una progressiva riduzione del carico inquinante gravante sui territori da tutelare.

Introduzione di standards di prestazioni

Anche questo tipo di intervento tende a ridurre l'impatto antropico sulle aree di salvaguardia, introducendo misure e opere di notevole efficacia per quanto riguarda la protezione delle acque che richiedono però consistenti investimenti economici.

Può essere richiesta una messa in sicurezza di alcune attività nel caso sia possibile non operare un trasferimento. Non può essere in questo caso fornita una casistica esaustiva, ma devono essere valutate le situazioni caso per caso.

Revisione dei sistemi di drenaggio urbano

È un sistema adottato affinché le acque provenienti da determinati insediamenti, come quelle ad esempio di drenaggio stradale, siano convogliate al di fuori delle aree di rispetto. Inoltre possono essere prescritti sistemi di sicurezza per i materiali e le modalità di realizzazione delle reti fognarie locali (doppia camicia).

Revisione dei sistemi di smaltimento delle acque reflue domestiche

In zone non servite da fognature pubbliche sono presenti piccoli impianti di trattamento e fosse settiche.

Onde ridurre la possibilità di contaminazione delle acque possono essere imposte revisioni alle modalità di smaltimento, come ad esempio l'allacciamento ai collettori pubblici e altre garanzie di prestazioni.

Per le fosse settiche possono essere introdotte divieti, modalità di ispezioni o rifacimento; inoltre possono essere proibite sostanze disinfettanti che contengono solventi, come ad esempio 1,1,1-tricloroetano.

Per queste realizzazioni, che non presentano un grande investimento ma che intervengono sulla presenza di fonti inquinanti diffuse, sono però richieste periodiche ispezioni di controllo.

Serbatoi interrati di idrocarburi

Per quanto riguarda la presenza di queste strutture possono essere adottati provvedimenti di divieto oppure possono essere date prescrizioni circa le modalità costruttive (doppia camicia) e di prestazioni (verifiche periodiche).

Anche questo tipo di intervento richiede la possibilità di controlli.

Stoccaggio di sostanze pericolose

Nelle aree di salvaguardia deve essere minimizzato il rischio di contaminazione delle acque sotterranee e per tale ragione deve essere impedito lo stoccaggio provvisorio di materiali pericolosi al di sopra di determinate quantità.

Come nel caso precedente, necessitano possibilità di controllo da parte degli Enti pubblici.

6.2 Strategie di intervento o di protezione dinamica

Gli interventi finalizzati alla salvaguardia della possibilità di captare acque di qualità idonee per il consumo umano possono avvenire sul territorio circostante i pozzi o direttamente sulle acque sotterranee.

6.2.1 Interventi sul territorio

Informazione

L'attività informativa può essere eseguita a vari livelli e sostanzialmente a livello scolastico e dell'utenza.

Nei diversi gradi di istruzione scolastica possono essere preparati poster, diapositive, audiovisivi e testi a indirizzo didattico con spiegazione delle forme di approvvigionamento idrico, della localizzazione delle fonti, della perimetrazione delle aree di salvaguardia e dei problemi connessi alla loro gestione anche in relazione alla qualità delle acque captate.

Per quanto riguarda l'utenza è possibile la preparazione di un testo con gli stessi contenuti da distribuire al momento dell'attivazione del contratto di fornitura o periodicamente.

A tal proposito si cita l'esempio di un audiovisivo preparato dall'Amministrazione Provinciale di Parma e dal Comune di Fontanellato sulla presenza di pozzi e delle relative aree di salvaguardia dell'Azienda Speciale Consortile Approvvigionamento Acqua di Parma in località Priorato.

Segnalazione delle aree di salvaguardia

L'esistenza delle aree di salvaguardia deve essere opportunamente segnalata sul territorio e sulle vie di comunicazione.

La segnalazione deve essere visibile anche per i veicoli in transito e in tale segnalazione deve essere specificato l'Ente concessionario della risorsa, il tipo di area di salvaguardia, le norme per l'uso del suolo e le sanzioni per i trasgressori.

Il limite di ciascuna area deve essere tracciato in modo da essere facilmente riproducibile su una cartografia dettagliata e su una mappa catastale.

L'esatta perimetrazione sul campo deve essere adattata all'elemento topografico più vicino, facilmente riconoscibile.

Acquisizione delle aree

L'acquisto delle aree da parte della comunità rappresenta il sistema più spinto di tutela e quindi anche quello che più assicura gli obiettivi di garantire nel tempo la fornitura di acqua di idonea qualità.

Allo stesso modo questo intervento è quello che richiede i maggiori costi di investimento che devono essere poi assorbiti all'interno dei costi di gestione dell'approvvigionamento idrico.

Le aree acquistate devono essere poi gestite e possono a tal proposito essere adibite a uso pubblico, con restrizione delle attività praticabili.

Tuttavia nel caso di piccole captazioni i costi sono impraticabili se non in presenza di finanziamenti pubblici.

In qualche caso le aree possono essere acquistate da Enti senza fini di lucro o possono derivare anche da donazioni.

Un esempio in Italia di questa tipologia di intervento è costituito dal campo acquifero di Priorato posto in Comune di Fontanellato in Provincia di Parma; questo esempio verrà successivamente commentato (cap. 9.4).

Per quanto attiene alla gestione di queste aree si ricorda che la Legge 5 gennaio 1994 n.36 prevede che "il gestore del servizio idrico integrato può stipulare convenzioni con lo Stato, le regioni, gli enti locali, le associazioni e le università agrarie titolari di demani collettivi, per la gestione diretta dei demani pubblici o collettivi ricadenti nel perimetro delle predette aree, nel rispetto della protezione della natura e tenuto conto dei diritti di uso civico esercitati".

Servitù e convenzioni

In un modo meno impegnativo dal punto di vista finanziario possono essere realizzati, mediante servitù d'uso o convenzioni con privati, accordi per un uso regolamentato del suolo.

Possono essere così mantenute in essere alcune attività a basso rischio, diversamente da quelle giudicate troppo pericolose per la salvaguardia delle acque sotterranee. A tal scopo possono essere utilizzati incentivi economici e indennizzi.

Sorveglianza aziendale

Data la vulnerabilità dei siti e il grado di pericolosità, soprattutto se le aree di salvaguardia hanno un'efficacia limitata, è necessaria una sorveglianza aziendale da parte dell'Ente Concessionario della risorsa dell'opera di captazione e delle loro immediate vicinanze mediante personale e attrezzature appositamente realizzate.

Deve essere controllata anche l'efficienza delle zone di tute-

la assoluta e di rispetto e degli eventuali impianti di segnalazione e monitoraggio posti al loro limite esterno.

Controllo di situazioni locali

Le aree di salvaguardia molto spesso si sovrappongono a un'area in cui sono già presenti attività e insediamenti; si è in presenza dei cosiddetti acquiferi urbani.

Sia per le attività giudicate compatibili con adeguamenti che per quelle giudicate incompatibili, ma che richiedono interventi o spostamento a medio-lungo termine, è necessario attivare idonei controlli.

Provvedimenti per l'adozione delle migliori tecnologie

Per quanto riguarda la presenza di attività industriali si rende necessario incentivare gli adeguamenti tecnologici necessari per poter minimizzare le emissioni o immagazzinare quantitativi ridotti di materiali.

In merito ad altre attività si deve ad esempio intervenire sui sistemi di smaltimento delle acque, attuando programmi con interesse prioritario per le aree di salvaguardia; ad esempio in presenza di reti viarie si rende necessario ridurre il carico di fondenti utilizzati o di ridurre il carico di fondenti utilizzati sulle strade.

Per l'agricoltura si deve razionalizzare l'impiego di fertilizzanti e lo spandimento di liquami.

Un intervento a tal proposito è costituito dal "Piano-stralcio di settore del piano territoriale per il risanamento e la tutela delle acque per il comparto zootecnico" (Delibera Consiglio Regionale Emilia-Romagna 8 marzo 1995, n.2409) che prevede:

- aree vulnerabili: 170 kg/ha di azoto annui elevabili a 210 kg/ha in caso di presentazione di piano di utilizzazione agronomica (nei primi 4 anni i quantitativi possono essere rispettivamente di 210 e 250 kg/ha);
- aree non vulnerabili: 340 kg/ha di azoto annui.

6.2.2 Interventi sulle acque sotterranee

Predisposizione di un piano di intervento

In caso di presenza di degrado della qualità della risorsa deve essere possibile una sua sostituzione, in modo tale che possa essere garantito un normale approvvigionamento idrico.

L'attuale struttura acquedottistica italiana non consente però grandi margini di manovra, in quanto mediamente il fabbisogno è appena coperto dalle disponibilità; anche nelle situazioni migliori si hanno scarse disponibilità residue.

Monitoraggio delle acque

La possibilità di garantire un approvvigionamento idrico di qualità idonea è garantito dall'esistenza di un monitoraggio delle acque in arrivo alle captazioni.

Si possono a tal scopo utilizzare sia pozzi esistenti, se giudicati di caratteristiche idonee, che pozzi di monitoraggio da perforare appositamente.

Tale scelta è soprattutto condizionata in relazione all'utilizzo del criterio temporale nel dimensionamento delle zone di rispetto e in presenza di "acquifero vulnerabile" e di "acquifero urbano", laddove cioè l'imposizione di divieti e regolamentazioni presenta una "efficacia limitata", in quanto non realizzabili a breve-medio termine.

I dati rilevati dalla rete di monitoraggio locale devono essere confrontati con quelli provenienti dalla rete regionale in

modo tale da poter evidenziare l'esistenza di eventuali fenomeni che coinvolgano un vasto territorio e che possano avere anche ripercussioni locali. Si fa riferimento ad esempio agli inquinanti non puntuali come i nitrati, sulla cui crescita influiscono oltre alle situazioni locali anche la condizione più generale d'uso del suolo in agricoltura e di collettamento degli scarichi.

Semplificando la situazione delle attuali modalità di approvvigionamento idrico potabile, si potranno avere esigenze di monitoraggio in campi pozzi o in pozzi singoli a servizio di piccole comunità.

A - Sistema di monitoraggio in prossimità di campi-pozzi

In diverse strutture acquedottistiche è ormai accettato il principio di concentrare l'approvvigionamento in diversi poli di prelievo, da studiare, realizzare e gestire in modo opportuno.

In questo caso alla protezione statica viene abbinata un'efficiente rete di monitoraggio costituita da pozzi esistenti, se giudicati di idonee caratteristiche, o da nuovi pozzi da realizzare e destinare allo scopo.

Un tale programma prevede quindi le seguenti fasi di impostazione:

- scelta dei punti da sottoporre a monitoraggio (pozzi esistenti o pozzi nuovi da costruire);
- definizione del programma di monitoraggio in termini di

parametri da monitorare, frequenza dei controlli, metodi di campionamento e analitici da utilizzare.

B - Sistema di monitoraggio in prossimità di pozzi singoli

Anche se l'esistenza di pozzi singoli a servizio di piccole comunità dovrebbe essere superata dalle attuali tendenze, sancite anche dalla Legge 5 gennaio 1994, n.36 e dal relativo D.P.C.M. del 4 marzo 1996, la disposizione geografica del territorio italiano e la relativa struttura idrogeologica e socio-economica consente di affermare che la concentrazione dei prelievi nelle località più ricche di acque e proteggibili rimane un obiettivo a lungo termine e probabilmente irrealizzabile per modesti insediamenti.

In tal senso l'esperienza suggerisce che rimane ancora valida l'esigenza di realizzare captazioni singole nelle quali può essere adottata una protezione statica, ma diventa di difficile attuazione per ragioni economiche la protezione dinamica in quanto:

- è necessario eseguire idonee indagini idrogeologiche;
- si devono perforare pozzi di monitoraggio delle acque in arrivo alle captazioni;
- è necessario eseguire frequenti determinazioni analitiche.

Anche in questo caso risulta molto importante la conoscenza delle attività presenti sul territorio e dei fenomeni quantitativi in atto nelle falde.

Confidando anche nell'obbligatorietà di "controlli interni"

Tipo di gestione dell'area di salvaguardia	Numero di Stati	Tipo di gestione dell'area di salvaguardia	Numero di Stati
Approccio gestionale		Informazioni sulle potenziali sorgenti di contaminazione	1
Implementazione principale da parte dello Stato	5	Permessi	10
Compartecipazione tra Stato ed Ente locale	27	Revisione del piano	7
Prevalente implementazione dall'Ente locale	4	Prevenzione della contaminazione	5
Attività gestionali		Proibizione di usi, attività e dispositivi	13
Acquisizione	10	Sorveglianza sanitaria	3
Controllo delle attività agricole	10	Revisione statale di piani locali	2
Migliori pratiche gestionali	15	Assistenza tecnica	15
Censimento dei composti chimici	2	Controllo e gestione di inquinanti non specificati	8
Immagazzinamento di composti chimici e pesticidi	2	Gestione dei rifiuti	13
Piani, operazioni e standard di prestazioni	11	Controlli sulla produzione dei pozzi per acqua	2
Facilitazioni	2	Zonazione	20
Educazione	22	Normative e requisiti per l'implementazione delle aree di salvaguardia	
Imposizioni	4	Leggi o regolamenti direttamente indirizzati alla tutela delle acque sotterranee	4
Recinzione	2	Deleghe ad altre Autorità competenti per la tutela delle acque sotterranee	21
Assistenza finanziaria	2	Requisiti per le comunità al fine dell'adozione di regolamentazioni legate alla tutela delle acque sotterranee	6
Valutazione delle acque sotterranee	1	Programmi volontari per gli Enti locali	3
Ispezioni	10		
Piani locali e rapporti allo Stato	1		
Monitoraggio qualità acque sotterranee	14		

Tab. 6.13 - Sintesi dei possibili interventi finalizzati alla gestione delle aree di salvaguardia in U.S.A. (da Job C., 1997)

Partecipazione pubblica	Numeri di Stati	Partecipazione pubblica	Numeri di Stati
Criteri di base		Metodi creativi e innovativi per l'incremento della pubblica partecipazione	
Partecipazione pubblica: gruppi di lavoro e comitati	30	Soluzioni per le difficoltà di linguaggio (documenti in diverse lingue)	1
Avviso di udienza pubblica	34	Soluzioni su carenze personali	1
Sollecitazione di un commento pubblico	31	Soluzioni per ottenere e gestire i dati (sviluppo di software)	2
Disposizione di pubblico commento	28	Autorizzazioni ai gruppi di volontari	16
Metodi aggiuntivi per l'incremento della pubblica partecipazione		Estensione a gruppi di interessi speciali	13
Riunioni pubbliche sulla qualità delle acque sotterranee	5		
Materiale educativo	25		
Riviste/commenti	4		
Miglioramento continuo	4		

Tab. 6.14 - Interventi per il coinvolgimento della partecipazione pubblica nella tutela delle aree di salvaguardia (da Job C., 1997)

da eseguire da parte del gestore del servizio acquedottistico (si vedano il D.lgs. del 2 febbraio 2001 n.31, la Legge 5 gennaio 1994 n.36 e il D.P.C.M. del 4 marzo 1996) sono proponibili una serie di attività di seguito specificate:

- acquisizione dei dati di evoluzione quali-quantitativa delle acque sotterranee derivati dalle reti di monitoraggio regionali;
- censimento dei centri di pericolo nei dintorni della zona di rispetto;
- imposizione di sistemi di auto-monitoraggio da parte degli insediamenti in grado di costituire un potenziale pericolo per la qualità delle acque sotterranee e controllo della loro gestione;
- incremento della frequenza di determinazioni analitiche nelle opere di captazione su parametri indicatori, selezionati sulla base di fattori generali (evoluzione del quadro idrochimico regionale) e locali (tipologia di centri di pericolo).

Si ricorda che in presenza di captazioni esistenti in aree con trasformazioni territoriali incompatibili con le aree di salvaguardia e non potendo abbandonare tali captazioni si devono adottare misure complementari quali:

- controlli analitici interni con frequenza ravvicinata;
- interconnessione della rete di distribuzione con altre fonti di approvvigionamento;
- adozione di piani di intervento in caso di inquinamento.

6.3 Sintesi dei possibili interventi per la gestione delle aree di salvaguardia

Dalla breve analisi delle numerose iniziative precedente-

mente illustrate si può ricavare che la gestione statica o dinamica delle aree di salvaguardia deve essere concordata in base a fattori tecnico-economici e alla struttura amministrativa locale.

Non è possibile offrire una soluzione unica, ma in questa sede si è voluto solamente illustrare la metodologia di approccio al problema.

In effetti, come indica la Tab. 6.13 relativa agli U.S.A., gli interventi realizzati sono assai diversificati.

Da una semplice analisi critica dei dati in essa riportati si osserva come viene data una certa enfasi a:

- compartecipazione delle attività tra lo Stato e l'Ente locale;
- educazione della popolazione, zonazione del territorio, assistenza tecnica e pratiche gestionali;
- delega delle attività agli Enti competenti sulla tutela delle acque sotterranee.

In effetti questi aspetti, unitamente all'attività di regolamentazione dell'urbanizzazione e delle pratiche agricole nonché alle norme sullo smaltimento dei rifiuti, sono considerati prioritari.

Infine si ricorda anche l'aspetto relativo alla partecipazione pubblica secondo i possibili interventi previsti in Tab. 6.14.

Un piano relativo alle aree di salvaguardia può essere approvato dall'U.S. Environmental Protection Agency se non incorpora i seguenti aspetti:

- partecipazione pubblica alle attività;
- avviso di udienza pubblica;
- indicazioni per sollecitare opinioni e l'assunzione di decisioni;
- sintesi delle diverse posizioni.

7. Previsione di futuri scenari di approvvigionamento idrico

Le situazioni di emergenza idrica che si possono manifestare su un territorio sono legate a eventi naturali (catastrofi quali terremoti, inondazioni, frane, etc.) o a quelli antropici: tra questi ultimi si annoverano le circostanze del tutto eccezionali (azioni di guerra e atti di sabotaggio) o più comuni (incidenti, evoluzione di una contaminazione in atto).

Di seguito si considereranno solo gli aspetti relativi alle circostanze di eventi accidentali o di progressione nello spazio e nel tempo di una contaminazione esistente.

Per assicurare da un lato la piena efficienza delle aree di salvaguardia e dall'altro garantire a medio-lungo termine la captazione di acque di buona qualità, sono attuabili diverse iniziative che consistono nella revisione periodica delle aree di salvaguardia, nell'impostazione e attuazione di un piano di intervento e nella delimitazione di aree di riserva.

L'attenzione riservata alle trasformazioni territoriali in atto permette di individuare i futuri problemi delle aree e della qualità delle acque, consentendo di predisporre le soluzioni più idonee; un importante aiuto in ciò può venire dalla consultazione critica dei dati sulle reti di monitoraggio delle acque sotterranee a scala regionale.

Per meglio organizzare gli interventi è opportuno operare un'attenta selezione dei dati rilevati mediante la rete di monitoraggio locale che può definire le diverse condizioni in cui opera l'approvvigionamento idrico.

7.1 Condizione di gestione dell'approvvigionamento idrico

Nell'ambito delle operazioni finalizzate alla conservazione della possibilità di approvvigionamento idrico con acqua di idonee caratteristiche qualitative rispetto al Dlgs 152/99 si possono effettuare le seguenti considerazioni.

Il D.P.C.M. del 4 marzo 1996 n.47 caratterizza il "rischio di deficienza idrica" facendo riferimento alla teoria dell'affidabilità (regolare funzionamento o successo e mancanza di funzionamento o fallanza).

La pericolosità P viene definita quando "il sistema (o qualcuno dei suoi componenti) non svolga correttamente le funzioni assegnate per un prefissato periodo di tempo in determinate condizioni operative".

In tal modo si ha che:

$$P = P(V < KD) \text{ con } 0 < K < 1$$

essendo V il volume idrico erogato in un determinato periodo di tempo e D la domanda idrica.

In base a ciò il rischio di deficienza idrica R in un anno viene definito come:

$$R = P_d V_a D_{fm}$$

con P_d la probabilità che un anno sia caratterizzato da una significativa deficienza, V_a il volume annuo di approvvigionamento (il grado di vulnerabilità è indicato dal deficit in percentuale rispetto al valore di V_a) e D_{fm} il valore atteso del

deficit annuo relativo D_f .

Inoltre è indicata la necessità di acquisire una serie di elementi per la definizione quantitativa del rischio e illustrata una tipologia di interventi suddivisi in:

- misure di prevenzione: strutturali (pluralità delle fonti di alimentazione, interconnessione, regolazione pluriennale) e non strutturali (assicurazioni, scelte di colture non idroesigenti);
- misure di emergenza: riduzione della domanda (riduzione volontaria dei consumi, razionamento delle forniture).

È utile riportare alcune considerazioni finalizzate alla previsione del rischio e all'impostazione di misure per una mitigazione dei suoi effetti a scala locale e per limitare il livello di vulnerabilità del sistema idrico.

Al fine di classificare in modo univoco le diverse fasi di gestione dell'approvvigionamento idrico relative a una determinata captazione possono essere adottate le seguenti definizioni orientative.

1 - Gestione ordinaria: situazione che consente al Concessionario della risorsa idrica la fornitura di acqua in quantità compatibile con la struttura acquedottistica esistente e di qualità idonea secondo le normative sulle acque destinate all'alimentazione umana. In fase di gestione ordinaria il monitoraggio della qualità delle acque distribuite viene effettuato con le cadenze previste dal D.lgs. del 2 febbraio 2001 n.31 ("controlli sanitari"), mentre per quello delle zone di rispetto si stabilisce un tempo minimo corrispondente a quello di sicurezza prescelto per la perimetrazione ("controlli interni" e "sanitari") nel caso si adotti il criterio cronologico.

2 - Allarme: situazione precedente l'emergenza nella quale vengono registrate variazioni significative di parametri fisico-chimici e batteriologici delle acque, che segnalano un'eventuale prossima impossibilità di fornitura di un sufficiente quantitativo idrico alla popolazione per gli usi potabili. In tale periodo devono essere studiate dal punto di vista operativo le misure atte a soddisfare un normale approvvigionamento idrico. In questa fase viene intensificata la cadenza dei controlli e si interviene nella ricerca e nella rimozione delle cause di contaminazione. Lo stato di allarme viene dichiarato anche nel caso si verifichino eventi accidentali in grado di alterare la qualità delle acque in prossimità delle opere di captazioni normative sulle acque destinate all'alimentazione umana.

3 - Emergenza: Situazione precedente la gestione straordinaria degli impianti nella quale devono essere incrementati i controlli sulla qualità delle acque e devono essere attivati i dispositivi di disinquinamento; può inoltre essere richiesto l'intervento degli organismi superiori per la realizzazione delle opere complementari eventualmente previste. In questa fase è richiesto al Concessionario della risorsa idrica il controllo dell'efficienza e della disponibilità degli impianti,

dei materiali e delle attrezzature previste da un Piano di Intervento che deve essere opportunamente predisposto. Lo stato d'emergenza verrà dichiarato anche nel caso si verifichino eventi accidentali in grado di alterare la qualità delle acque in prossimità delle opere di captazione e in acquifero vulnerabile. Anche in questo caso, qualora successivi controlli e interventi escludano rischi di contaminazione, cesserà lo stato di allarme.

4 - Gestione straordinaria: situazione nella quale deve essere adottato il Piano d'intervento previsto per garantire l'approvvigionamento idrico potabile. In circostanze eccezionali e in assenza di controlli la fase di gestione straordinaria potrebbe essere raggiunta direttamente da quella di gestione ordinaria degli impianti.

Una possibile esemplificazione pratica della procedura proposta è suggerita nel grafico di Fig. 7.1 in cui C_i rappresenta la concentrazione limite di una determinata sostanza presente nelle acque sotterranee, C_n la concentrazione della stessa sostanza rilevata nelle acque e $C_{(n-1)}$ quella rilevata nel precedente accertamento analitico.

7.2 Revisione periodica delle aree di salvaguardia

Le limitazioni disposte per le aree di salvaguardia sono sottoposte a revisione ad esempio con cadenza quinquennale, salvo che situazioni locali impongano termini più brevi.

La revisione dei limiti e dei vincoli viene eseguita considerando le nuove condizioni locali e le più recenti acquisizioni tecnico-scientifiche.

In occasione di significative modifiche alle modalità di conduzione e gestione di un acquifero, si dovrà provvedere a eseguire le prove sperimentali e le elaborazioni che consentano di individuare la nuova conformazione delle aree di salvaguardia, provvedendo nel contempo a integrare i dispositivi di protezione statica e dinamica.

Inoltre, nel determinare eventuali modifiche alle modalità di conduzione e gestione dell'acquifero, con particolare riferi-

mento alle permanenti variazioni delle portate di emungimento, alla perforazione di nuovi pozzi e alla disattivazione di captazioni esistenti, si deve tenere conto delle previsioni degli strumenti urbanistici in relazione alle destinazioni del PRG riservata alle aree interessabili dalle aree di salvaguardia e all'eventuale presenza di centri di pericolo.

Non è possibile apportare modifiche alla conduzione degli acquiferi tale da comportare l'inclusione nella zona di rispetto di centri di pericolo preesistenti o ipotizzabili in base alla previsione del PRG o di altri piani a scala provinciale, regionale o statale.

Le captazioni abbandonate devono essere cementate e sigillate; solo nella necessità di una loro conservazione come punti di misura di una rete di monitoraggio sarà opportuno mantenere la zona di tutela assoluta.

Nei casi venga adottata una chiusura temporanea delle captazioni, devono essere mantenute le aree di salvaguardia.

7.3 Piano di intervento in caso di inquinamento delle acque destinate al consumo umano

Il Piano di Intervento è lo strumento tecnico-operativo e amministrativo che consente una razionale organizzazione dell'approvvigionamento idrico e della tutela delle acque in situazioni di allarme, emergenza e gestione straordinaria.

Del resto l'esperienza internazionale su questo aspetto, sintetizzata per quanto riguarda gli U.S.A. nella Tab. 7.1, indica la necessità che all'interno della gestione delle aree di salvaguardia sia previsto un piano di emergenza.

I Piani di Intervento possono essere di tre tipi:

a - Piano di Intervento per l'approvvigionamento idrico

Sulle base di indagini a livello regionale, dovrebbero essere elaborate linee-guida per l'approvvigionamento idrico in fase di gestione straordinaria e per individuare le aree e le infrastrutture più a rischio, alle quali riservare la priorità di attenzione.

Il Piano di Intervento per l'approvvigionamento idrico opera

Tipologia di piano di emergenza	Numero di Stati
Piano di emergenza complessivo	10
Insieme di tutti i sistemi di approvvigionamento idrico	
Fonti idriche alternative/fonti future individuate	
Procedure dettagliate di intervento di emergenza	
Procedure di notificazione/chiamata personale	
Coordinamento dei centri statali di intervento di emergenza	
Coordinamento con altre agenzie statali	
Richieste limitate di piano di emergenza o su specifiche tipologie di emergenza	10
Piani richiesti per specifiche emergenze/specifiche sostanze	
Minore enfasi ai piani locali e linee-guida generali statali	
Classificazione di emergenze limitate	
Piano di emergenza ristretto	9
Requisiti statali del piano dipendenti da numero di persone, di entrate e di capacità del sistema di approvvigionamento idrico	
Descrizioni amministrative dei requisiti del piano	
Requisiti del piano di emergenza rimane a livello statale	
Piano al di sotto del livello statale a livello volontario	
Nessun piano o limitati elementi per il piano di emergenza	7
I limiti del sistema non necessitano o non richiedono un piano di emergenza	
Importanti criteri non discussi o completamente tralasciati dal piano	
Assenza di procedure per le condizioni di emergenza	

Tab. 7.1 - Tipologia di piani di emergenza predisposti negli U.S.A. all'interno delle procedure di attuazione delle aree di salvaguardia (da Job C., 1997)

in presenza di un inquinamento che sta raggiungendo le captazioni.

A livello locale la stesura dei Piani di Intervento è affidata al Concessionario della risorsa idrica e in caso di impossibilità per mancanza di strutture tecniche il Piano di Intervento può essere elaborato a livello sovracomunale, ad esempio dalla Provincia.

b - Piano di Intervento di risanamento

Le Regioni sono tenute a elaborare Piani di Tutela delle acque secondo le norme esistenti (Dlgs 152/99).

Data la necessità di approntare appositi studi e di realizzare le opere previste dai progetti, tale Piano ha una cadenza temporale a medio-termine e non è parte del Piano di Intervento per l'approvvigionamento idrico.

Tutte le aree in cui si siano manifestati fenomeni di inquinamento delle acque destinate all'alimentazione umana devono essere però inserite all'interno dei Piani di Tutela.

c - Piano di Intervento d'emergenza

Il Piano di Intervento d'emergenza è finalizzato all'identificazione e alla rimozione di particolari rischi per la qualità delle acque.

Il Piano prevede l'intervento, coordinato dai responsabili locali della Protezione Civile, degli Enti e organismi delegati alla tutela della salute pubblica.

Il Piano di Intervento d'emergenza ha lo scopo di prevenire l'arrivo dell'inquinamento alle captazioni.

7.3.1 Piano di intervento per l'approvvigionamento idrico

Il Concessionario della risorsa idrica predispone un Piano di intervento nei casi di gestione straordinaria con prevalente interesse per la fornitura di acqua potabile; devono essere comunque elaborate anche le strategie per le fasi di allarme ed emergenza.

Per la gestione straordinaria deve essere garantita una dotazione minima unitaria.

Ad esempio secondo L.A.W.A.-D.V.G.W., 1979 prevedendo una durata delle condizioni di 14 giorni indica i seguenti quantitativi:

- 2.5 l/(abitante-giorno) per ogni persona residente e non in condizioni di lavoro che si approvvigiona dalla rete acquedottistica;
- 15 l/(abitante-giorno) per approvvigionamento idrico da pozzi autonomi e non collegati alla rete;
- 100 l/(abitante-giorno) per approvvigionamento dalla rete acquedottistica.

Si deve inoltre tenere conto anche delle esigenze di infrastrutture più vulnerabili (ospedali, scuole, case per anziani, etc.) eventualmente presenti: per gli ospedali vengono considerati i seguenti quantitativi:

- 75 l/(letto-giorno) per soggiorni in ospedali e casi di cura;
- 150 l/(letto-giorno) per soggiorni in reparti di chirurgia, malattie infettive o simili;
- 30 l/(malato-giorno) per cure ambulatoriali.

Eventuali approvvigionamenti idrici per usi zootecnici e agricolo-industriali che rivestono interesse strategico potranno essere oggetto di appositi piani integrativi di quello principale.

Anche in questo caso sono forniti i seguenti quantitativi di riferimento:

- 40 l/(capo-giorno) per capi grossi (con "capo grosso" si intende rispettivamente 1 cavallo e 1 manzo sopra i due anni o 2 cavalli e 2 manzi sotto i due anni o 5 maiali o 10 pecore o un insieme di altri animali per un peso vivo totale di 500 kg);
- 10 l/(capo-giorno) per capi piccoli.

I fabbisogni di industrie ritenute strategiche devono essere computati nelle necessità di un approvvigionamento idrico di emergenza.

Inoltre dovrà essere previsto un sufficiente quantitativo idrico per situazioni accidentali impreviste (incendi, inquinamenti, disinfezioni, etc.); dato l'elevato margine di incertez-

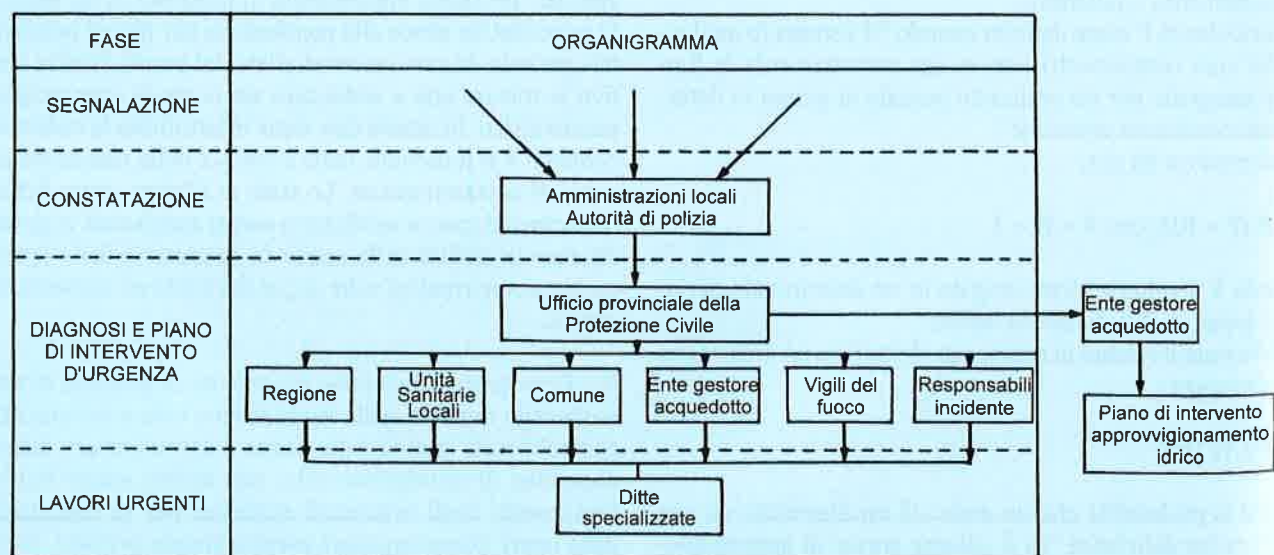


Fig. 7.1 - Successione delle fasi operative per l'organizzazione degli interventi d'emergenza in casi accidentali

za relativo a queste necessità, è preferibile il ricorso a impianti autonomi rispetto alla rete acquedottistica. Per quanto attiene alle modalità di elaborazione del Piano, si dovranno considerare i seguenti elementi:

- cartografia di base e foto aeree;
- dati di letteratura sulla consistenza e qualità delle acque sotterranee;
- cartografia informatizzata della distribuzione dei punti d'acqua, reti di distribuzione e serbatoi;
- dati storici di consumo orario, giornaliero, mensile e annuo;
- caratteristiche delle acque captate;
- caratteristiche dei centri di pericolo e delle eventuali emissioni;
- uso delle acque e piani di sfruttamento e risanamento;
- uso del suolo;
- limiti della implementazione di nuove alternative di approvvigionamento idrico.

7.3.1.1 Strategie di intervento

L'elaborazione dei criteri generali dell'approvvigionamento idrico in caso di gestione straordinaria può prevedere strategie di intervento orientate a intervenire sui sistemi di approvvigionamento, distribuzione, immagazzinamento e trattamento delle acque.

Le strategie di intervento previste per la gestione straordinaria degli impianti di approvvigionamento idrico, a seconda della presenza di una contaminazione batteriologica, chimica (organica o inorganica) o radioattiva, sono le seguenti.

1 - Approvvigionamento idrico alternativo per i quantitativi minimi necessari

esso può essere garantito mediante:

- decentramento delle opere di captazione;
- interconnessione delle reti di distribuzione;
- realizzazione di serbatoi di riserva;
- incremento pro-tempore della portata prelevata da altre captazioni;
- disponibilità in proprietà o in uso di serbatoio mobili;
- collegamento con altri acquedotti.

Opportune verifiche e manutenzioni periodiche dovranno essere previste per garantire l'efficienza nel tempo delle opere identificate per gli interventi di gestione straordinaria.

2 - Allacciamento a impianti autonomi

Dovrà essere eseguito un censimento degli impianti pubblici non utilizzati in rete e di quelli privati esistenti nelle zone servite dagli enti titolari della gestione.

Gli impianti verranno classificati e cartografati, suddividendo quelli immediatamente allacciabili alla rete e quelli invece per i quali sono richieste opere aggiuntive (impianti di emungimento, trattamento, etc.).

Per alcuni impianti privati di interesse strategico, che saranno oggetto di apposite convenzioni d'uso, possono essere previsti la sistemazione e il potenziamento.

3 - Costruzione di pozzi di emergenza

I pozzi riservati a fornire acqua in situazioni di emergenza devono essere costruiti in siti strategici e, se la struttura idrogeologica lo consente, captando solo falde protette dalla contaminazione; queste opere di captazione, così come le

altre opere previste per l'emergenza, devono essere periodicamente revisionate (almeno una volta all'anno) per assicurarne la funzionalità.

In alcuni casi può essere anche predisposto il solo progetto di perforazione di pozzi o captazione di sorgenti e di acque superficiali e del relativo allacciamento all'acquedotto; allo scopo possono essere utilizzate anche le zone di riserva precedentemente definite.

4 - Installazione di impianti di trattamento

Impianti di trattamento tradizionali o speciali possono essere installati in presenza di inquinanti.

A tal scopo nel punto di captazione o nelle immediate vicinanze deve essere previsto un alloggiamento per l'impianto di trattamento o la possibilità di una sua realizzazione in tempi brevi.

7.3.1.2 Modalità di distribuzione delle acque in fase di gestione straordinaria

Le modalità di distribuzione delle acque possono avvenire nel modo seguente:

a - l'erogazione può continuare al normale recapito:

- a.1 - con i quantitativi previsti in gestione ordinaria;
- a.2 - con i quantitativi previsti in gestione ordinaria, ma con limitazioni nell'uso potabile.

b - devono essere ridotti i consumi idrici al normale recapito:

- b.1 - con la stessa qualità prevista in gestione ordinaria;
- b.2 - con limitazioni d'uso per una qualità inferiore dell'acqua distribuita.

c - l'erogazione può continuare a recapiti limitati:

- c.1 - con i quantitativi previsti in gestione ordinaria, ma con necessità di trasporto dell'acqua con mezzi mobili o mediante condotte alternative;
- c.2 - con i quantitativi previsti in gestione ordinaria, ma con limitazioni nell'uso potabile.

d - devono essere ridotti i consumi idrici a recapiti limitati:

- d.1 - con la stessa qualità prevista in gestione ordinaria;
- d.2 - con limitazioni d'uso per una qualità inferiore dell'acqua.

e - la fornitura d'acqua viene garantita esclusivamente con mezzi mobili:

- e.1 - mediante serbatoi;
- e.2 - mediante contenitori preconfezionati.

f - la fornitura d'acqua viene garantita in luoghi prestabiliti:

- f.1 - mediante serbatoi;
- f.2 - mediante contenitori preconfezionati.

7.3.1.3 Qualità delle acque

La qualità delle acque da distribuire in situazioni di emergenza deve corrispondere a quanto stabilito dalle norme sulla potabilità delle acque, per non aggravare i rischi sanitari connessi alla scarsa disponibilità quantitativa.

Solo in casi particolari e su parere delle Autorità sanitarie può essere concessa una deroga per particolari sostanze, imponendo garanzie aggiuntive quali la bollitura dell'acqua

per garantirne una completa disinfezione o la limitazione di consumo per particolare categorie, per le quali dovranno essere preparate apposite forniture (acque confezionate o acqua minerale).

7.3.1.4 Predisposizione di forza elettromotrice

Per le esigenze connesse all'approvvigionamento idrico dovranno essere garantite le disponibilità energetiche anche mediante fonti non correntemente utilizzate dagli impianti. Dovrà essere possibile:

- l'acquisizione di corrente elettrica da reti differenti;
- l'installazione di gruppi elettrogeni fissi e mobili;
- l'installazione di depositi di carburanti.

7.3.1.5 Localizzazione e tecniche costruttive delle nuove captazioni

Le nuove captazioni, o almeno quella parte di esse che svolgono una funzione strategica, devono essere realizzate in modo tale da assicurare una maggiore sicurezza ed elasticità d'uso in caso di gestione straordinaria.

In particolare deve essere verificata la possibilità tecnica di realizzare:

- passaggio di corsi d'acqua e vie di grande comunicazione;
- giunzioni elastiche in corrispondenza dei manufatti;
- protezioni dallo svuotamento rapido dei serbatoi;
- costruzione di "by-pass" nell'acquedotto;
- difesa dalla contaminazione atmosferica delle acque.

7.3.1.6 Equipaggiamento e scorte a disposizione dei gestori della risorsa idrica

Deve essere effettuata una valutazione degli equipaggiamenti e delle scorte necessarie in caso di gestione straordinaria (materiali e attrezzature, macchinari, parti di ricambio, etc.).

Una parte del seguente materiale può essere disponibile presso il gestore della risorsa idrica, il resto deve essere reperito in un tempo idoneo presso i fornitori:

- pompe azionabili con differenti forze elettromotrici;
- impianti di trattamento mobili;
- tubazioni e raccorderie;
- parti di ricambio e attrezzi;
- approvvigionamento prodotti, materiali d'esercizio, mezzi di produzione e prodotti chimici;
- veicoli e attrezzi.

Dovrà inoltre essere compilato un elenco delle disponibilità di mezzi per l'approvvigionamento idrico mediante autobotte, la cui revisione dovrà essere effettuata ogni anno.

7.3.1.7 Tenuta del Piano di intervento particolareggiato

Il Piano di intervento particolareggiato, elaborato dal gestore della risorsa idrica, dovrebbe essere conservato, completo degli elaborati e del materiale cartografico, presso i seguenti Enti:

- gestore della risorsa idrica;
- Comune di appartenenza della captazione;
- Prefettura;
- Arpa e USL o ASL;
- Autorità d'ambito;

- Regione.

Il Piano potrebbe avere una scadenza annuale e alla data della scadenza il gestore della risorsa idrica dovrebbe comunicare agli altri Enti sopra citati la riconferma o le eventuali modifiche apportate.

La compatibilità dell'uso del suolo con gli interventi previsti dal Piano deve essere valutata ogni qual volta si proceda alla stesura degli strumenti di programmazione urbanistica locali e comprensoriali.

7.3.1.8 Addestramento del personale

Il personale addetto ai controlli e alla gestione delle acque deve essere istruito relativamente alle situazioni di gestione straordinaria che si possono creare in relazione alla vulnerabilità degli acquiferi e alla presenza di centri di pericolo.

In particolare con cadenza annuale dovrebbero essere simulati operativamente gli interventi previsti dal Piano, ricavandone elementi necessari per la sua revisione.

Il gestore della risorsa idrica deve assicurare la pronta reperibilità del personale in caso di necessità; le misure di coordinamento con quelle previste dagli Enti di controllo tecnico, ambientale e sanitario.

7.3.1.9 Informazione ai cittadini e ai mezzi di comunicazione

Il Piano dovrebbe contenere le modalità di utilizzo di mezzi di comunicazione per l'informazione della popolazione in caso di situazioni di gestione straordinaria degli impianti.

La popolazione deve essere informata sull'esistenza del Piano di intervento particolareggiato.

Un breve rapporto divulgativo e una serie di istruzioni complementari devono essere distribuite agli utenti del servizio di acquedotto al momento della stesura del contratto di allacciamento e nell'eventuale fase di gestione straordinaria. Possono essere utilizzati anche i mezzi di comunicazione per la divulgazione delle informazioni riguardanti il consumo idrico.

I mezzi di comunicazione sono tenuti esclusivamente alla divulgazione dei comunicati ufficiali, soprattutto per quanto riguarda i bollettini relativi all'inizio e alla fine della gestione straordinaria.

7.3.2 Interventi d'urgenza in caso accidentale di contaminazione delle acque destinate al consumo umano

Qualora eventi accidentali possano provocare una contaminazione delle acque potabili, è necessaria l'attivazione dei Piani di intervento d'urgenza.

Tali Piani, abbinati a quelli di intervento per la fornitura di acqua potabile, prevedono una successione delle seguenti fasi (Fig. 7.2):

- segnalazione dell'incidente;
- constatazione e attivazione del meccanismo di intervento urgente;
- diagnostica dell'evento e attivazione del Piano di intervento d'urgenza;
- effettuazione dei lavori urgenti.

Nel caso l'incidente avvenga in corrispondenza di una delle aree di salvaguardia nella gestione della distribuzione del-

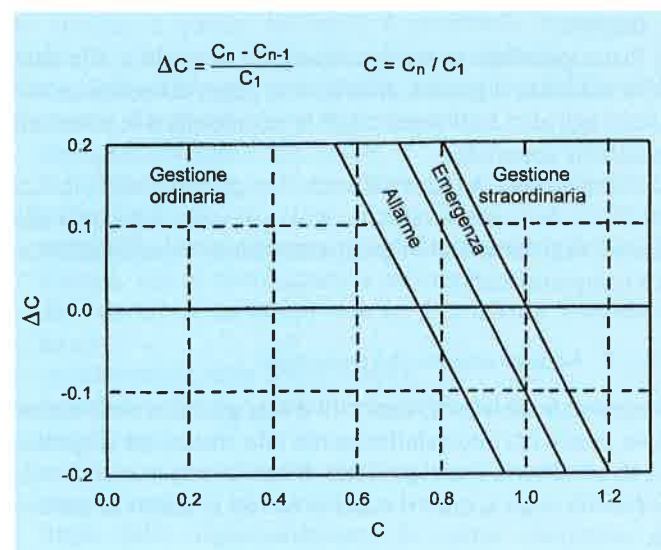


Fig. 7.2 - Schema per la valutazione semplificata della situazione di gestione dell'approvvigionamento idrico potabile

l'acqua sarà attivata automaticamente la fase di allarme nel caso sia interessata la zona di protezione e la fase di emergenza se si tratta della zona di rispetto.

7.3.2.1 Segnalazione di incidenti

Qualsiasi evento accidentale in grado di provocare una potenziale alterazione e inquinamento della qualità dell'acqua deve essere segnalato alle competenti autorità ed enti di controllo.

Tutti i cittadini sono tenuti alla segnalazione e in particolare coloro che sono stati coinvolti nell'evento e il gestore degli impianti definiti "centri di pericolo".

L'autorità competente e gli enti di controllo attivano le necessarie procedure previste, sia per la individuazione delle cause, sia per la loro rimozione, sia infine per la messa in sicurezza delle opere e la garanzia all'utenza.

In questo ambito dovrà essere attivata una stretta collaborazione tra Enti, Amministrazioni coinvolte e gestore, attivando procedure ed organizzazioni adeguate.

7.3.2.2 Controlli sulla qualità delle acque

Nelle aree in cui si sia verificato un evento accidentale in grado di provocare una potenziale alterazione della qualità delle acque, gli enti di controllo devono prevedere una serie di controlli periodici sulla qualità delle acque attraverso una rete di sorveglianza esistente o mediante opere da realizzarsi allo scopo.

7.4 La delimitazione di zone di riserva

La zona di riserva costituisce un'area nella quale, per il particolare pregio della qualità delle acque e dell'entità della riserva di acque sotterranee, risultano opportune la conservazione e la protezione del patrimonio idrico sotterraneo.

L'individuazione delle zone di riserva viene compiuta sulla base di studi idrogeologici, idrologici e idrochimici; essi dovranno identificare in ambito comunale o sovramunicipale un'area dotata di particolare pregio idrogeologico e definirne il limite su idonea cartografia, in accordo con i comuni interessati.

L'incremento della popolazione e dell'estensione delle aree urbanizzate con le conseguenti restrizioni degli ambiti entro i quali è possibile reperire risorse idriche non contaminate e di buona consistenza rende indispensabile individuare e delimitare i settori nei quali tale risorsa possano essere disponibili per i fabbisogni futuri.

Per tale motivo deve essere data priorità alla ricerca, alla delimitazione e tutela delle aree dotate di riserve idriche consistenti e non contaminate situate nell'area urbana o periferiche ai centri urbani.

Saranno quindi delimitate le aree extraurbane che, oltre ad avere i requisiti predetti, risultino facilmente collegabili agli acquedotti esistenti.

Infine verranno ricercate e delimitate le aree lontane dai centri abitati e dagli acquedotti.

Ai fini di preservare nel tempo la possibilità di un idoneo approvvigionamento di acqua destinata al consumo umano, devono essere applicati gli stessi vincoli previsti per la zona di rispetto allargata anche a quella di riserva.

Inoltre per una fascia di un km dalla zona di riserva, in una fase provvisoria, si adottano misure relative alla destinazione dei territori interessati, limitazioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici in modo simile a quanto previsto per le zone di protezione.

Nei casi di successivi utilizzi della risorsa idrica presente nella zona di riserva si procede alla perimetrazione definitiva delle aree di salvaguardia.

Per la determinazione delle zone di riserva si seguono le seguenti fasi:

- delimitazione in via provvisoria dell'area da destinare a zona di riserva in base ai dati idrogeologici e idrochimici esistenti;
- al termine di questa fase dovranno essere già completate le indagini per la definitiva perimetrazione dell'area; questa sarà basata sui seguenti criteri:
 - l'estensione sarà tale da consentire l'estrazione di un quantitativo d'acqua sufficiente a far fronte ai fabbisogni idrici dei Comuni interessati;
 - la configurazione e la disposizione dell'area devono essere tali da offrire la massima protezione dagli inquinamenti in atto;
 - l'ubicazione e gli accessi all'area dovranno rendere possibile disinquinamento a protezione degli inquinanti in tempi rapidi.

Si ricorda infine che un modello per la realizzazione relativa alla delimitazione e gestione delle zone di riserva è stata prevista operativamente nella normativa dell'Alto Adige (Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, 1980).

8. Utilizzo di strumenti informatici nella perimetrazione delle aree di salvaguardia

Il ricorso ormai sempre più diffuso nelle applicazioni idrogeologiche a codici numerici che permettano di implementare modelli di flusso e di trasporto, consente di sviluppare e sperimentare diverse metodologie nel campo della prevenzione dell'inquinamento delle acque sotterranee, in particolare per quanto riguarda la perimetrazione delle aree di salvaguardia dei pozzi.

Tale perimetrazione richiede successivamente l'imposizione di vincoli che penalizzano il territorio per gli usi pubblici e privati vietando e regolamentando le attività e quindi provocando un notevole impatto socio-economico; è pertanto necessario definire con la massima precisione possibile l'estensione delle aree in modo da garantire una difesa delle opere di captazione, incidendo nel minore modo possibile sulle attività del territorio.

Le applicazioni in campo europeo e internazionale mostrano che possono essere diversi i criteri teorici e i metodi su cui basare il dimensionamento di tali aree e da una loro attenta analisi emerge come ognuno di questi metodi acquisti una sua validità in relazione alla situazione idrogeologica dell'area, all'antropizzazione del territorio e agli aspetti socio-economici e ambientali (Beretta G.P., 1992; C.N.R. G.N.D.C.I., 1988; Ministero dell'Ambiente, 1990).

Come è noto la normativa attualmente in vigore in Italia (D.lgs. 152/99) stabilisce zone determinate prevalentemente con criterio geometrico (zona di tutela assoluta e temporaneamente per la zona di rispetto e con criterio idrogeologico (zona di protezione) (Repubblica Italiana, 2000); tuttavia è pur sempre possibile valutare anche altri criteri, come più volte richiamato nei precedenti capitoli.

Sulla base di quanto suggerito dal C.N.R.-G.N.D.C.I., 1988 che ispirandosi alle diverse esperienze in campo internazionale ha proposto una tecnica di dimensionamento integrativa e in parte alternativa a quella attualmente vigente, è stata sviluppata una ricerca finalizzata ad analizzare e confrontare differenti soluzioni tipologiche finalizzate alla delimitazione delle zone di rispetto secondo il criterio cronologico, applicando differenti codici di calcolo (analitici, semianalitici e numerici) attualmente disponibili per la perimetrazione delle zone di rispetto.

In particolare è stata sperimentata l'applicazione a un campo pozzi progettato in modo da prelevare da una falda semiconfinata facente parte di un acquifero alluvionale multistrato, con una struttura idrogeologica complessa e un intenso uso delle acque (Avanzini M., Beretta G.P., 1992).

L'analisi di tali risultati consente di individuare il grado di approssimazione introdotto dai codici numerici più semplici e propone una soluzione, seppure parziale, per migliorarne le prestazioni.

8.1 Modelli disponibili per il calcolo delle zone di rispetto

La possibilità di utilizzare strumenti informatici per la delimitazione delle aree di salvaguardia è conseguente all'esistenza di numerosi codici numerici di flusso e di trasporto.

Tali codici selezionati da U.S. Environmental Protection Agency, 1988 nelle applicazioni considerate sono in grado di determinare:

- flusso idrico: interno e verso l'esterno rispetto al dominio modellato;
- cono di depressione: rappresentato dalla zona influenzata dal prelievo di acque da un pozzo e materializzato dalla variazione del livello piezometrico;
- zona di richiamo: area nella quale il flusso delle acque sotterranee confluisce verso il pozzo;
- linee di flusso: percorso dell'acqua e di un eventuale contaminante all'interno del dominio modellato;
- velocità: velocità delle acque sotterranee e di eventuali contaminanti;
- isocrone: isolinee che indicano la stessa durata necessaria per un determinato percorso delle acque sotterranee
- concentrazioni: valori di concentrazione di un inquinante dalla sorgente di emissione verso la zona di deflusso.

Pertanto essi possono rispondere ai diversi criteri di delimitazione così come elencati in precedenza e in particolare con riferimento ai criteri dell'abbassamento, idrogeologico, temporale e del potere autodepurante.

Dei 64 codici considerati dall'U.S. Environmental Protection Agency, 13 sono modelli analitici e 51 numerici; inoltre 27 sono di flusso e 37 di trasporto.

Per quanto riguarda i modelli di trasporto 5 sono relativi a un fluido immiscibili e conservativo (cioè senza scambi con la matrice), 8 trattano un fluido miscibile e conservativo e 24 possono trattare un fluido miscibile e non conservativo.

L'analisi eseguita ha anche considerato alcuni parametri relativi all'uso e alla disponibilità.

Per l'uso sono stati valutati l'esistenza di modalità interattive (pre e post-processore) e di un manuale d'uso, i casi di applicazione, le caratteristiche dell'hardware e il supporto; per la disponibilità si è considerata l'affidabilità dell'approccio teorico e del codice predisposto, la verifica dell'accuratezza e dell'operatività nella risoluzione dei problemi, la validazione in campo e la diffusione del modello.

Inoltre negli ultimi anni l'U.S. Environmental Protection Agency, (1991) ha predisposto un codice numerico specifico WHPA le cui caratteristiche sono indicate nella Tab. 8.1.

Un ulteriore codice numerico basato sul metodo degli Elementi Analitici WhAEM è stato preparato più di recente da U.S. Environmental Protection Agency, 2000 in ambiente Windows 95/98 o NT 4.0, in modo tale da permettere anche la sovrapposizione della delimitazione delle aree di salvaguardia ad una base topografica informatizzata.

Nell'ambito della presente indagine è stata posta particolare attenzione ai codici numerici in grado di affrontare il problema della delimitazione delle aree di salvaguardia con i diversi criteri sopra elencati.

I risultati ottenuti dall'applicazione di modelli analitici e semi-analitici sono stati confrontati con quelli ottenuti implementando un modello numerico.

Dati di input necessari	RESSQC	MWCAP	GPTRAC		MONTEC
			semianalitico	Numerico	
Tipologia dell'acquifero (non confinato, semiconfinato, confinato)	X	X	X	X	X
Limiti dell'area di studio			X		X
Massima lunghezza dei passi	X	X	X	X	X
Numero dei pozzi di prelievo	X	X	X	X	X
Numero dei pozzi di ricarica	X	X	X	X	X
Ubicazione pozzi	X		X	X	X
Portata di prelievo/ricarica	X	X	X	X	X
Tramissività dell'acquifero	X	X	X	X	X
Porosità dell'acquifero	X	X	X	X	X
Spessore dell'acquifero	X	X	X	X	X
Direzione angolare del flusso idrico	X	X	X	X	X
Gradiente idraulico naturale	X	X	X	X	X
Aliquota di ricarica areale	X	X	X	X	X
Conducibilità idraulica orizzonte semipermeabile			X		X
Spessore orizzonte semipermeabile			X		X
Tipo di condizioni al limite		X	X		X
Distanza perpendicolare tra pozzo e limite		X	X		X
Orientazione del limite		X	X		X
Tipo di zona di richiamo		X			X
Numero di linee di flusso per individuare la zona di richiamo	X	X	X	X	X
Tempo di simulazione	X		X	X	X
Tempo della zona di richiamo	X	X	X	X	X
Parametri della griglia rettangolare				X	
Numero di linee di flusso (in avanti/a ritroso)	X		X	X	X
Coordinate di partenza delle linee di flusso (in avanti/a ritroso)	X		X	X	X
Altezza piezometrica ai nodi				X	
Numero di zone eterogenee dell'acquifero				X	
Proprietà dell'acquifero eterogeneo				X	
Distribuzione di probabilità dei parametri dell'acquifero					X

Tab. 8.1 - Caratteristiche dei moduli di calcolo del codice numerico WHPA relativo alla perimetrazione delle aree di salvaguardia (da U.S. Environmental Protection Agency, 1991)

Data la diversità dell'approccio le due categorie di modello sono da utilizzare nel primo caso per 1-2 pozzi isolati e nel secondo caso per campo-pozzi. Le disponibilità economiche necessarie per l'acquisizione di numerosi dati di input e le elaborazioni successive sono rese infatti disponibili solo nel secondo caso, in relazione all'importanza delle captazioni e alle risorse finanziarie conseguenti.

8.2 Metodologia di approccio e modelli utilizzati

La delimitazione delle zone di rispetto in regime transitorio o più cautelativamente stazionario richiede la ricostruzione del campo di moto che è alla base del calcolo delle velocità e quindi del tempo di percorrenza delle particelle a un pozzo in pompaggio, che risulta necessario per la delimitazione delle isocrone.

Per la ricostruzione del campo di moto con una struttura idrogeologica complessa si ricorre all'implementazione di un modello di flusso idrico sotterraneo.

Come è noto tale modello si basa su uno schema concettuale del sistema fisico, delle sue condizioni di alimentazione e drenaggio, dei suoi limiti al contorno e sulla conoscenza delle proprietà dell'acquifero (es. conducibilità idraulica, porosità efficace, etc.) che sono usate come parametri di una rappresentazione numerica del sistema.

Esistono diversi tipi di modelli di flusso applicabili alle acque sotterranee: analitici, semianalitici e numerici (bidimensionali o tridimensionali).

Dalle esperienze maturate emerge che spesso un'analisi spaziale bidimensionale del reale mezzo idrogeologico risulta insufficiente: forma e dimensione di una zona di rispetto di un pozzo dipendono infatti strettamente dalla distribuzione e dall'entità della ricarica (intesa sia proveniente dalla superficie che come eventuale drenanza tra gli acquiferi), oltre che dalla anisotropia ed eterogeneità del mezzo (Kinzelback W. et al., 1992).

Inoltre il grado di conoscenza del sistema fisico e dei parametri di input del modello rappresenta la causa più significativa di "incertezza" nella previsione di un modello; da ciò consegue il grado di approssimazione nella definizione dell'estensione e della configurazione delle isocrone.

Al fine di poter effettuare un confronto tra le diverse metodologie di calcolo volte alla delimitazione delle zone di rispetto secondo il criterio cronologico, le applicazioni sperimentate hanno riguardato metodi sia di tipo deterministico che stocastico.

In tutte le elaborazioni sono stati utilizzati come dati di input quelli ottenuti da una ricostruzione della distribuzione delle grandezze idrogeologiche mediante un approccio geostatistico.

Per un'area-campione sono stati implementati un modello di flusso delle acque sotterranee di tipo numerico quasi-tridimensionale (MODFLOW) e alcuni modelli più semplici che ricorrono a soluzioni analitiche o semianalitiche (ad esempio FLOWNET, DREAM, FASCERIS, RESSQC, GPTRACK); in entrambe le situazioni si è scelto di ricorrere a modelli ampiamente diffusi.

Come risulta evidenziato in Tab. 8.2, l'utilizzo di modelli

condizioni di applicabilità	metodi di calcolo						
	analitici			semianalitici		numerici	
	flownet	dream	fascaris	gptrack	ressqc	montec	numerici modflow path3d
campo di flusso bidimensionale							
campo di flusso tridimensionale							
mezzo isotropo e omogeneo							
mezzo anisotropo e eterogeneo							
variabilità spaziale grandezze idrogeologiche							
drenanza tra gli acquiferi							
variabilità spaziale della ricarica							
geometria e limiti al contorno semplici							
geometria e limiti al contorno complessi							
geometria e limiti uniformi							
campo di flusso regionale non uniforme							
rappresentazione linee equipotenziali							
calibrazione modello di flusso al carico piezometrico							
calibrazione modello di flusso alle portate							
soluzione dei tempi di arrivo con calcolo diretto equazioni di flusso ed equipotenziali							
soluzione dei tempi di arrivo con calcolo del tempo di arrivo delle particelle ai pozzi							
equazione analitica di base per il flusso : theis							
equazione analitica di base per il flusso : thiem							
equazione analitica di base per il flusso : bear							
analisi stocastica nella delimitazione delle isocrone							

Tab. 8.2 - Condizioni di applicabilità dei diversi metodi di calcolo per la perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi.

analitici e semianalitici comporta una maggiore schematizzazione del sistema fisico dell'area che si intende studiare; conseguentemente si ha una riduzione della accuratezza nella ricostruzione e calibrazione del campo di moto rispetto alle possibilità offerte dalla soluzione numerica.

Le soluzioni analitiche e semianalitiche infatti richiedono un numero maggiore di limitazioni e assunzioni.

Esse sono valide per descrivere un campo di moto bidimensionale e uniforme, le condizioni al contorno e la geometria del sistema idrogeologico semplici, il regime di flusso uniforme, le caratteristiche idrogeologiche omogenee e isotrope.

Per la ricostruzione delle linee di flusso i metodi più semplici si possono basare sia indirettamente sul metodo di tracciamento delle particelle (Shafer J.M., 1987; Zheng C., 1990), adottato dai modelli numerici, sia direttamente sul calcolo delle funzioni di flusso ed equipotenziali (Bonn et al., 1990). Tra i metodi numerici si è ricorsi per la perimetrazione delle zone di rispetto in questa sede a un modello di flusso alle differenze finite (MODFLOW) e al metodo di tracciamento delle particelle proposto da Zheng C., 1990, che utilizza un metodo di interpolazione lineare e una approssimazione Runge-Kutta di quarto ordine (PATH3D).

In Fig. 8.1 è riportata la ricostruzione del campo di moto e l'andamento delle isocrone riferite a 30, 60, 180, 240 e 360 giorni.

Tra i metodi semianalitici, che si basano sull'equazione di Thiem, 1906 per la risoluzione del campo di flusso in regime semistazionario, sono stati applicati i codici che utilizzano sia il metodo di tracciamento delle particelle (RESSQC per falda confinata e GPTRACK per falda semiconfinata con ricarica superficiale) (U.S. Environmental Protection Agency, 1991) sia il calcolo delle linee di flusso ed equipotenziali secondo le equazioni di Cauchy-Riemann (FLOWNET) (Feinstein D., 1990).

Nelle Figg. 8.2 a-b sono riportati esempi di perimetrazione delle zone di rispetto mediante la ricostruzione di isocrone stimate rispettivamente con il metodo GPTRACK e RESSQC. Per la soluzione valida per acquifero confinato (RESSQC) si

è inoltre valutata a titolo esemplificativo l'influenza dell'incertezza della conoscenza della variabile "trasmissività" (T), stimata dal kriging per l'area in esame, sulla delimitazione dell'isocrona relativa a 1 anno.

In Fig. 8.2c sono infatti riportate le isocrone relative alle situazioni definite dai limiti fiduciari stimati di T:

$$T^* / e^{2\sigma} \leq T \leq T^* e^{2\sigma}$$

Tra i metodi analitici sono stati applicati una soluzione basata sull'equazione di Theis C.V., 1935 per il calcolo degli

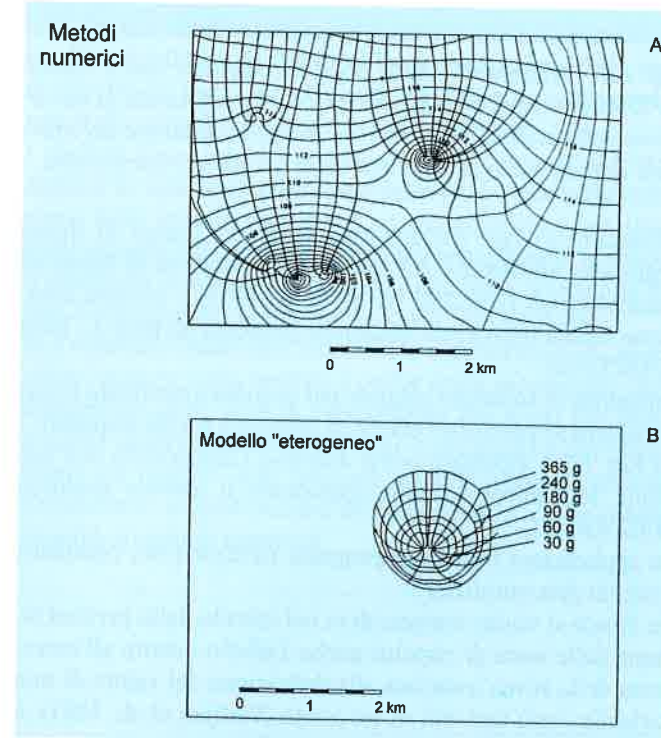


Fig. 8.1 - Ricostruzione del campo di moto con il codice numerico MODFLOW - PATH3D (a) e rappresentazione dell'andamento delle isocrone ottenuto con il modello "eterogeneo" (b)

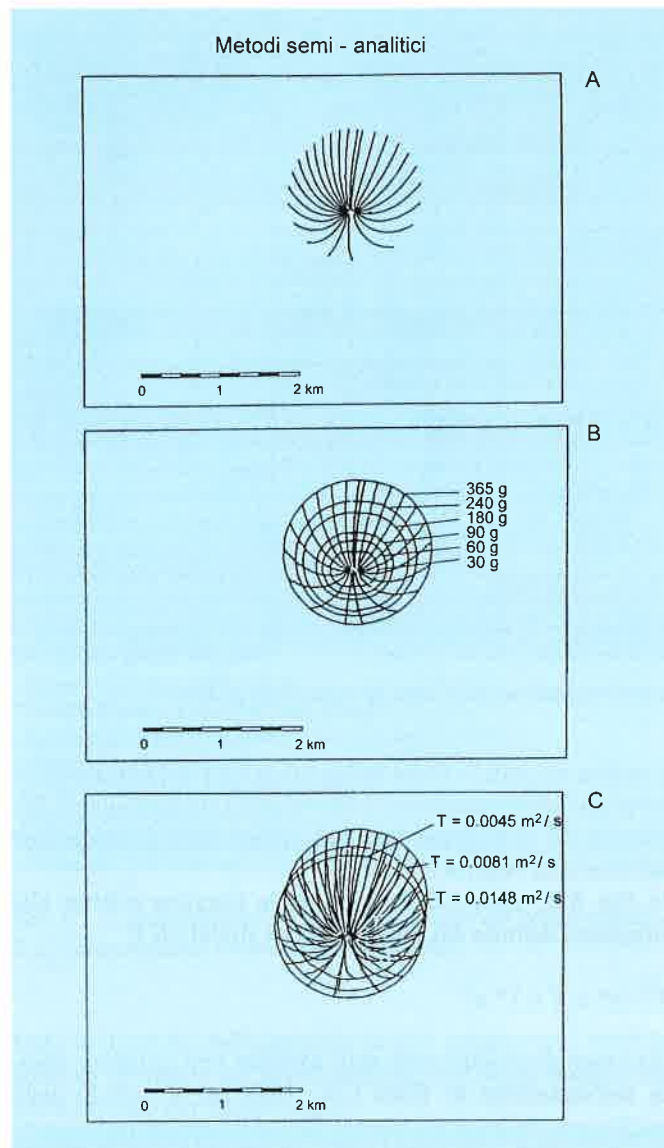


Fig. 8.2 - Andamento delle isocrone ottenute con il codice GPTRACK (a) e RESSQC (b e c); in c è raffigurata la variazione della zona di rispetto ($t = 365 \text{ g}$) in funzione del margine di incertezza della stima della variabile trasmissività

abbassamenti con sovrapposizione di un campo di flusso regionale- uniforme e sul calcolo delle funzioni di flusso ed equipotenziali (DREAM) (Bonn et al., 1990) e un'altra soluzione basata invece sull'equazione proposta da Bear J., 1979 (FASCERIS).

Entrambe le soluzioni valgono per acquifero confinato e non considerano pertanto l'effetto di drenanza tra gli acquiferi. In Fig. 8.3 è riportato come esempio l'andamento dell'isocrona 360 giorni ottenuta applicando il metodo analitico "FASCERIS".

Le applicazioni fino a ora proposte rientrano nei cosiddetti "metodi deterministici".

Se invece si vuole comprendere nel calcolo della perimetrazione delle zone di rispetto anche l'effetto dovuto all'incertezza della stima associata alla definizione del valore di una variabile o più variabili in un punto (Varlijen et al., 1991), è necessario ricorrere a un approccio di tipo stocastico, quale ad esempio una simulazione tipo Monte Carlo.

Quest'ultima consiste nel risolvere un problema deterministico un gran numero di volte ricorrendo a differenti set di

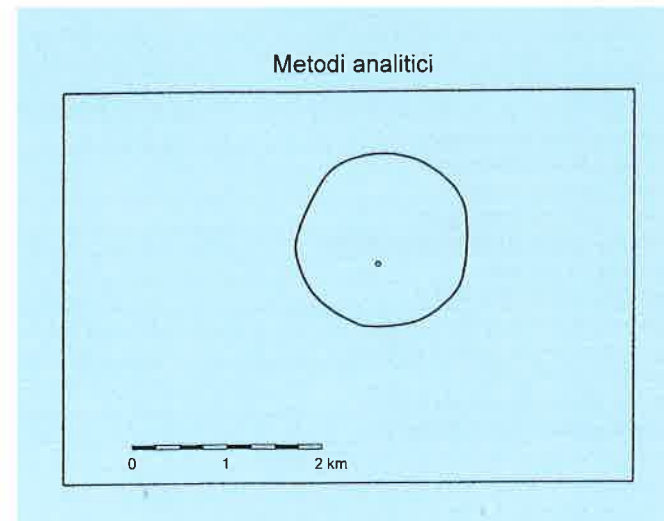


Fig. 8.3 - Andamento dell'isocrona $t = 365 \text{ g}$ ottenuta con il metodo analitico basato sulla soluzione di Bear, 1979 (FASCERIS)

valori di parametri ognuno dei quali ritenuto essere una plausibile realizzazione del "set reale".

L'obiettivo di un approccio Monte Carlo è pertanto quello di stimare l'incertezza nella definizione della forma e dimensione delle isocrone in ragione dell'incertezza dei parametri di input; ciò equivale a stimare la distribuzione di probabilità cumulativa della zona di rispetto, nota la distribuzione di probabilità delle variabili idrogeologiche.

Un esempio di applicazione di un metodo stocastico per la delimitazione delle zone di rispetto è quello che si basa sul modulo MONTEC dell'U.S. Environmental Protection Agency, 1991.

Questo metodo è valido solo per una soluzione semi-analitica del flusso idrico (GPTRACK) e per un acquifero semiconfinato, con mezzo omogeneo, isotropo e flusso idrico uniforme.

La distribuzione di probabilità per le variabili di input considerate "incerte" per l'area campione viene riportata schematicamente in Tab. 8.3, mentre in Fig. 8.4 sono rappresentate le isocrone corrispondenti ai 50, 80, 95 e 99 percentili.

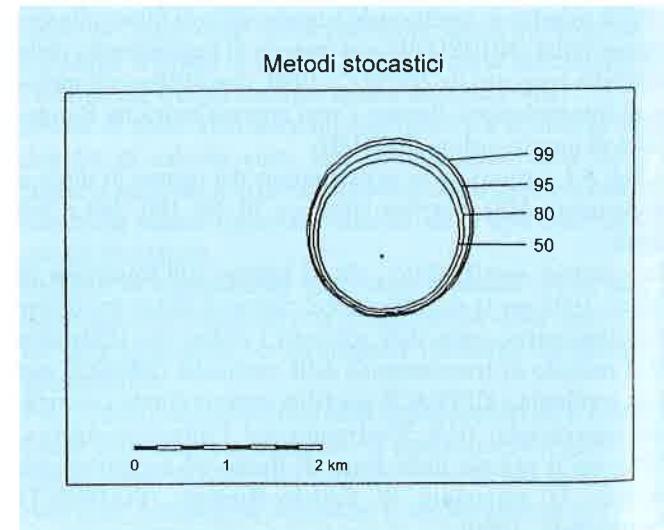


Fig. 8.4 - Andamento delle isocrone ($t = 365 \text{ g}$) ottenute con il codice MONTEC corrispondenti ai 50, 80, 95 e 99 percentili

VARIABILI REGIONALIZZATE	TIPO DI DISTRIBUZIONE	MEDIA	DEVIAZIONE STANDARD	LIMITE INFERIORE	LIMITE SUPERIORE
POROSITA' EFFICACE	lunifforme			0.13	0.15
CONDUCIBILITA' IDRAULICA (m/s)	lognormale	4.7E-04	8.8E-05		
SPESSORE ACQUIFERO SEMICONFINATO m	normale	17	5		
PERMEABILITA' AQUITARD m/s	uniforme			4.0E-08	9.0E-08
SPESSORE AQUITARD m	normale	12	2		

Tab. 8.3 - Distribuzione di probabilità calcolate per alcuni parametri idrogeologici.

MODELLO	DIMENSIONE m VALLE - MONTE - LATERALE	DIMENSIONE % VALLE - MONTE - LATERALE	FORMA Lunghezza/ Larghezza	AREA kmq	area %
MODFLOW PATH3D	575 1080 800	1,00 1,00 1,00	1.03	2.40	1.00
GPTRACK	630 1080 840	1,09 1,00 1,05	1.02	2.60	1.08
RESSQC	690 1155 930	1,20 1,06 1,12	0.90	3.00	1.25
FASCERIS	699 1161 919	1,21 1,07 1,15	0.96	2.70	1.13
MONTEC - GPTRACK	630 1260 870	1,09 1,17 1,09	1.08	2.55	1.06

Tab. 8.4 - Confronto dei risultati ottenuti con i diversi metodi di calcolo in termini di dimensione, forma e area delle zone di rispetto ($t = 365 \text{ g}$)

Un confronto tra le diverse metodologie applicate per la perimetrazione delle zone di rispetto è stato fatto in termini di dimensione (a valle, a monte e laterale), forma e area sottesa relativamente a 1 anno di tempo di sicurezza come riportato in Tab. 8.4.

In generale è emerso da questo studio come i metodi analitici e semianalitici, oltre a descrivere forme più regolari, sovrastimano rispetto al metodo numerico, la dimensione delle zone di rispetto per tempi di arrivo superiori ai 30 giorni (da circa 1 al 25 %, a seconda che si considerino soluzioni valide solo per acquifero confinato o come per il caso di studio, per acquifero semiconfinato).

8.3 Osservazioni conclusive

Sono stati descritti sinteticamente i principali risultati ottenuti ricorrendo a differenti metodi di calcolo (analitici, semianalitici e numerici) per la perimetrazione delle zone di rispetto secondo il criterio cronologico, come ad esempio già studiato a livello internazionale da Bair E.S., Roadcap G.S., 1992.

Questi diversi metodi di calcolo sono stati applicati a un'area-campione caratterizzata da un acquifero alluvionale e fluvioglaciale su cui insiste un ipotetico campo pozzi che emunge da una falda semiconfinata.

La ricostruzione più accurata del campo di moto di tale falda è stata ottenuta mediante l'implementazione di un modello numerico (MODFLOW) che permette di considerare l'eterogeneità e la complessità del sistema idrogeologico.

I risultati ottenuti da questo modello, in termini di perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi, sono stati presi come termine di confronto per quelli derivanti dall'applicazione di soluzioni matematiche più semplici.

Dalle elaborazioni effettuate è emerso che il ricorso a queste ultime soluzioni (FLOWNET, DREAM, FASCERIS, RESSQC, GPTRACK), capaci di descrivere solo in modo semplificato la geometria degli acquiferi, le condizioni al contorno, l'eterogeneità dell'acquifero, la drenanza, etc., fornisce comunque risultati in qualche modo comparabili, in termini di dimensioni e di forma delle zone di rispetto, a quelli ottenibili con i metodi numerici adottati (MODFLOW-PATH3D).

Per la situazione idrogeologica presa in esame ciò è stato possibile solo in quanto si sono utilizzate, nelle formulazioni matematiche più semplici, i dati idrogeologici di input stimati sulla base di un'analisi geostatistica.

L'applicazione di un metodo stocastico basato su un approccio di tipo Monte Carlo (valido per soluzioni semianalitiche) ha permesso di dare inoltre indicazioni circa la distribuzione di probabilità cumulativa della perimetrazione della zona di rispetto dei pozzi, data l'incertezza della stima dei valori di una o più variabili idrogeologiche di interesse.

I risultati fino a ora conseguiti suggerirebbero di ricorrere, almeno in una fase preliminare dello studio per la delimitazione delle zone di rispetto di un campo pozzi o per situazioni idrogeologiche particolarmente semplificate, ai modelli analitici e semianalitici facendo particolare attenzione alla fase di taratura dei valori dei parametri idrogeologici.

Si è verificato infatti che tali modelli comportano una sovrastima (qualche volta limitata a poche unità percentuali) della dimensione delle aree di salvaguardia dei pozzi per tempi d'arrivo superiori ai 30 giorni (fino a un anno) e descrivono forme più regolari delle isocrone, data la maggiore schematizzazione e semplificazione dei parametri fisici del sistema rispetto ai metodi numerici.

9. Costi delle aree di salvaguardia

L'adozione di sistemi di prevenzione della contaminazione delle acque in afflusso alle captazioni comporta oneri di investimento e di gestione che sono ancora poco conosciuti in Italia a causa delle ridotte esperienze in materia.

Deve essere comunque ricordato che i costi di gestione delle aree di salvaguardia sono da includersi all'interno della "tariffa del servizio idrico" secondo la Legge 5 gennaio 1994 n.36, i cui contenuti sono ripresi anche dal D.P.C.M. del 4 marzo 1996.

Dinanzi ai contenuti tecnici da sviluppare e ai relativi oneri, può sorgere il dubbio circa l'opportunità di sviluppare i sistemi di prevenzione, a fronte invece dell'attesa apparentemente non onerosa di un'eventuale contaminazione e di un intervento successivo.

Come verrà illustrato in seguito, la prevenzione trova una giustificazione non solo dal punto di vista teorico, ma anche con una valutazione economica.

9.1 Costi generali delle aree di salvaguardia

Sintetizzando gli elementi che concorrono a definire il costo della implementazione e gestione delle aree di salvaguardia, si può avere la seguente distinzione orientativa.

A - Costi di investimento

- studio per la delimitazione
- procedure di implementazione delle aree
- eventuale acquisto di parte delle aree di salvaguardia
- opere di messa in sicurezza
- predisposizione di un piano di intervento

B - Costi di gestione

- controlli sul territorio
- interventi locali di bonifica
- rete di monitoraggio (misure di campagna e di laboratorio)
- consulenze e studi
- aggiornamento piano di intervento

Non vengono considerati in questa sede interventi di notevole impegno tecnico-economico, quali la ristrutturazione della rete di smaltimento delle acque di scarico, che devono essere realizzati sulla base dei Piani di Risanamento, ma con priorità per le aree di salvaguardia.

Rimane ancora da definire il meccanismo con cui introdurre alcune possibilità di incentivazione su vaste aree, anch'essi raggruppati all'interno dei costi di gestione con durata parziale o indefinita, che possano interessare:

- modifica dei cicli produttivi con eliminazione di sostanze pericolose;
- riduzione del carico di concimi, fertilizzanti e fitofarmaci utilizzati sul terreno dalle pratiche agricole.

Tali incentivi potrebbero infatti essere messi a carico delle utenze, ma mediante una gestione finanziaria di più ampio territorio, quantomeno regionale.

Si rende allora necessario creare un fondo per il finanziamento di programmi per la realizzazione e gestione delle aree di salvaguardia, come già presente in altri Paesi.

9.2 Costi per la delimitazione delle aree di salvaguardia

I costi per lo studio delle aree di salvaguardia sono stati generalmente distribuiti in due modi all'interno delle esperienze italiane:

- Delimitazione eseguita direttamente dai tecnici dell'Ente gestore: questa operazione è stata eseguita dai grandi Enti o Aziende sia per i pozzi singoli come il CAP Milano di Milano (in C.N.R.- G.N.D.C.I., 1988 e Peterlongo G., 1997) che per campi pozzi come per l'AGAC di Reggio Emilia (Pagotto A., Panini G., Pellegrini M., 1994).
- Delimitazione eseguita da Società di consulenza specializzate su incarico dell'Ente, che si occupano dalla ricostruzione dello schema idrogeologico alla implementazione di un modello e fino alla perimetrazione delle aree di salvaguardia.

Nelle due situazioni tipiche i costi sono stati assorbiti all'interno del bilancio degli Enti come spese per personale, attrezzature, trasferte e altre voci nel primo caso e nel secondo come spese per consulenze per il secondo.

I costi sono molto variabili in relazione ai seguenti fattori:

- accessibilità captazioni
- dati esistenti
- studi integrativi
- prove sperimentali da eseguire
- numero e importanza delle captazioni
- portata prelevata
- metodo di delimitazione adottato
- codici numerici utilizzati.

In effetti si può passare dall'ordine di grandezza di milioni per un pozzo singolo (si veda ad esempio Regione Piemonte, 1997) a decine di milioni per campi pozzi.

Un esempio di costi è offerto dalla Tabella 9.1 che si riferisce agli U.S.A..

Pur nella differenza di approccio, di costi unitari e di aggiornamento dei costi, come si osserva i valori possono variare di due ordini di grandezza in relazione alla complessità delle elaborazioni derivanti dal metodo di calcolo.

La Tab. 9.2 riporta una stima di costi più completa relativa alla perimetrazione delle aree di salvaguardia, anche per quanto riguarda la circolazione delle acque sotterranee in mezzi fessurati.

In questa situazione, stante l'obiettivo difficoltà di studio per le situazioni considerate, i costi variano di un ordine di grandezza.

Deve comunque essere attentamente valutata la necessità di studi e approfondimenti in quanto l'adozione di sistemi semplici e la conseguente scarsa accuratezza della delimitazione può comportare problemi, che si manifestano sia in una pro-

Metodo	Ore/uomo per ogni pozzo	Livello di esperienza *	Costo per pozzo (\$)	Spese generali previste **
Raggio arbitrario	1-5	1	12-60	Basse
Raggio fisso calcolato	1-10	2	17-170	Basse
Dimensioni variabili semplificate	1-10	2	17-170	Medio-basse
Metodi analitici	2-20	3	60-600	Medie
Cartografia idrogeologica	4-40	3	120-1200	Medio-alte
Modelli numerici di flusso e trasporto	100-oltre 200	4	350-oltre 7000	Alte

* Livello di esperienza:

- 1 - esperienza idrogeologica non richiesta (12 \$/ora)
 2 - bassa esperienza idrogeologica (17 \$/ora)
 3 - media esperienza idrogeologica e nell'uso di modelli (30 \$/ora)
 4 - elevata esperienza idrogeologica e nell'uso di modelli (35 \$/ora)

** Nelle spese generali sono comprese: attrezzature per il rilievo dei dati idrogeologici, hardware e software, preparazione relazioni e carte. Non sono considerati gli oneri per eventuali società di consulenza.

Tab. 9.1 - Costi di delimitazione delle aree di salvaguardia in relazione a diversi metodi di approccio adottati: costi unitari dedotti da NWWA, 1985 (da U.S. Environmental Protection Agency, 1987)

Metodo	Operazioni necessarie	Tempo richiesto (giorni) 1	Livello di esperienza 2	Stima dei costi (\$) 3
Carte di vulnerabilità	<i>In sito</i>			
	Ubicazione pozzi misurabili	2	I	300
	Soggiacenza falda	Diversi	IV	600
	Geologia dell'area	Diversi	III, IV	1500
	<i>In laboratorio</i>			
	Interpretazione dati sul suolo	diversi	(esperto)	500
	Costruzione di carte piezometriche	2	III	400
	Costruzione di carte tematiche	2 giorni	III	400
	Compilazione della cartografia	2 giorni	III	400
				4100
Carte piezometriche	<i>In sito</i>			
	Ubicazione pozzi misurabili	2	I	100
	Misura quote dei pozzi	3	IV	400
	Installazione piezometri	3	III, IV	2000
	Misure di soggiacenza			120
	<i>In laboratorio</i>			
	Raccolta e rappresentazione dati dei pozzi	2-3		240
	Elaborazioni manuale	2		160
	Elaborazioni computerizzata	2		800
	Delimitazione zona di influenza pompaggio	0.17		60
Carte piezometriche e calcolo delle isocrone	<i>In sito</i>			
	Ubicazione pozzi misurabili	2	I	100
	Misura quote dei pozzi	3	IV	400
	Installazione piezometri	3	III, IV	2000
	Misure di soggiacenza			120
	Misura parametri idrogeologici	2-3	III, IV	1000
	<i>In laboratorio</i>			
	Raccolta e rappresentazione dati dei pozzi	2-3		240
	Elaborazioni manuale	2		160
	Elaborazioni computerizzata	2		800
Carte piezometriche con equazione di flusso uniforme	<i>In sito</i>			
	Ubicazione pozzi misurabili	2	I	100
	Misura quote dei pozzi	3	IV	400
	Installazione piezometri	3	III, IV	2000
	Misure di soggiacenza			120
	Misura parametri idrogeologici	2-3	III, IV	1000
	<i>In laboratorio</i>			
	Raccolta e rappresentazione dati dei pozzi	2-3		240
	Elaborazioni manuale	2		160
	Elaborazioni computerizzata	2		800

Delimitazione zona di influenza del pompaggio	0.17	IV	60
Stima della conducibilità idraulica (dati sperimentali e di letteratura)	2-3	VI	1500
Applicazione delle equazioni di flusso uniforme	0.17	II	60
Stima del tempo di residenza			6460
Campionamento acque	<i>In sito</i>		
<i>In laboratorio</i>	2	IV	300
Determinazioni analitiche (idrochimica di base ed isotopica)		(laboratorio chimico)	3000
Interpretazione dei dati	2	VI	1200
Uso di codici numerici			4500
<i>In sito</i>			
Ubicazione pozzi misurabili	2	I	100
Misura quote dei pozzi	3	IV	400
Misure di soggiacenza	diversi	IV	500
Installazione piezometri	3	III, IV	2000
Perforazione piezometri	7	III, IV	15000
Carotaggio geofisico	diversi	III, IV	5000
Ispezioni con telecamera	1	IV	1000
Slug tests	10	IV	1500
Prove di pompaggio	2	III, IV	2000
Cartografia geologica	2	III, IV	500
<i>In laboratorio</i>			
Costruzione carte piezometriche	7	III	500
Costruzione carte tematiche	2	III	200
Analisi dei dati di campo (stratigrafie, carotaggi geofisici, slug tests, prove di pompaggio)	20	III-VI	5000
Implementazione del modello (selezione dei parametri di input, limiti al contorno, discretizzazione spaziale, gestione dei dati)	20	VI	9000
Taratura e verifica del modello	15	VI	6000
Simulazioni in regime transitorio	7	VI	3000
Utilizzo del metodo delle particelle traccianti per delimitare la zona di afflusso e le isocrone	2	VI	6000
Preparazione degli output grafici	7	V	2000
			59700

1 - Il tempo richiesto dipende dalla scala e dalla complessità del problema

2 - Livello di esperienza richiesto:

- I - Esperienza tecnica modesta o non richiesta (5 \$/ora)
 II - Esperienza con conoscenze di idrogeologia (7.50 \$/ora)
 III - Richiesta esperienza in idrogeologia e cartografia (10 \$/ora)
 IV - Richiesta esperienza in misure idrogeologiche in sito (15 \$/ora)
 V - Esperienza in elaborazioni idrogeologiche al computer (50 \$/ora)
 VI - Richiesta esperienza in idrogeologia ed elaborazioni al computer (75 \$/ora)

3 - I costi non sono comprensivi di spese generali, attrezzature, trasferte e oneri amministrativi

Tab. 9.2 - Stima del tempo, del livello di esperienza e dei costi necessari per delimitare le aree di salvaguardia in relazione ai metodi adottati (da U.S. Environmental Protection Agency, 1991)

tezione non idonea delle captazioni sia in spese non efficaci per il raggiungimento degli obiettivi di tutela. A titolo esemplificativo può essere consultata la Fig. 9.1 che riporta il confronto delle aree interessate dai vincoli in due situazioni tipiche anche del territorio italiano. In essa compaiono due modi convenzionali di perimetrazione come ad esempio quello geometrico (distanza di 200 m) e quello cronologico (60 giorni). Si possono adottare i seguenti indicatori di efficienza ed efficacia della tutela (espressi in percentuale):

$$\text{- area comune protetta: } S1 = \left(\frac{A_m}{A_{std}} \right) 100$$

$$\text{- area sottoprotetta: } S2 = \left(\frac{A_u}{A_{std}} \right) 100$$

$$\text{- area di errata protezione: } S3 =$$

$$= \left(\frac{A_e - A_m}{A_{std}} \right) 100$$

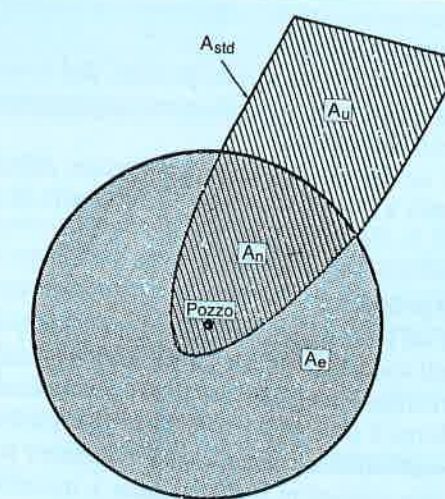


Fig. 9.1 - Confronto tra le superfici di una zona di rispetto dei pozzi calcolata con il criterio geometrico e con il criterio cronologico

essendo Am l'area coperta dai due metodi, Au l'area non coperta dal metodo del metodo geometrico, Ae l'area coperta dal metodo geometrico e Astd l'area data dal metodo cronologico usata come standard per la comparazione.

È evidente che in casi comuni il valore di Ae e di Au, relativi rispettivamente a un sovra e sottodimensionamento della protezione, possono raggiungere in percentuale valori della decina di unità, indicando l'importanza della valutazione tecnico-economica iniziale.

Ad esempio adottando i 200 m del criterio geometrico e i 60 giorni del criterio cronologico per un pozzo che preleva $Q=25$ l/s in presenza di un acquifero con trasmissività $T=4.5 \cdot 10^{-3}$ m²/s, porosità efficace $n=0.15$ e con un gradiente idraulico $i=0.002$ si ottengono i seguenti valori dei parametri indicati: $S1=34.7\%$, $S2=65.3\%$ e $S3=54.3\%$.

Risulta quindi un'inefficienza elevata della protezione (oltre il 50%) e una scarsa efficacia della protezione (oltre il 65%).

9.3 Esperienze internazionali di copertura di costi

Con riferimento alla letteratura internazionale, la copertura finanziaria delle operazioni connesse alle aree di salvaguardia precedentemente elencate sono realizzate dagli Enti pubblici sostanzialmente mediante i seguenti meccanismi.

Imposte e tasse locali

I principali meccanismi finanziari locali che sono stati utilizzati riguardano imposte dirette su beni mobili e immobili e imposte indirette.

Nell'attuale esigenza di razionalizzazione e semplificazione dell'imposizione fiscale, onde non introdurre ulteriori voci rispetto a quelle numerose esistenti, sarebbe proponibile un'aliquota destinata alle aree di salvaguardia da inserire all'interno delle imposte regionali allo studio.

Per quanto riguarda altre forme di imposte si segnalano:

- oneri di urbanizzazione: in merito alla necessità di realizzare idonei sistemi di allacciamento fognario, depurazione delle acque, monitoraggio delle falde, ecc.;
- oneri di controllo: destinati a rifondere gli Enti incaricati della sorveglianza dei costi sostenuti per i controlli;
- multe: prodotte da controlli negativi e finalizzate a indirizzare verso un uso corretto del territorio e a uno sviluppo di attività compatibili;
- canoni e tasse di allacciamento: prodotti dall'inserimento dell'utenza nelle linee di distribuzione acquedottistica e di smaltimento delle acque;
- canoni di servizio: prodotti da prestazioni difficilmente quantificabili a misura e a secondo del livello di servizio fornito.

Investimenti privati

In relazione all'interessamento dei privati all'interno della gestione degli acquedotti, come ad esempio nel caso di affidamento in concessione, questo tipo di impostazione è finalizzata a ridurre il peso finanziario sugli Enti pubblici delle opere da progettare e successivamente realizzare per la salvaguardia delle captazioni e d'altra parte a minimizzarne i costi con opportuni interventi.

Nelle esperienze realizzate i fondi messi a disposizione sono stati impiegati per l'acquisto delle aree e la gestione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee.

Fondi e mutui a livello statale o regionale

Sono diverse le possibilità di finanziamenti a medio-lungo termine di programmi di tutela delle risorse idriche sotterranee mediante l'implementazione delle aree di salvaguardia.

Tali possibilità possono essere attuate mediante:

- finanziamento agevolati e mutui, operazioni usuali per quanto riguarda le opere pubbliche;
- finanziamento a fondo perso, per lo sviluppo e l'implementazione di programmi di protezione delle acque sotterranee.

Gli aspetti sopra ricordati sono di fondamentale importanza in quanto, senza idonea copertura finanziaria, si sono resi spesso inefficaci interventi che apparivano i più tecnicamente idonei per assicurare la salvaguardia delle opere di captazione.

In Tab. 9.3 sono riassunte alcune esperienze di finanziamento degli interventi di studio e gestione delle aree di salvaguardia negli U.S.A..

Come si nota esiste una varietà di modalità di finanziamento, dalle tasse ai canoni di allacciamento e fino alle obbligazioni che sono state utilizzate per acquisizione delle aree, monitoraggio delle risorse, controlli, studi e realizzazione di interventi di risanamento delle acque.

A fronte di questo imponente lavoro appare importante un confronto tra gli investimenti sul tema della prevenzione degli inquinamenti e i risultati attesi.

Su questo argomento l'U.S. Environmental Protection Agency ha sviluppato diversi elementi di valutazione (U.S. Environmental Protection Agency, 1987, 1988 e 1989).

Eseguendo un'analisi su aree-campione del territorio U.S.A., sono state valutate le diverse opportunità di tutela dell'approvvigionamento idrico con la finalità di verificare dal punto di vista economico le due seguenti opzioni: prevenire la contaminazione dei pozzi o intervenire una volta che essi sono contaminati.

I risultati di questo studio sono riportati in Tab. 9.4.

Sono stati esaminati territori con diverso uso del suolo (urbano, suburbano e urbano), diversa struttura acquedottistica (pozzo singolo o campo-pozzi) e utenza con differente domanda (da 700 a 60.000 abitanti).

A parte un caso particolare, dovuto all'esistenza di una singola possibilità di approvvigionamento, dalla tabella si evidenzia come i costi di intervento, con fonti alternative, trattamento delle acque od opere di risanamento sono complessivamente superiori a quelli di prevenzione da 3 a 16 volte; tale rapporto diventa ancora più elevato se si considera il costo unitario per ogni singola captazione in quanto si possono raggiungere valori fino a 178 volte.

Stante quindi l'importanza della prevenzione, nel Safe Drinking Water Act Amendments approvato nel 1996 in U.S.A. sono stati messi a disposizione dei singoli Stati 30 milioni di \$ negli anni 1997-2003 per le sole aree di salvaguardia.

Il 10% della somma può essere usato dagli Stati negli anni 1996 e 1997 al fine di implementare i programmi di protezione dei campi-pozzi e un ulteriore 10% può essere stanziato per gestire e fornire assistenza tecnica alla protezione delle risorse idriche.

Per lo stesso periodo altri 15 e 15 milioni di \$ sono stati stanziati per la reimmersione nel sottosuolo e la protezione di "acquiferi critici".

Località ed Ente	Attività	Modalità di finanziamento
State of Arizona Dep. Environmental Quality	Controlli di prestazioni di Discariche	Oneri di autorizzazione (proposta)
Town of Easton, MA Public Water Company	Controlli sull'uso del suolo e di prestazioni	Canoni e tasse di allacciamento
Commonwealth of Massachusetts Department Environmental Quality Engineering	Acquisizione delle aree	Obbligazioni
Town of Harwich, MA Water Department	Controlli sull'uso del suolo	Entrate generali, obbligazioni
Country of San Bernardino, CA Heath Department	Monitoraggio, autorizzazione di nuovi pozzi	Oneri di urbanizzazione e di autorizzazione
State of Vermont, Department of Development & Community Affairs	Acquisizione delle aree, studi e pianificazione	Imposta su trasferimento di beni immobili
State of Nebraska Natural Resource Commission	Controlli di prestazioni	Imposte speciali
State of New York Department of Environmental Conservation	Acquisizione delle aree	Obbligazioni
City of Tacoma, WA Planning Commission	Controlli sull'uso del suolo e sulle prestazioni (proposta)	Oneri di autorizzazione, canoni di servizio (proposta)
City of Collier, FL Department Environmental Science & Pollution Control	Controlli sull'uso del suolo e sulle prestazioni	Entrate generali
County of Ocean, NJ Health Department	Controlli sull'uso del suolo e di prestazioni, nuovi pozzi	Multe, oneri di autorizzazione e monitoraggio
County of Suffolk, NY Department Health Services	Acquisizione delle aree	Specifiche imposte sulle vendite
Edwards Underground Water Conservation District, TX	Controlli di prestazioni (proposta)	Entrate generali
South Control Connecticut Regional Water Authority	Acquisizione e gestione delle aree	Canoni e tasse di allacciamento
Town of Nantucket, MA Land Bank Commission	Acquisizione delle aree	Imposta su trasferimento di beni immobili
South Florida Water Management District	Uso e autorizzazione di pozzi, ricarica	Tasse in relazione alle proprietà
Bourne Water District, MA	Acquisizione delle aree	Tasse sulle proprietà, obbligazioni specifiche
Town of Littleton, MA Department Light & Water	Installazione di pozzi, monitoraggio, controllo di prestazioni	Ingiunzioni, oneri e canoni di autorizzazione, tasse
Metro. Dade County, FL Department Environmental Resource Management	Studi, imposizioni, monitoraggio e pianificazione. Permessi operativi. Approvazione dei piani	Canoni di servizio (sovaccarico di servizio), oneri di autorizzazione,
Santa Clara Valley Water District, CA	Approvvigionamento idrico da acque superficiali e sotterranee	Tasse sui carichi e sul trattamento delle acque superficiali, tasse sulle proprietà, canone sul servizio di pompaggio delle acque sotterranee
LOTT Operating Agency and County of Thurston, WA Department of Health	Intercettazione acque fognarie. Modelli, monitoraggio, informazione al pubblico, pianificazione	Canone per uso delle fosse settiche, di allacciamento, d'uso del sistema fognario, concessioni
County of Spokane, WA Department Public Works	Intercettazione acque fognarie. Modelli, monitoraggio, informazione al pubblico, coordinamento della regolamentazione	Canone per il pompaggio, per uso delle fosse settiche, specifiche tasse sulle vendite. Imposta su trasferimento di beni immobili. Oneri per pianificazione

Tab. 9.3 - Esempi di finanziamento dello studio e della gestione delle aree di salvaguardia in U.S.A. (da U.S. Environmental Protection Agency, 1989)

9.4 Un'esperienza italiana di costi associati alla gestione delle aree di salvaguardia

In Italia sono assai ridotte le esperienze e in questa sede si riporta l'esempio dell'approccio seguito dall'Azienda Speciale Consortile Approvvigionamento Acqua di Parma (A.S.C.A.A.) per quanto riguarda il campo-pozzi di Priorato in Comune di Fontanellato.

L'A.S.C.A.A. gestisce due campi pozzi (Priorato e San Donato) a servizio di una parte dei Comuni della Provincia di Parma.

Nell'area di Priorato sono presenti 6 pozzi di cui 5 attivi e in quella di San Donato 2 pozzi attivi e 1 in corso di allacciamento.

Per quanto riguarda il campo di Priorato le aree di salvaguardia sono state perimetrate (Fig. 9.2) mediante uno studio idrogeologico che ha comportato misure piezometriche, prove di pompaggio ed elaborazioni per un costo complessivo di I.V.A. di circa Lire 24.000.000.

Dopo la sua delimitazione gli oneri finora sostenuti dall'Azienda sono costituiti da:

- studi e consulenze per la delimitazione delle aree di salvaguardia
- monitoraggio della qualità della risorsa
- costi per il personale.

È stato successivamente deciso di attivare una serie di inter-

Località (abitanti)	Territorio	Costi di intervento (\$) *	Costi di intervento per pozzo (\$)	Costi aree di salvaguardia (\$)	Costi aree di salvaguardia per pozzo (\$)	Rapporto costi (intervento/ aree di salvaguardia)	Rapporto costi per pozzo (intervento/ aree di salvaguardia)
Gilbert, Louisiana (700)	Rurale	1.094.645	547.323	5.487	2.744	200:1	200:1
Norway, Maine (4.000)	Rurale	545.904	545.904	101.014	101.014	5:1	5:1
Tumwater, Washington (13.000)	Suburbano	1.712.440	570.813	286.954	22.073	6:1	26:1
Gettysburg-Lancaster Co., Pennsylvania (12.000-20.000) 16:1	Suburbano-Rurale	4.015.351 (Gettysburg)		4.015.351	248.370 ** (Lancaster Co.)		22.579
Dartmouth, Massachusetts (24.000)	Suburbano	2.353.291	1.176.646	693.365	99.052	3:1	12:1
Middleton, Ohio (60.000)	Urbano	970.342-1.475.470	323.447-491.823	295.892	22.761	3-5:1	14-22:1
Totale		11.197.101	933.092***	1.631.087	34.704***	7:1	27:1

* I costi di intervento indicati sono comprensivi di approvvigionamento idrico alternativo, trattamento delle acque, bonifica della sorgente inquinante e disinquinamento.
** I costi sono comprensivi del tempo necessario per individuare le sorgenti di contaminazione
*** Costi pesati per pozzo sia contaminato che protetto all'interno di ogni comunità

Tab. 9.4 - Confronto tra i costi di prevenzione e quelli di intervento una volta manifestatosi un episodio inquinante (da Job C.A., 1996)

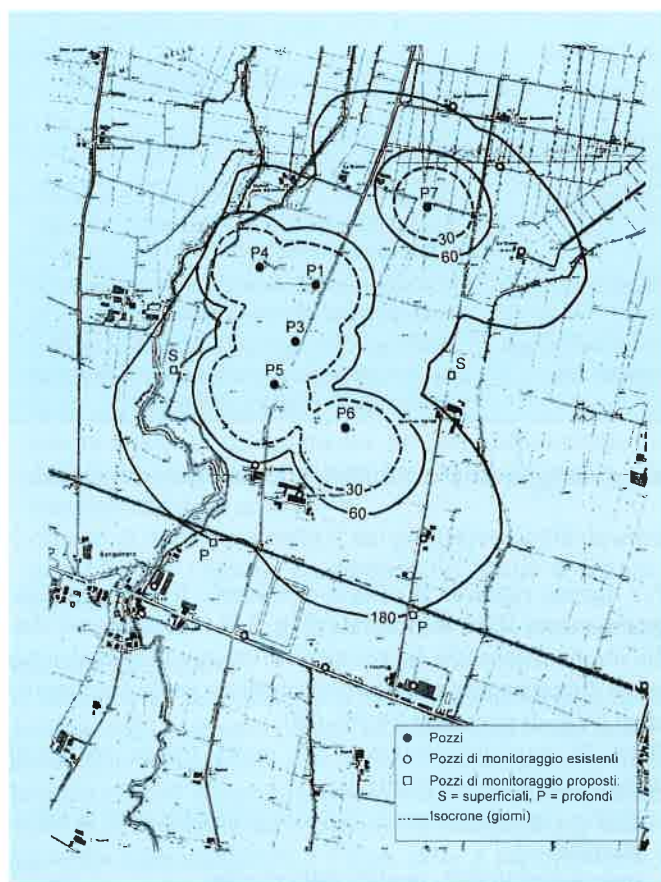


Fig. 9.2 - Estensione delle aree di salvaguardia dei pozzi della centrale di Priorato (Fontanellato) dell'A.S.C.A.A. di Parma

venti sulle aree di salvaguardia in collaborazione con il Comune di Fontanellato.

Il Comune ha infatti predisposto un piano di rinaturalizzazione dell'area che comporta l'acquisto dell'area all'incirca compresa all'interno dell'isocrona 60 giorni.

Il "Progetto di rimboscimento delle aree di protezione e opere accessorie della Centrale di captazione consortile di Priorato" (a cura della Cooperativa di Architetti e Ingegneri di Reggio Emilia) prevedeva di intervenire in una zona definita a elevato rischio ambientale, destinandola all'uso naturalistico al fine di creare intorno ai pozzi una tutela per controllare e vietare un uso del suolo che comporti l'impiego di liquami o altre sostanze inquinanti.

Le risorse economiche di competenza del Comune dovrebbero permettere di intervenire su circa il 50% della zona di rispetto ristretta (isocrona 60 giorni); sul resto di questa zona è previsto l'intervento dell'A.S.C.A.A. per proprie attività.

L'intervento dal punto di vista paesaggistico-ambientale dovrebbe aumentare la "complessità biologica dell'area", introducendo una diversità di specie.

In Fig. 9.3 sono indicate le sistemazioni previste per la zona di rispetto ristretta.

Per quanto attiene al quadro economico degli interventi si ha il seguente prospetto di sintesi.

Importo lavori di rimboscimento: 661 milioni di lire
Espropri terreni: 960 milioni (Comune di Fontanellato) + 210 milioni (A.S.C.A.A.)

Somme a disposizione: 169 milioni di lire

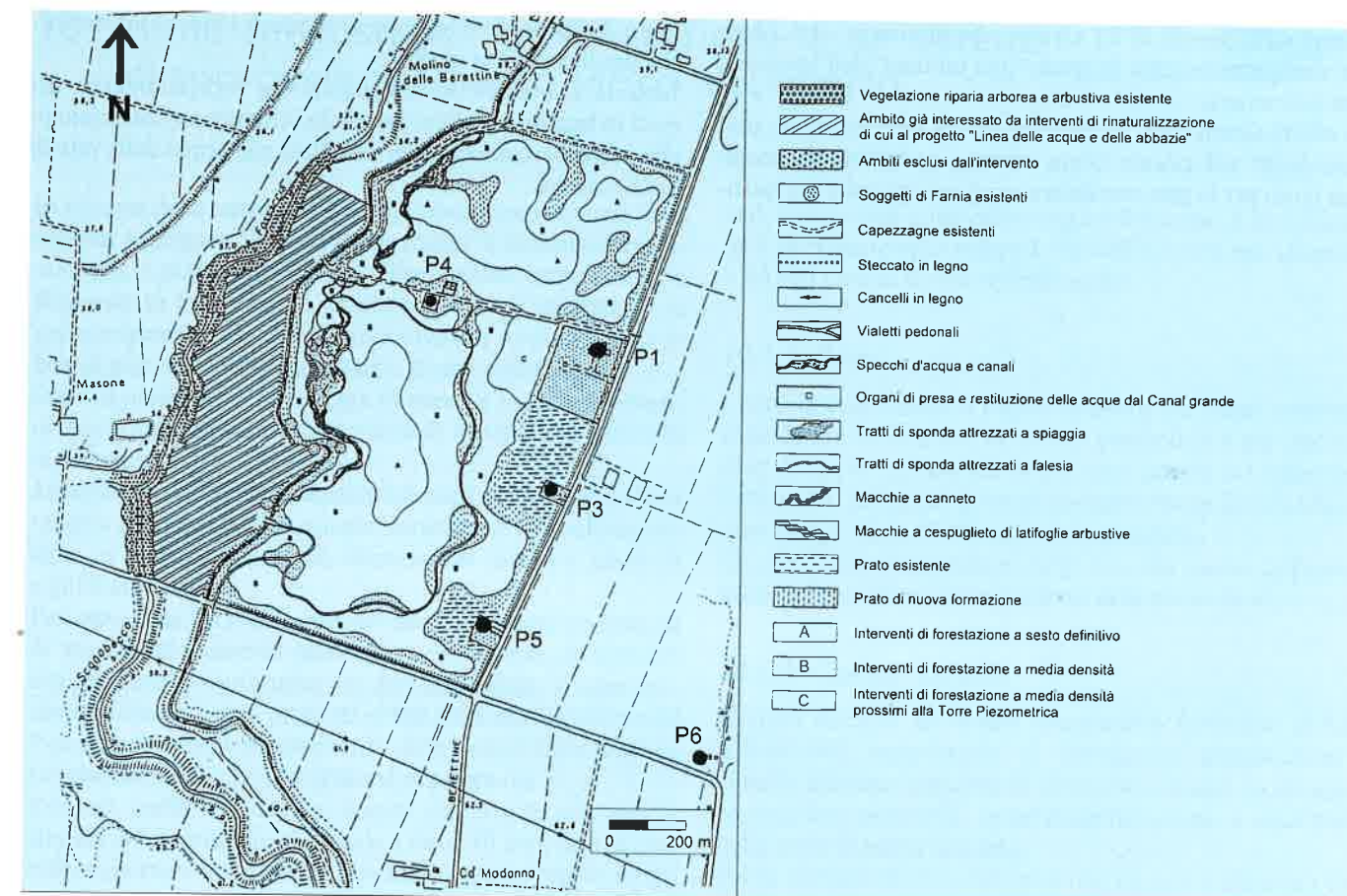


Fig. 9.3 - Sistemazione prevista per la zona di rispetto ristretta della centrale di Priorato (da Cooperativa di Architetti e Ingegneri di Reggio Emilia, 1995)

Per quanto riguarda le forme di finanziamento dell'intervento sono state previste le seguenti modalità.

La Regione Emilia-Romagna ha individuato il Comune di Fontanellato come titolare di un finanziamento relativo al "rimboschimento delle aree di protezione e opere accessorie della Centrale di captazione consortile di Priorato" per l'importo di 2000 milioni di Lire nell'ambito del Piano Triennale di Tutela Ambientale 1994/1996; successivamente tale finanziamento veniva però ridotto a 1790 milioni di Lire.

L'A.S.C.A.A. che aveva contribuito originariamente all'attività con un finanziamento di 1000 milioni di Lire, integrava la disponibilità economica portandola a 1210 milioni di Lire al fine di garantire la copertura finanziaria all'intero progetto. Dal punto di vista amministrativo l'attuazione dell'area di salvaguardia veniva regolamentata da un'apposita Convenzione.

Dal punto di vista gestionale si ha la seguente situazione. L'A.S.C.A.A. impegna il proprio personale nei controlli sulle aree di salvaguardia mediante misure piezometriche e prelievi di acque da sottoporre ad analisi secondo le modalità previste dal Dlgs 31/01.

Inoltre essendosi evidenziata la necessità di controllare le modalità di completamento di alcuni pozzi privati, che fanno parte della rete di monitoraggio nelle vicinanze del campo pozzi, è stata decisa un'ispezione con telecamera.

Pertanto per un anno di attività possono essere valutati i seguenti costi comprensivi di I.V.A.:

Pozzi

- analisi acque pozzi di Priorato: (n.40 del tipo C2): Lire

6.340.000

- analisi acque pozzi di Priorato (n.15 del tipo C3): Lire 5.647.500

- analisi acque pozzi di Priorato (n.5 del tipo C4): Lire 3.612.500

Pozzi di monitoraggio

- analisi acque dei pozzi di monitoraggio (n.5 del tipo C4): Lire 4.735.120

- analisi acque dei pozzi di monitoraggio (n. 25 del tipo C2): Lire 2.730.000

Personale

- trasferte personale (n.8 prelievi mensili, ispezioni, misure, etc.): Lire 1.500.000

- procedure amministrative, inserimento dati, rapporti con i proprietari: Lire 3.600.000

Attrezzature

- uso di automezzo e di personal computer (compreso ammortamento): Lire 1.000.000

Varie

- ispezione con telecamera dei pozzi di monitoraggio: Lire 10.000.000

Considerando che il prelievo annuo di acque dal campo acquifero di Priorato è stato di circa 5.481.000 m³ nell'anno 1996 e che la somma degli importi parziali sopra indicati è di Lire 39.165.120, si ottiene un costo unitario di gestione delle

aree di salvaguardia di 7.1 Lire/m³, che diminuisce a 5.3 Lire/m³ non considerando la spesa "una tantum" dell'ispezione con telecamera.

In effetti alcuni costi potrebbero essere ulteriormente non considerati nel calcolo sopra esposto, in quanto necessari non tanto per la gestione delle aree di salvaguardia ma quan-

to per la stessa distribuzione di acque di idonee caratteristiche per il consumo umano.

Tuttavia si è preferito inserire questa voce all'interno dei costi in quanto i prelievi per analisi chimiche e batteriologiche potrebbero anche essere eseguiti sull'acqua della rete di distribuzione.

10. Stima dei costi per la realizzazione di un sistema di approvvigionamento idrico alternativo

In ragione della possibilità di contaminazione dei pozzi nonostante il sistema di protezione statica e dinamica implementato, è stata in precedenza manifestata come strategia d'intervento l'esigenza di predisposizione di un sistema di approvvigionamento idrico alternativo alle fonti utilizzate in fase di gestione ordinaria da parte di una collettività.

Oltre ai presupposti tecnici già illustrati è necessario considerare anche quelli economici in sede di studio di fattibilità delle opere.

Attualmente esistono valutazioni di costi delle singole opere relative all'approvvigionamento idrico, ma tali valutazioni sono in molti casi parziali, disperse nel tempo e talora di significato locale.

Per una stima dei costi necessari per predisporre un sistema di approvvigionamento alternativo, in assenza di ulteriori elementi e dopo un'analisi dei dati disponibili, si sono pertanto utilizzati i costi proposti ai fini della pianificazione dal Piano Regionale di Risanamento delle Acque della Regione Lombardia, 1992 che di seguito si riassumono.

Pur con queste limitazioni, dovute soprattutto alla data di stesura del documento che risale a circa 10 anni fa, si è ritenuto opportuno considerare comunque questi aspetti finanziari in modo tale che, almeno in sede di fattibilità, possano essere valutate in modo completo le alternative possibili alle fonti di approvvigionamento comunemente utilizzate.

Infatti, come è stato detto in precedenza, le possibili scelte possono riguardare lo sfruttamento di nuovi pozzi, l'allacciamento di nuove fonti, l'interconnessione acquedottistica, il trattamento delle acque, etc.

I costi riportati sono solo indicativi e devono essere peraltro attualizzati; inoltre sono esclusi i costi di acquisti e servizi delle aree, imprevisti, indennizzi, spese tecniche, IVA, etc. che sono stati stimati in circa il 40% dei costi effettivi di costruzione, ristrutturazione e ricostruzione.

10.1 Costi di investimento: nuove realizzazioni

10.1.1 Condotte e reti di distribuzione

I costi delle tubazioni riportati in funzione del diametro in Fig. 10.1 sono stati definiti in relazione a situazioni standard (dal trasporto in cantiere fino al ripristino finale delle condizioni iniziali o di progetto), indipendentemente dal materiale delle condotte e considerando le maggiorazioni di prezzo inerenti le camerette, il valvolame, gli attraversamenti, i getti speciali, etc.

Nel caso di particolari situazioni, come ad esempio in zone montane o urbane di difficile operatività, i costi possono essere maggiorati del 50%.

I costi per le reti di distribuzione a servizio di aree di espansione sono proposti in 300.000-400.000 Lire/abitante che come in precedenza possono essere incrementati fino al 50% per situazioni territoriali difficili.

I costi per le ristrutturazioni delle condotte sono pari a quel-

le di costruzione e nel caso svolgano funzione di distribuzione è necessario aggiungere 1.000.000 Lire/utenza allacciata o 30.000 Lire/m di tronco interessato.

10.1.2 Pozzi

I costi di costruzione e ristrutturazione dei pozzi sono stati considerati in funzione della loro profondità e per due casi (Fig. 10.2): A - terreni sciolti per oltre il 90% del tratto perforato e B - presenza di conglomerati o rocce di consistenza analoga per circa il 50% del tratto perforato.

Gli oneri sono comprensivi delle voci che vanno dall'installazione del cantiere all'esecuzione delle prove finali.

10.1.3 Opere murarie

È stato definito un onere complessivo forfetario di Lire 130.000.000 comprensivo di avampozzo, dissabbiatore a cestello filtrante, impianto di ipoclorito di sodio, locale apparecchiature elettriche, impermeabilizzazione e recinzione della zona di tutela assoluta.

Per la ristrutturazione dell'esistente, l'onere si abbassa a Lire 50.000.000

10.1.4 Impianti di sollevamento per i pozzi

Anche in questa situazione la Fig. 10.3 indica i costi per due situazioni: A - elettropompa con prevalenza di 100 m e B - elettropompa con prevalenza di 200 m.

Tali costi comprendono dall'elettropompa alle tubazioni con valvolame, alle apparecchiature di misura, comando e controllo, etc.

10.1.5 Opere di presa

Per la costruzione e la ristrutturazione delle prese d'acqua (escludendo i pozzi) è stimato un onere di 10.000.000 Lire/(l/s) di portata derivata ed è comprensivo di tutti i costi delle opere civili e idrauliche, a esclusione di quelli relativi agli eventuali impianti di sollevamento.

10.1.6 Serbatoi di cemento armato

Sono stati stimati i costi in Lire/m³ di invaso per due tipologie di serbatoi (Fig. 10.4): A - serbatoio interrato o seminterrato e B - serbatoio pensile.

Detti costi comprendono le opere civili e idrauliche e in particolare per quelli interrati anche i costi di locali di manovra e, per quelli pensili, le protezioni e l'isolamento termico ed elettrico della struttura; sono invece esclusi eventuali impianti di sollevamento.

10.1.7 Opere di sconnessione idraulica

Sono valutabili in due possibili situazioni: uguali ai costi dei serbatoi interrati o seminterrati nel caso di costruzione di

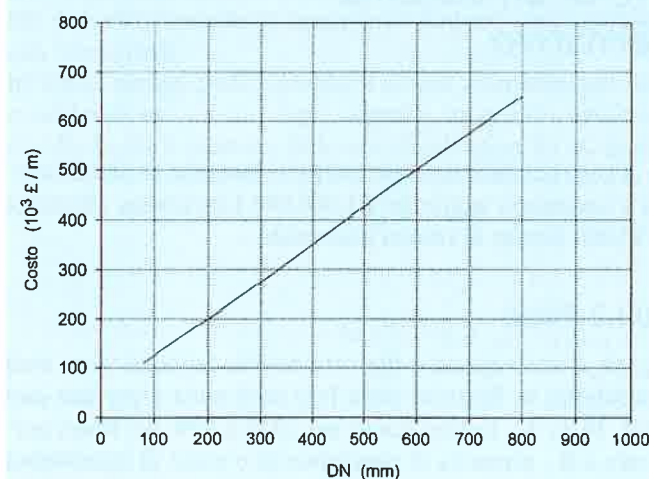


Fig. 10.1 - Costo delle condotte (da Regione Lombardia, 1992)

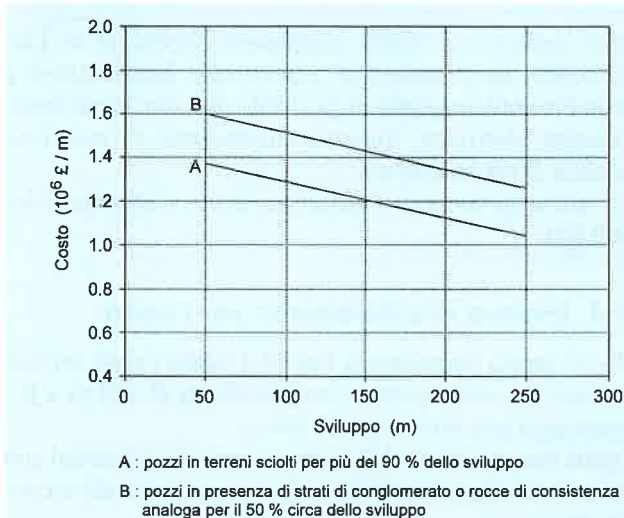


Fig. 10.2 - Costo dei pozzi trivellati (da Regione Lombardia, 1992)

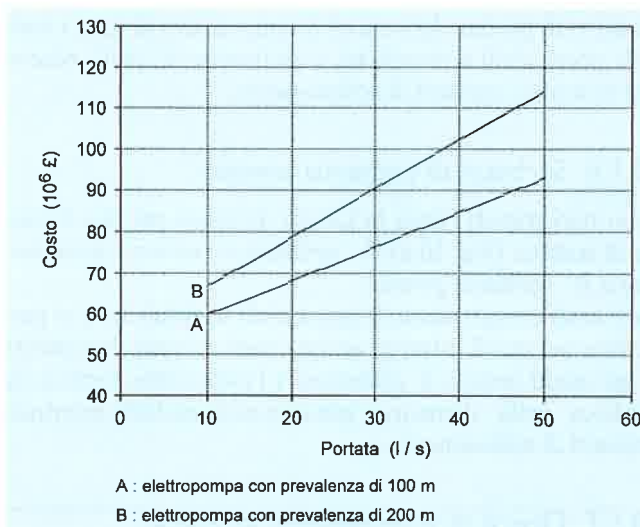


Fig. 10.3 - Costo degli impianti di sollevamento per pozzi (da Regione Lombardia, 1992)

vasche, compresi nei costi di costruzione nel caso di realizzazione di valvole.

10.1.8 Impianti di sollevamento esclusi quelli da pozzo

Il costo complessivo di opere civili ed elettromeccaniche è indicato in Fig. 10.5 in funzione del kW idraulico utile.

10.1.9 Impianti di trattamento

a) Impianti di dissabbiamento

Per portate fino a 40 l/s il costo stimato per un dissabbiatore a cestello filtrante con dispositivo automatico di lavaggio in controcorrente, valvolame, collegamenti, scarico, etc è stimato forfaitariamente in Lire 35.000.000.

In caso di portate superiori è necessario ricorrere a dissabbiatori in parallelo, adeguando i relativi costi.

b) Impianti di disinfezione

Sono previste le seguenti possibilità:

- Biossido di cloro: il costo di un reattore e dosatore, due

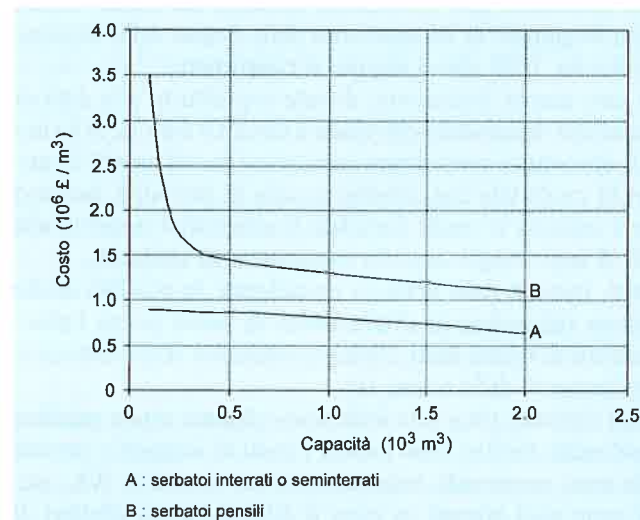


Fig. 10.4 - Costo dei serbatoi in cemento armato (da Regione Lombardia, 1992)

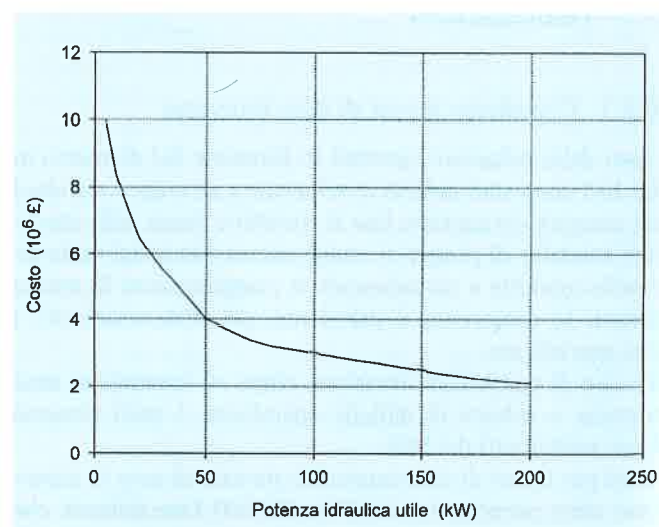


Fig. 10.5 - Costo degli impianti di sollevamento (esclusi quelli da pozzo) (da Regione Lombardia, 1992)

serbatoi in plastica di circa 1 m³ clororesiduo metro di controllo e regolazione, collegamenti, etc è stimato in Lire 80.000.000 per modulo adatto a trattare portate di 100 l/s.

- Ipoclorito di sodio: il costo di un impianto finito comprendente dosatore, serbatoio in plastica per ipoclorito da 1 m³, collegamenti idraulici ed elettrici, locali, etc è stimato in Lire 20.000.000.
- Ozono: per un impianto di ozono dimensionato per un dosaggio di 2÷3 mg/l di ozono, completo di apparecchiature elettromeccaniche, locali e vasche di contatto (tempi di detezione di circa 10 minuti) è stimato un costo di 4.700.000 Lire/(l/s) trattato.
- Raggi ultravioletti: un impianto installato in un locale esistente e completo delle apparecchiature elettromeccaniche, collegamenti, etc, presenta un costo stimato in 3.800.000 Lire/(l/s) trattato.

c) Impianti di rimozione di elementi indesiderabili

Sono state previste due possibilità (Fig. 10.6): A - sola deferrizzazione e B - deferrizzazione e demanganizzazione.

L'impianto è in grado di abbattere il ferro per ossidazione e filtrazione su filtri a sabbia in pressione (batterie di due filtri in parallelo), comprendendo anche compressori di aerazione e lavaggio, collegamenti ad apparecchiature elettriche e idrauliche, escluso però le opere murarie e l'impianto di clozazione.

d) Impianti di adsorbimento su carbone attivo granulare

Per un impianto in pressione installato all'aperto, costituito da due filtri in acciaio in parallelo, dimensionato con velocità di filtrazione di circa 10 m/ora e tempo di contatto di circa 10 minuti, collegamenti elettrici e idraulici, basamento in calcestruzzo, scarico acque di lavaggio, etc è previsto un costo finale di 65.000 lire/(l/s) trattato.

e) Impianto di ossigenazione e impianti di rimozione mediante strippaggio di sostanze volatili

I costi previsti sono indicati in Fig. 10.7 laddove sono indicate le due possibilità: A - ossigenazione e B - strippaggio delle sostanze volatili (idrogeno solforato, metano, ammoniaca, composti organici)

Sono compresi i costi per la costruzione di una torre di strippaggio o ossigenazione all'aperto, vasca di raccolta, filtro depolverizzatore dell'aria ispirata, filtro degasatore acqua espulsa, ventilatore, pompa di risollevarimento, collegamenti idraulici ed elettrici, basamento in calcestruzzo e altre opere per consentire il funzionamento dell'impianto.

f) Impianti per rimozione dei nitrati

Viene considerato un impianto di rimozione per via biologica, con processo eterotrofo, costituito da reattore biologico, torre di ossigenazione e strippaggio, filtro su carbone attivo e su sabbia (con dispositivi di lavaggio con acqua e aria), stoccaggio e dosaggi additivi, collegamenti elettrici e idraulici e opere edili per garantire il funzionamento dell'opera; il costo relativo è indicato in Fig. 10.8.

g) Impianti di rimozione di sali disciolti con elettrodialisi

Per un impianto costituito da filtro a cartuccia, pacchi di membrane di elettrodialisi a due stadi in serie, pompe risollevarimento acqua collegamenti idraulici ed elettrici, opere edili per contenimento impianti, etc vengono previste pre-

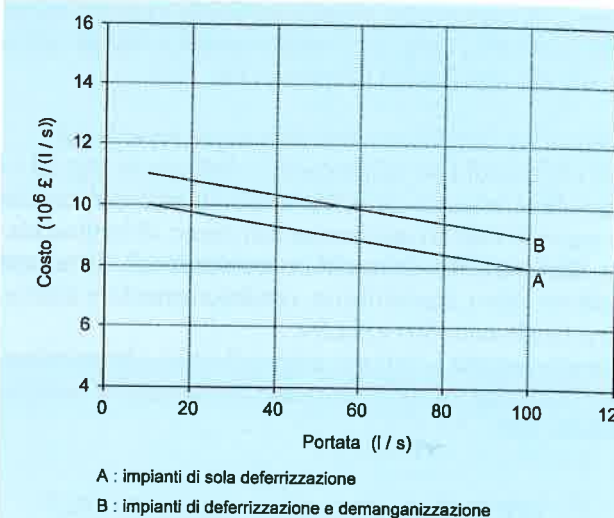


Fig. 10.6 - Costo degli impianti per la rimozione degli elementi indesiderabili (da Regione Lombardia, 1992)

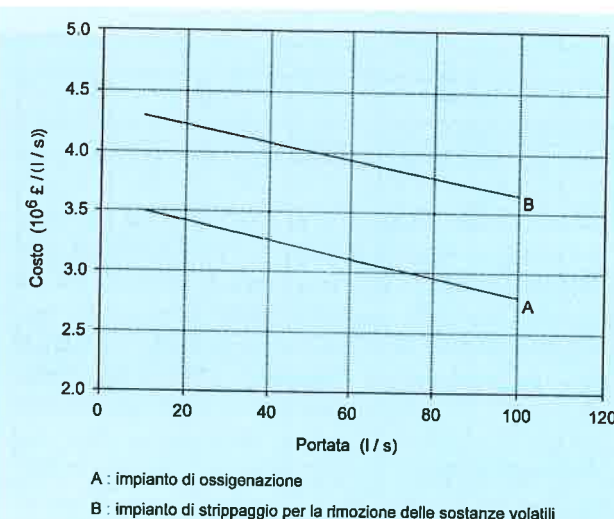


Fig. 10.7 - Costo degli impianti di ossigenazione e strippaggio (da Regione Lombardia, 1992)

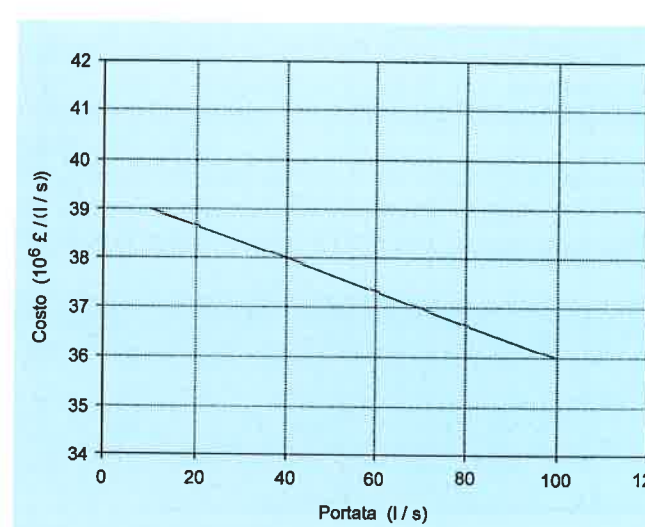


Fig. 10.8 - Costo degli impianti di denitrificazione biologica (da Regione Lombardia, 1992)

stazioni che comportano abbattimenti delle concentrazioni da 300 a 100 mg/l circa per i solfati e da 75 a 30 mg/l circa per i nitrati e con il costo indicato in Fig. 10.9.

h) Impianti di potabilizzazione delle acque superficiali

I costi per questo tipo di intervento è indicato in Fig. 10.10 e riguardano impianti completi costituiti dall'applicazione delle seguenti fasi: preossidazione con ozono, chiariflocculazione, filtrazione rapida su sabbia, ozonizzazione, filtrazione su carbone attivo, ispessimento, condizionamento e disidratazione fanghi con filtri a piastre. Sono inclusi anche i costi per apparecchiature elettromeccaniche, allacciamenti civili e idraulici, opere edili di servizio, recinzioni, etc.

10.1.10 Impianto di controllo automatico degli acquedotti

Per ogni serbatoio o impianto di sollevamento viene stimato un onere di Lire 15.000.000.

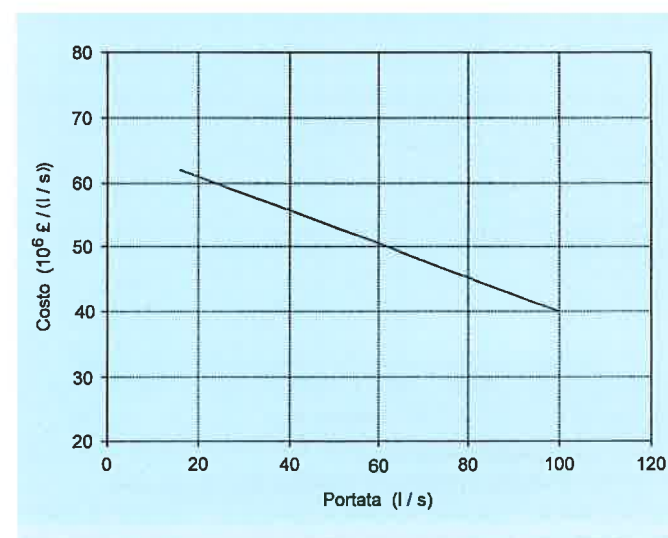


Fig. 10.9 - Costo degli impianti di elettrodialisi (da Regione Lombardia, 1992)

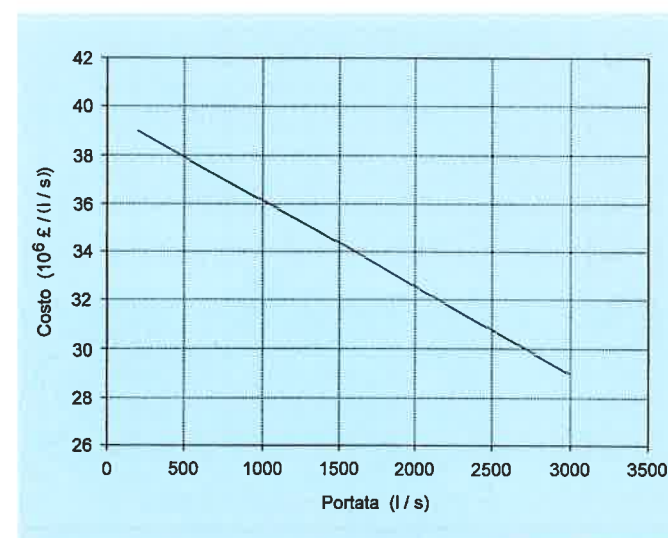


Fig. 10.10 - Costo degli impianti di potabilizzazione delle acque superficiali (da Regione Lombardia, 1992)

10.2 Costi di investimento: ristrutturazione

Nell'ambito del Piano Regionale di Risanamento della Regione Lombardia con questo termine s'intendono le opere esistenti che necessitano di manutenzione per assicurarne nel tempo l'efficienza (calcolata in questo caso al 2016).

I costi sono così valutati:

- per opere di captazione, serbatoi, stazioni di sollevamento e impianti di potabilizzazione il costo di ricostruzione viene ottenuto moltiplicando il costo di costruzione per il coefficiente C di Tab. 10.1;
- per le condotte adduttrici e le reti di distribuzione, dopo aver calcolato il diametro medio ponderale (rispetto alle lunghezze) delle tubazioni, si determina il costo di costruzione dell'adduttrice con diametro pari a quello medio ponderale incrementando del 10% e moltiplicando ancora per il coefficiente C di Tab. 10.1.

10.3 Ammortamento dei costi di investimento

L'ammortamento annuo viene calcolato moltiplicando il costo di investimento delle diverse categorie di opere per la rata d'ammortamento r (onere annuo d'ammortamento di una lira di capitale) calcolata mediante la relazione:

$$r = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

in cui i è il tasso medio di interesse nel periodo di ammortamento e n gli anni previsti di durata funzionale delle opere. Il tasso medio di interesse deve tenere conto dei tassi di interesse bancario, al netto del tasso di inflazione che può essere recuperato con l'attualizzazione del valore delle opere (si può assumere ad esempio i=7%).

La durata funzionale delle opere può essere ricavata dalla Tab. 10.2, così come sono indicati i valori di r adottando il tasso di interesse sopra indicato.

10.4 Costi di gestione

10.4.1 Costi di esercizio di base

a) Personale

In base a studi CISPEL sono stati proposti tre indici per il calcolo del numero di addetti necessari per espletare le funzioni connesse al servizio acquedottistico.

$$ND_1 = \frac{\text{Fabbisogno medio annuo}}{500.000}$$

$$ND_2 = \frac{\text{abitanti residenti}}{2.800}$$

$$ND_3 = \frac{(L_1 + 1.5 L_2)}{500.000}$$

In cui il fabbisogno medio annuo è espresso in m³; le lunghezze della rete di distribuzione interna agli abitati L₁ e delle adduttrici delle condotte di collegamento L₂ sono espresse in km.

Opera	Età attuale (anni)			
	>50	25÷50	10÷25	<10
Opere di captazione e serbatoi	1	1	0.8	0.6
Pozzi	1	1	1	0.8
Stazioni di sollevamento	1	1	1	1
Impianti di potabilizzazione	1	1	1	0.8
Condotte adduttrici/distributrici	1	1	0.8	0.6

Tab. 10.1 - Valori del coefficiente C per la valutazione dei costi di ricostruzione al fine di mantenere una perfetta efficienza degli impianti (da Regione Lombardia, 1992)

Categoria di opere	Durata funzionale (anni)	Onere annuo di ammortamento (% del costo di costruzione)
Serbatoi e reti idriche, fognature e collettori	50	7.2
Pozzi e opere di presa in generale; opere civili di acquedotti, fognature e collettori (ad esempio: impianti di potabilizzazione e sollevamento in generale, sfioratori, vasche di pioggia, etc.)	40	7.5
Opere civili di impianti di depurazione	30	8.1
Opere elettromeccaniche ed elettroniche in generale	10	14.2
Impianti di sollevamento e potabilizzazione completi	-	10.0*

* da applicare alla somma dei costi di costruzione delle opere civili ed elettromeccaniche, se non sono note le relative incidenze

Tab. 10.2 - Durata e onere annuo di ammortamento per diverse categorie di opere (da Regione Lombardia, 1992)

Nel caso non sia noto L₁, l'indice ND₃ espresso in m/abitante si può ricavare dalla Tab. 10.3, interpolando linearmente tra i valori noti.

Il personale addetto complessivo ND viene ricavato come media aritmetica dei tre indici:

$$ND = (ND_1 + ND_2 + ND_3) / 3$$

Noto il costo unitario di un addetto, stimato in Lire 50.000.000 Lire/(addetto-anno), è facilmente ricavabile il costo complessivo per il personale.

b) Energia

Il costo energetico viene stimato sulla base del volume sollevato in un anno V (m³/anno) e mediante la relazione:

$$E = \frac{V H}{367 \eta}$$

in cui η è il rendimento della pompa (assunto uguale a 0.55) e H la prevalenza delle pompe (m).

Si assume un costo unitario medio di 200 Lire/kWh comprensivi di oneri per impegno di potenza.

c) Controlli analitici

Per la distribuzione di acque di idonea qualità per il consu-

mo umano si prevede l'esecuzione delle seguenti determinazioni analitiche, secondo anche quanto indicato dal Dlgs 31/01:

- per ogni opera di captazione (pozzo, sorgente, presa d'acqua superficiale) in un anno si prevede n.1 analisi di tipo C₄ e n.2 analisi di tipo C₃ allargato (cioè un controllo C₃ con aggiunta di Sodio, Potassio, Magnesio, Manganese, Alcalinità, Idrogeno solforato, Zinco, Antiparassitari e prodotti assimilabili, Composti organoalogenati) con un costo complessivo di Lire 1.500.000;
- per ogni serbatoio di accumulo e in punti significativi della rete n.2 analisi di tipo C₃ allargato per un costo annuo di Lire 800.000 (il numero dei punti della rete da controllare è assunto pari a 1 ogni 10 km di rete di distribuzione).

Nei costi indicati sono considerati i materiali d'uso e l'ammortamento, mentre sono esclusi i costi del personale già precedentemente considerati.

d) Costi aggiuntivi per impianti di potabilizzazione

Questo tipo di realizzazione richiede costi aggiuntivi connessi al trattamento, al controllo e alla manutenzione ordinaria.

Per il personale si può considerare la Tab. 10.4, considerando un onere unitario di 50.000.000 Lire/anno.

Nel caso di trattamento in serie si deve aumentare del 20% e

Abitanti residenti	Lunghezza rete di distribuzione idrica interna ai centri abitati (m/abitante)
< 1.000	10
2.000	8
5.000	6
10.000	5
50.000	2
>100.000	1.5

* da applicare alla somma dei costi di costruzione delle opere civili ed elettromeccaniche, se non sono note le relative incidenze

Tab. 10.3 - Stima della lunghezza della rete di distribuzione interna ai nuclei abitati in base al numero di abitanti (da Regione Lombardia, 1992)

Tipologia di trattamento*	Numero di addetti in relazione alla potenzialità (m./ora)					Costo di energia e reagenti (Lire/m.)
	< 500	500+1500	1500+2500	2500+3500	>3500	
Trattamento di acque superficiali comprensivo di preossidazione con ozono, flocculazione e filtrazione, successiva ozonizzazione, filtrazione su carbone attivo, disidratazione fanghi	1.5	2.5	5	7	9	110
Trattamento di rimozione di ferro, manganese e idrogeno solforato mediante ossidazione con ipoclorito di sodio e successiva filtrazione su sabbia	0.5	1	2	3	4	20
Trattamento di rimozione dell'ammoniaca con ipoclorito di sodio al break-point	0.5	1	2	3	4	40
Trattamento di rimozione di microinquinanti organici su filtri a carbone attivo granulare	0.2	0.5	1	1	1	20-70-150**
Trattamento di rimozione dei nitrati per via biologica	1	2	4	6	8	300
Trattamento di ossigenazione ; trattamento di rimozione mediante strippaggio di sostanze volatili (idrogeno solforato, metano, ammoniaca, composti organici)	0.2	0.5	1	1	1	20
Trattamento di rimozione dei solfati con elettrodialisi	1	2	4	6	8	250

*le concentrazioni massime considerate sono le seguenti : ammoniaca 4 mg/l, antiparassitari 2 µg/l, composti organoalogenati 100 µg/l, nitrati 70 mg/l, solfati 1000 mg/l

** I costi sono relativi al trattamento rispettivamente di antiparassitari, composti organoalogenati e aloformi

Tab. 10.4 - Numero di personale addetto e costi energetici e di trattamento in funzione delle tipologie di trattamento delle acque (da Regione Lombardia, 1992 modificato)

quindi il valore indicato nella Tab. 10.4 deve essere moltiplicato per 1.2.

Per i reagenti la potabilizzazione prevede per le acque sotterranee l'impiego di NaClO e per quelle superficiali di ozono.

Per le diverse tipologie di trattamento i costi energetici e per reagenti sono indicati in Tab. 10.4; per trattamenti in serie i costi devono essere sommati

Nel caso di concentrazioni di sostanze da trattare superiori a quelle indicate in Tab. 10.4, i costi dovranno essere aumentati.

Per le acque superficiali si considerano acque con caratteristiche di tipo A3 dell'allegato 2, tabella 1A, del Dlgs 152/99. Per i controlli analitici finalizzati alla sorveglianza dell'efficienza dell'impianto e del relativo abbattimento degli inquinanti sono indicate analisi con frequenza settimanale sulle acque superficiali di tipo C₃ allargato e sulle acque sotterranee analisi specifiche sul parametro di interesse e microbiologiche; nel primo caso si prevedono costi di 20.000.000 Lire/anno e nel secondo 9.000.000 Lire/anno.

10.4.2 Manutenzione

Per le opere civili e i pozzi, le opere di presa diverse dai pozzi e le opere idrauliche, le opere elettromeccaniche ed elettroniche, gli impianti di sollevamento e gli impianti di potabilizzazione si prevedono i costi annuali indicati in Tab. 10.5, calcolati come percentuale dell'investimento iniziale. Nell'incertezza delle valutazioni sulle opere elettromeccaniche ed elettroniche esistenti si può assumere che esso sia corrispondente a 1.000.000 Lire/abitante, con un onere annuo di manutenzione di 10.000 Lire/abitante.

10.4.3 Spese generali

Per questa voce, che comprende le spese necessarie per il funzionamento dell'Ente gestore del servizio idrico (luce, telefono, affitto, automezzi, ammortamento, assicurazioni, consulenze, etc) viene assunto un onere del 10% del costo complessivo relativo ai costi di base, ai costi aggiuntivi degli impianti di potabilizzazione e alla manutenzione.

Tipologia di opere	Incidenza del costo annuo di manutenzione rispetto all'investimento iniziale (%)
Opere civili e pozzi	0.3
Opere di presa diverse dai pozzi e opere idrauliche	0.5
Opere elettromeccaniche ed elettroniche	2
Opere elettromeccaniche ed elettroniche - impianti di sollevamento*	0.9
Opere elettromeccaniche ed elettroniche- impianti di potabilizzazione *	1.2

* aliquota da applicare qualora non fossero noti gli elementi per il calcolo separato delle opere civili ed elettromeccaniche

Tab. 10.5 - Incidenza dei costi di manutenzione rispetto a diverse tipologie di opere (da Regione Lombardia, 1992)

Bibliografia

Avdagic I., Corovic A. (1990) - "Defining of protective zones of karts mountainous springs". In: Water Resources in Mountainous Regions, XIIInd Congress of I.A.H.-A.I.H., Memories, part 2, 27 August-1 September, Lausanne.

Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J. (1985) - "DRASTIC: A Stardadized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings". EPA/600/2-85/018, National Water Well Association, Worthington.

Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J., Hackett G. (1987) - "DRASTIC: A Stardadized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings". EPA/600/2- 87-035, Washington D.C.

ASTM (1990) - "Standard Terminology Relating to Soil, Rock and Contained Fluids". D653, Philadelphia, USA.

ASTM (1995) - "Standard Guide for Risk-based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites". ASTM E1739-95, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA.

Autorità di Bacino del Fiume Po (1995) - "Contenimento dell'inquinamento provocato dagli allevamenti zootecnici nel bacino del Fiume Po". Atti del Comitato Istituzionale, Deliberazione del 10 maggio 1995, n.18/1995, Parma.

Avanzini M., Beretta G.P. (1992) - "La perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi: un esempio di approccio geostatistico per l'applicazione di modelli analitici e numerici". In corso di pubblicazione sulla Rivista Geologica Romana (Atti del II Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Viterbo 28-31 Ottobre 1992).

Avanzini M., Beretta G.P. (1993) - "Criteri e metodi idrogeologici per la tutela delle opere di captazione delle acque sotterranee. Indirizzi del C.N.R.-G.N.D.C.I. per il miglioramento delle normative esistenti". Ingegneria e Geologia degli Acquiferi, IGEA, n.2, Torino.

Avanzini M., Beretta G.P., Francani V., Nespoli M. (1995) - "Indagine preliminare sull'uso sostenibile delle falde profonde nella Provincia di Milano". C.A.P. Milano.

Bair E.S., Roadcap G.S. (1992) - "Comparison of Flow Models Used to Delineate Capture Zones of Wells: 1.Leaky-Confined Fractured-Carbonate Aquifer". Ground Water, Vol.30, n.2, March-April, pgg.199-211.

Bear J. (1979) - "Hydraulics of groundwater". Mc Graw-Hill series in Water Resources and Environmental Engineering, New York.

Bear J., Jacob M. (1965) - "On the movement of water bodies injected into aquifers". Journal of Hydrology, vol. 3.

Bear J., Verruijt A. (1987) - "Modeling Groundwater Flow and Pollution". D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.

Beretta G.P. (1992) - "Idrogeologia per il disinquinamento". Pitagora Editrice, Bologna.

Beretta G.P., Pagotto A. (1984) - "Metodi per la delimitazio-

ne delle fasce di rispetto dei pozzi per acqua nella pianura padana". Studi idrogeologici sulla Pianura Padana, n.1, Milano.

Beretta G.P. (1986) - "Le normative vigenti in campo europeo sulla protezione delle falde". Atti Corso di Aggiornamento : Geologia Applicata alla tutela delle risorse idriche sotterranee del bacino padano. 5-8 novembre 1986, Milano.

Beretta G.P., Fumagalli L., Pagotto A. (1986) - "Un'applicazione metodologica di delimitazione delle fasce di rispetto dei pozzi per acqua in aree di pianura". Ingegneria Ambientale, vol. 15, n.15, Milano.

Beretta G.P. (1991) - "Metodologie per la determinazione di vincoli idrogeologici per la protezione delle opere di captazione". Conv. Ricerche Geologiche correlate all'ambiente, Mem. descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol.42, Roma.

Blandford T.N., Huyakorn P.S. (1989) - "An integrated semi-analytical model for the delineating of wellhead protection areas". Report prepared by HydroGeoLogic, Inc. for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Groundwater Protection, Washington D.C.

Blau R.V. (1990) - "Groundwater Protection Zones in Switzerland: State of the art". In: Water Resources in Mountainous Regions, XIIInd Congress of I.A.H.-A.I.H., Memories, part 2, 27 August-1 September, Lausanne.

Boni C., Bono P., Capelli G. (1987) - "Schema idrogeologico dell'Italia centrale". A cura di C.N.R.-Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Roma.

Bonn B., Rounds S. (1990) - "DREAM -Analytical Groundwater Flow Programs" Lewis Publishers. Inc.

Born S., Thompson M., Yanggen D., Zaporec A. (1985) - "Groundwater Protection Principles and Alternatives for Rock County, Winsconsin". Wisconsin Geological and Natural History Survey, Special Report 8, Wisconsin.

Bortolami G., Campobasso S., Dell'Orto, Di Molfetta A. (1988) - "Il campo acquifero di Cascina Giarrea (VC): valutazione delle aree di protezione". Atti Convegno: Giornata di studio su problemi di Geoingegneria, II-Captazione, protezione e inquinamento, VII Geofluid, 7 ottobre, Piacenza.

Boumans L., Breeuwsma A., Van Duijvenbooden W., Groot Obbink D.J., Jelgersma S., Van Straten H., Wösten J.H.M. (1987) - "Kwetsbaarheid van het Grondwater" RIVM Rapport 840387003.

Cattini Z., Marino L., Paltrinieri N., Pellegrini M., Tagliavini S., Voltolini C., Zavatti A. (1995) - "La carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero della pianura delle province di Parma, Reggio Emilia e Modena. Note illustrative". In Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, n.11, Pitagora Editrice, Bologna.

Celico P. (1983) - "Idrogeologia dell'Italia centro-meridiona-

- le". Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno, Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, 4/1-4/2, Roma.
- CISPTEL-Lombardia (1984) - "Raccomandazioni tecnico-geologiche sulle opere di captazione da falde sotterranee". A cura del Gruppo di Lavoro Acqua, Milano.
- Civita M. (1972) - "Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di presa". Memorie e Note Ist.Geol.Appl., vol.XIII, Napoli.
- Civita M. (1988) - "Una metodologia per la definizione e il dimensionamento delle aree di salvaguardia delle opere di presa delle sorgenti normali". Boll. Associazione Mineraria Subalpina, anno XXV, n.4, Torino.
- Civita M. (1988) - "Le Carte della Vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento". In: Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee. Pubbl. n.75 C.N.R.-G.N.D.C.I., Ed. Vincenzo Francani, Coed. Massimo Civita, Geograph, Milano.
- Civita M. (1990) - "Legenda unificata per le carte della vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei/Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps". Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, vol.1, Pitagora Editrice, Bologna.
- Civita M. (1994) - "Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & pratica". Pitagora Editrice, Bologna.
- Civita M. (1996) - "Sul rischio di inquinamento delle risorse idriche sotterranee". 2° Convegno Nazionale sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, vol. 4, 17-19 maggio 1995, Nonantola (Modena) Quaderni di Geologia Applicata, n.1, Pitagora Editrice.
- Civita M., De Maio M. (1997) - "SINTACS. Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia & automatizzazione". Pitagora Editrice, Bologna.
- Cleary T.C.B.F., Cleary R.W. (1990) - "Delineation of Wellhead Protection Areas: Theory and Practice". International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water, 20-21 September, Porto Alegre.
- Cleary R.W., Pinder G.F., Ungs M.J. (1990) - "IMB-PC applications in groundwater pollution and hydrology: a hands-on short course". One week professional course every January and July, Presented by National Water Well Association, San Francisco.
- C.N.R.-G.N.D.C.I. (1988) - "Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee". Pubbl. n.75, Ed. Vincenzo Francani, Coed. Massimo Civita, Geograph, Milano.
- Comitato Tecnico Discariche (1997) - "Linee guida per le discariche controllate di rifiuti solidi urbani". CISA, Cagliari.
- Custodio E., Llamas M.R. (1983) - "Hidrologia Subterránea". Ediciones Omega, Barcelona.
- Davit A., Jaffe F.C. (1990) - "The problem of groundwater protection in a composed karstic and fluvioglacial aquifer at the foot of the Jura Chain (Switzerland)". In: Water Resources in Mountainous Regions, XIIInd Congress of I.A.H.-A.I.H., Memories, part 2, 27 August-1 September, Lausanne.
- Demassieux L. (1975) - "Détermination des temps moyens de transfert de l'eau vers quelques dispositifs de captages par puits". Bull. B.R.G.M., Section III, n.2, Orléans.
- Desio A. (1959) - "Geologia applicata all'Ingegneria". Hoepli, Milano.
- Dupuit J. (1863) - "Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables". Dunod, Paris.
- DVGW (Deutscher Verein des Gas und Wasserfachs) (1975) - "Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete. I.Teil: Schutzgebiete für Grundwasser, DVGW Regelwerk Arbeitsblatt W101, ZfGW-Verlag, Frankfurt.
- Everett A.G. (1987) - "Some Significant Attributes of Aquifers as related to Wellhead Protection Considerations". Report to the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Groundwater Protections (unpublished), Washington D.C.
- Feinstein D. (1990) - "Flownet". Dispense del corso: Metodi quantitativi per la progettazione di sistemi di approvvigionamento e di recupero delle acque sotterranee. D.I.I.A. - G.N.D.C.I., 9-20 luglio 1990.
- Foster S.S.D., Hirata R. (1988) - "Groundwater pollution risk assessment. A methodology using available data". Pan Amer. Cent. For Sanit.Engin. and Envir.Science (CEPIS), Lima.
- Francani V., Beretta G.P. (1984) - "Considerazioni idrogeologiche sulla delimitazione delle fasce di rispetto dei pozzi per acqua potabile in aree soggette a inquinamento". Ingegneria Ambientale, vol. 13, n.1, Milano.
- Franz T., Guiguer N. (1990) - "FLOWPATH: 2D horizontal aquifer simulation model". Waterloo Hydrogeologic Software, Waterloo.
- Georgescu D. (1965) - "Contribution au calcul des zones de protection sanitaire des captages dans les nappes aquifères". La Tribune du Cebedeau, n.18, Paris.
- Guiguer N., Franz T. (1990) - "Development and Applications of Wellhead Protection Area Delineation Computer Program". International Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water, 20-21 September, Porto Alegre.
- Jäckli H., Eidg.Amt für Gewässerschutz & EAWAG ETH-Z (1966) - "Richtlinien zur Ausscheidung von Grundwasserschutzgebieten und Grundwasserschutzzonen". Orts-Regional-und Landsplanungs-Institut, ETH-Z Blatt 516-021, Zürich.
- Jaffe M. (1987) - "Data and Organizational Requirements for Local Planning". In: Planning for groundwater protection. Ed. Page G.W., Academic Press Inc., Orlando.
- Jaffe M., Dinovo F. (1987) - "Local Groundwater protection". Amer.Plann.Ass., Chicago.
- Job C.A. (1996) - "Benefits and Costs of Wellhead Protection". Ground Water Monitoring & Remediation, Vol. XVI, No. 2.
- Job C.A. (1997) - "A Summary of State Wellhead Protection Programs". Ground Water Monitoring & Remediation, Vol. XVII, No. 2.
- Kinzelbach W. (1986) - "Groundwater Modelling: An introduction with Sample Programs in BASIC". Elsevier, Amsterdam.
- Kinzelbach W., Marburger M., Chiang W.H. (1992) - "Determination of groundwater catchment areas in two and three spatial dimensions". Journal of Hydrology, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 134, pgg. 221-246.
- Lallemand Barrès A., Roux J.C., (1989) - "Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine". B.R.G.M., Manuels et Methodes, 19, Orléans.
- L.A.W.A.-D.V.G.W. (1979) - "Vorsorgeplanung Trinkwasserver-sorgung".
- Mazurek J (1979) - "Summary of the modified Legend method". NCGWR Report, Norman, OKL.
- McDonald M.G., Harbaugh A.W. (1988) - "A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model". USGS TWI 6-A1.
- Milde K., Milde G., Ahlsdorf B., Litz N., Müller-Wegener U., Stock R. (1988) - "Protection of Highly Permeable Aquifers Against Contamination by Xenobiotics". Proceedins of the I.A.H. 21st Congress in Karst Hydrogeology and Karst Environmental Protection, Guilin, China.
- Ministère del l'Environnement (1995) - "Gestion des sites (potentiellement) pollués". Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques-BRGM, Editions du BRGM, Orléans.
- Ministero dell'Ambiente (1990) - "Schema di regolamento per l'individuazione e la delimitazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche destinate al consumo umano di cui all'articolo 8 del D.P.R. del 24 maggio 1988, n.236, Roma.
- Ministry of the Flemish Community (1986) - "Vulnerability map of the groundwater for the Flemish Region". D/1986/3241/50.
- Muratori A. (1988) - "Vincoli territoriali da imporre per la tutela delle opere di captazione e proposta di normativa". In: Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee. C.N.R.-G.N.D.C.I, Pubbl. n.75, Ed. Vincenzo Francani, Coed. Massimo Civita, Geograph, Milano.
- National Water Wells Association (1985) - "The Survey Says: Average Ground Water Scientist Salary tops \$32,500". The Newsletter of the Association of Ground Water Scientists and Engineers, Vol. 1, No. 6.
- Pagotto A., Casoli B. (1995) - "Studio di dettaglio per la valutazione del grado di protezione del campo acquifero di via Loda in Comune di Castelfranco Emilia (Modena)". Comune di Castelfranco Emilia.
- Pagotto A., Panini G., Pellegrini M. (1994) - "Esperienze di perimetrazione di aree di salvaguardia attorno alle captazioni idropotabili in Provincia di Reggio Emilia". Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, n.4, Pitagora Editrice, Bologna.
- Paloc H. (1985) - "Problèmes de protection de la qualité des eaux souterraines en terrains calcaires". In: Theoretical background, Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones, I.A.H., vol.6, Heise, Hannover.
- Paltrinieri N., Pellegrini M., Zavatti A. (1990) - "Alta e media pianura parmense". In: Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, n.2, Pitagora Editrice, Bologna.
- Paly M., Steppacher L. (1993) - "The Power to Protect, Three Stories About Ground Water". U.S. Environmental Protection Agency, Massachusetts Audubon Society and New England Interstate Water Pollution Control Commission, Lincoln.
- Parriaux A., Mandia Y., Dubois J.D. (1990) - "The concept of protection zones in karstic mountains". In: Water Resources in Mountainous Regions, XIIInd Congress of I.A.H.-A.I.H., Memories, part 2, 27 August-1 September, Lausanne.
- Pellegrini M., Pagotto A. (1992) - "Studio idrogeologico del territorio comunale e del nuovo campo acquifero". Comune di Castelfranco Emilia.
- Penchev P., Kovachev S. (1987) - "A procedure and nomograms for designing Sanitary Protection Zones around water wells". In: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Editor Van Duijvenbooden W., Van Waegeningh H.G., The Hage.
- Person J. (1979) - "Interventions réglementaires du géologue agréé en vue de la protection des eaux destinées à l'alimentation humaine". Documents du B.R.G.M., n. 11, Orléans.
- Person J. (1983) - "Protection des captages d'eaux destinée à l'alimentation humaine". Document du BRGM, n.11, Orléans.
- Peterlongo G. (1997) - "Ricerche idrogeologiche, progetto del pozzo". Corso di formazione: Progettazione e gestione dei pozzi, 5-6 giugno, Milano.
- Pettyjohn W.A. (1987) - "Protection of public water supplies for groundwater contamination". Nays Data Corp, New Jersey USA.
- Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige (1980) - "Norme per la tutela delle acque da inquinamenti e per la disciplina degli scarichi". Legge Provinciale del 6 settembre 1973, n.63.
- Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige (1980) - "Regolamento di esecuzione della legge provinciale 6 settembre 1973, n.63: Norme per la tutela delle acque da inquinamenti e per la disciplina degli scarichi". Decreto del Presidente della Giunta Provinciale del 29 gennaio 1980, n.3.
- Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige (1991) - "Espropriazioni per causa di pubblica utilità per tutte le materie di competenza provinciale". Legge Provinciale del 15 aprile 1991, n.10.
- Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige (1997) - "Determinazione dei valori agricoli minimi e massimi per l'anno 1997". Commissione Tecnica Provinciale, Boll.Off. n.12/I-H dell'11 marzo 1997.
- Provincia di Modena-ARPA (1997) - "Evoluzione idrochimica degli acquiferi dell'alta, media e bassa pianura modenese. Anni 1996-1996". Modena.

- Rauter W. (1996) - "Approvvigionamento idropotabile e zone di tutela acque". In: L'acqua - il suo utilizzo prezioso e molteplice, manifestazione informativa dell'Ufficio gestione risorse idriche, 29 maggio 1996, Dipartimento alle acque pubbliche e all'energia, Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, Bolzano.
- Regione Emilia-Romagna (1992) - "Qualità delle acque destinate al consumo umano. Norme tecniche per la definizione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche ai sensi del D.P.R. 236/88, relativamente alle aree di tutela assoluta e di rispetto". Circ. prot. n.6028 dell'Assessorato all'Ambiente del 5 agosto 1992.
- Regione Emilia-Romagna - ENI-Agip (1998) - "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna".
- Regione Lombardia (1992) - "Piano Regionale di Risanamento delle Acque. Criteri di pianificazione in rapporto alla gestione delle risorse idriche lombarde". Settore Ambiente ed Ecologia, Milano.
- Regione Lombardia (1996) - "Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinate al consumo umano (art.9 punto 1, lett.f) del D.P.R. 24 maggio 1988, n.236)". Deliberazione G.R. del 27 giugno 1996, n. 6/15137, Boll. Uff. della Reg. Lombardia, 2° supplemento straordinario al n.31, 1 agosto 1996.
- Regione Piemonte (1995) - "L.R. 12 aprile 1994, n.4 - Contenuti della documentazione di cui all'art. 6, comma 3, a corredo della domanda di autorizzazione alla ricerca di acqua sotterranea, della relazione finale di cui all'art. 6, comma 12, nonché procedura e documentazione necessaria all'individuazione delle aree di tutela assoluta e di rispetto ai sensi dell'art.8, comma 2". Deliberazione G. R. del 26 aprile 1995 n. 102-45194". Boll. Uff. della Reg. Piemonte, n. 22 - 31 maggio 1995.
- Regione Piemonte (1996) - "Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee". Legge Regionale 30 aprile 1996, n. 22. Boll. Uff. della Reg. Piemonte, n. 19 - 8 maggio 1996.
- Regione Piemonte (1997) - "Protezione delle acque sotterranee destinate al consumo umano: proposta di linee guida per definire le zone di rispetto intorno ai pozzi". A cura dell'Assessorato all'Ambiente, Cave e Torbiere, Energia, Pianificazione e Gestione delle Risorse Idriche, Lavori Pubblici e Tutela del Suolo, Collana Ambiente, Torino.
- Repubblica Italiana (1977) - "Criteri, metodologie e norme tecniche generali di cui all'art.2 lettere b), d) ed e) della legge 10 maggio 1976, n.319, recante norme per la tutela delle acque dall'inquinamento". Ministero dei Lavori Pubblici, Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento, G.U. del 21 febbraio 1977, n.48, Roma.
- Repubblica Italiana (1988) - "Attuazione della direttiva C.E.E. n.80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art.15 della legge 16 aprile 1987, n.183". D.P.R. del 24 maggio 1988, n.236, G.U. del 30 giugno 1988, n.60, Roma.
- Repubblica Italiana (1989) - "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo". Legge 18 maggio 1989, n.183, G.U. del 25 maggio 1989, Serie generale, n.38, Roma.
- Repubblica Italiana (1991) - "Norme tecniche di prima attuazione del Decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n.236, relativo all'attuazione della direttiva C.E.E. n.80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art.15 della legge 16 aprile 1987, n.183". D.M. 26 marzo 1991 del Ministero della Sanità, G.U. del 10 aprile 1991, n.84, Roma.
- Repubblica Italiana (1993) - "Modificazioni ed integrazioni ai decreti ministeriali 3 dicembre 1985 e 20 dicembre 1989 sulla classificazione e la disciplina dell'imballaggio e dell'etichettatura delle sostanze pericolose, in attuazione delle direttive emanate dal Consiglio e dalla Commissione delle Comunità Europee". D.M. Ministero della Sanità, 16 febbraio 1993, G.U. del 20 maggio 1993, n.50, Roma.
- Repubblica Italiana (1994) - "Disposizioni in materia di risorse idriche". Legge 5 gennaio 1994, n.36, G.U. del 19 gennaio 1994, Serie generale, n.14, Roma.
- Repubblica Italiana (1995) - "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino". D.P.R. del 18 luglio 1995, G.U. del 10 gennaio 1996, Serie generale, n.7, Roma.
- Repubblica Italiana (1996) - "Disposizioni in materia di risorse idriche". D.P.C. M. del 4 marzo 1996, G.U. del 14 marzo 1996, Serie generale, n.47, Roma.
- Rhese W. (1977) - "Abbaubare organische Verunreinigungen pathogene Keime und Viren". Rapport n.40177 Eidgenössisches Amt für Umweltschutz, Berne.
- Rhese W. (1977) - "Elimination und Abbau von organische Fremdstoffen, pathogenen Keimen und Viren in Lockergestein". Z dt geol.ges., vol. 128, Hannover.
- Sauty J.P. (1987) - "Utilisation des traceurs pour definir les périmètres de protection". B.R.G.M. 75 SGN 287 EAU, Orléans.
- Schleyer R., Milde G. (1990) - "Well head protection areas for preserving natural drinking water quality - Experiences and new developments in the Federal Republic of Germany". In: Selected Papers on Hydrogeology from the 28th International Geological Congress, Simpson E.S., Sharp J.M.Jr. Editors, I.A.H.-A.I.H., Verlag Heinz Heise.
- Seller L.E., Canter L.W. (1980) - "Summary of selected ground water impact assessment methods". Nat.Cent.Ground Water Res., 80- 3.
- Servizio Geologico d'Italia (1985) - "Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico". Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, II Serie, n.1, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Shafer J.M. (1987) - "GWPATH: Interactive Ground-Water Flow Path Analysis". Illinois State Water Survey, Bulletin 69, Champaign.
- Skinner A.C. (1985) - "Groundwater protection in fissured rocks". In: Theoretical Background, Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones, I.A.H., vol.6, Heise, Hannover.
- Southern Water Authority-England (1985) - "Aquifer Protection Policy". Guildborne House, Worthing, West Sussex.
- Spitz K., Mehlhorn H., Kobus H. (1980) - "Ein Beitrag zur Bemessung der engeren Schutzzone in Porengrundwasserleitern". Wasserwirtschaft, vol.70.
- Theis C.V. (1935) - "The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage". Trans. Amer. Geoph. Union, Nat.Res. Council. 16th ann. meeting, Washington.
- Thiem G. (1906) - "Hydrologische Methoden". Gebhardt, Leipzig.
- Todd D.K. (1959) - "Groundwater Hydrology". John Wiley & Sons, New York.
- Ufficio Federale per la Protezione dell'ambiente (1977) - "Direttive per la determinazione dei settori di protezione delle acque, delle zone ed aree di protezione delle acque sotterranee". Bellinzona.
- UNESCO (1980) - "Aquifer contamination and protection". Project 8.3 of the International Hydrological Programme, Paris.
- United States of America (1996) - "The Safe Drinking Water Act Amendments". August 6, Government Printing Office. Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1978) - "A manual for evaluating contamination potential of surface impoundments". EPA- 530/SW/611, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1987a) - "Guidelines for delineation of wellhead protection areas". Office of Groundwater Protection, PB88-111430/WEP, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1987b) - "Guidance for Applicants for State Wellhead Protection Program Assistance Funds in the Safe Drinking Water Act." EPA/440/6-87-011, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1988a) - "Developing a State Wellhead Protection Program. A User's Guide to Assist State Agencies under the Safe Drinking Water Act." EPA/440/6-88-003, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1988b) - "Model Assessment for delineating wellhead protection areas". Office of Groundwater Protection, EPA440/6-88-002, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1988c) - "Wellhead Protection Area Delineation". A "Hand on" Training Course, Fairfax.
- U.S. Environmental Protection Agency (1989) - "Local Financing for Wellhead Protection". EPA/440/6-89-001, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1991a) - "WHPA - Well Head Protection Areas Delineation Code". Office of Ground Water, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1991b) - "Wellhead Protection Strategies For Confined-Aquifer Settings". Bureau of Economic Geology-The University of Texas at Austin, Office of Ground Water and Drinking Water, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993) - "Wellhead Protection: A Guide for Small Communities". Office of Research and Development-Office of Water, EPA/625/R-93/002, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (1996a) - "Soil Screening Guidance: Technical Background Document". Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington DC.
- U.S. Environmental Protection Agency (1996b) - "Soil Screening Guidance: User's Guide". Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington DC.
- Van Waegeningh H.G., Van Duijvenbooden W. (1987) - "Groundwater quality control and protection in the Netherlands". Economic Commission for Europe, Committee on Water Problems, Bruxelles.
- Van Waegeningh H.G. (1985) - "Overview of the protection of groundwater quality". In: Theoretical Background, Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones. Ed. Heise, Hannover.
- Varliden M.D., Shafer J.M. (1991) - "Assessment of Uncertainty in Time-Related Capture Zones Using Conditional Simulation of Hydraulic Conductivity". Ground Water, Vol.29, n.5, Sept.-Oct., pgg. 737-748.
- Wyssling L. (1979) - "Eine neue Formel zur Berechnung der Zuströmungsdauer des Grundwasser zu einem Grundwasser Pumpwerk". Eclogae geol.Helv. 72, Basel.
- Zampetti M. (1983) - "Informazioni e dati relativi alla quantità e alla qualità delle acque sotterranee nella Comunità Europea". In: Inquinamento delle acque sotterranee da composti organo- clorurati di origine industriale. Monduzzi Editore, Bologna.
- Zheng C. (1990) - "A groundwater path and travel-time simulator" S.S. Papadopoulos & Associates, Inc., June.

Linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'art. 21 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152.

LA CONFERENZA PERMANENTE PER I RAPPORTI TRA LO STATO LE REGIONI E LE PROVINCE AUTONOME DI TRENTO E BOLZANO

Visto il decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, che all'art. 4, dà facoltà a Governo, regioni e province autonome di Trento e Bolzano, in attuazione del principio di leale collaborazione, di concludere accordi in questa Conferenza, al fine di coordinare l'esercizio delle rispettive competenze e svolgere attività di interesse comune;

Visto il Decreto Legislativo n. 152 del 1999, e successive modificazioni ed integrazioni;

Visti in particolare l'art. 3, comma 7 e l'art. 21 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, che disciplina le aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano;

Considerato che la delimitazione definitiva delle aree di salvaguardia rappresenta una delle misure che consente la tutela dei corpi idrici attraverso azioni volte prioritariamente alla prevenzione, alla riduzione dell'inquinamento e al perseguimento degli usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili, secondo le finalità del Decreto Legislativo n. 152 del 1999;

Ritenuto necessario emanare linee guida cui potersi uniformare per conseguire gli obiettivi di tutela dello stato di qualità delle risorse idriche, in particolare delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano erogate a terzi mediante impianto di acquedotto di pubblico interesse, per mezzo di criteri e modalità di riferimento a supporto dell'attività necessaria alla delimitazione delle aree di salvaguardia;

SANCISCE ACCORDO

ai sensi dell'art. 4 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, tra il Governo e le Regioni e le Province autonome sulle linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e sui criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'art. 21 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, nei seguenti termini:

1. Campo di applicazione e finalità.

1. Il presente accordo reca, ai fini della tutela delle risorse idriche, le linee guida necessarie per la delimitazione definitiva delle aree di salvaguardia di cui all'art. 21 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, e successive modifiche e integrazioni, sulla base dei criteri contenuti negli allegati I, II, III, IV e V, i quali costituiscono parte integrante del presente accordo.

2. In assenza della delimitazione definitiva della zona di rispetto da parte delle Regioni resta comunque ferma l'estensione stabilita ai sensi dell'art. 21, comma 7, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, pari a 200 metri di

raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione.

3. Il presente accordo non si applica alle captazioni già esistenti all'entrata in vigore dello stesso destinate, su disposizione della competente Autorità d'ambito, ad essere abbandonate nei cinque anni successivi.
4. Il presente accordo viene pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Allegato 1: Definizioni

Ai fini del presente accordo si applicano le seguenti definizioni:

- a. **Acquifero:** corpo permeabile in grado di immagazzinare e trasmettere un quantitativo idrico tale da rappresentare una risorsa d'importanza socio-economica ed ambientale.
- b. **Acquifero non protetto:** acquifero che non presenta le caratteristiche di protezione delle acque sotterranee descritte alla lettera c.
- c. **Acquifero protetto:** è un acquifero separato dalla superficie del suolo o da una falda libera o da una falda sovrastante mediante un corpo geologico con caratteristiche di conducibilità idraulica, continuità laterale e spessore tali da impedire il passaggio dell'acqua per tempi dell'ordine dei 40 anni. La continuità areale del corpo geologico deve essere accertata per una congrua estensione, tenuto conto dell'assetto idrogeologico secondo gli elementi contenuti nell'allegato 2. Un acquifero s'intende protetto quando i risultati delle indagini nel sottosuolo e le prove idrogeologiche e idrochimiche eseguite verificano appieno almeno una delle condizioni di cui sopra. Un acquifero protetto può essere localizzato anche al di sotto di un acquifero vulnerabile ai nitrati di origine agricola e ai prodotti fitosanitari, ai sensi degli articoli 19 e 20 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, qualora siano rispettate le condizioni precedentemente illustrate.
- d. **Area di ricarica:** la superficie dalla quale proviene alimentazione al corpo idrico sotterraneo considerato; è costituita dall'area nella quale avviene l'infiltrazione diretta alle acque sotterranee delle acque meteoriche o dall'area di contatto con i corpi idrici superficiali (laghi, corsi d'acqua naturali o artificiali) dai quali le acque sotterranee traggono alimentazione.
- e. **Centri di pericolo:** tutte le attività, insediamenti, manufatti in grado di costituire, direttamente o indirettamente, fattori certi o potenziali di degrado qualiquantitativo delle acque.
- f. **Emergenze naturali ed artificiali della falda:** siti in cui la morfologia dell'area, anche se modificata da interventi antropici, determina l'affioramento in superficie delle acque sotterranee, dovuto alla loro naturale circolazione nel sottosuolo.
- g. **Falda:** le acque che si trovano al di sotto della superficie del terreno, nella zona di saturazione e in diretto contatto con il suolo e sottosuolo, circolanti nell'acquifero e

caratterizzate da movimento e presenza continua e permanente. Essa può essere distinta, secondo le condizioni idrauliche ed al contorno in libera, confinata, semiconfinata/semilibera:

- **libera:** falda limitata solo inferiormente da terreni impermeabili e che può ricevere apporti laterali e dalla superficie;
- **confinata:** falda limitata inferiormente e superiormente da livelli impermeabili (acquicludi), con acqua in pressione, che può ricevere alimentazione solo lateralmente e, nel caso si abbia una risalienza dei livelli al di sopra del piano campagna, si ha una falda artesianica;
- **semiconfinata:** falda limitata da livelli semipermeabili (acquitardi) che permettono un debole passaggio da una falda all'altra e, a seconda dell'oggetto dell'indagine, si distinguono una falda semiconfinata o semilibera;

Non costituiscono una falda i livelli discontinui e/o di modesta estensione presenti all'interno e al di sopra di una litozona a bassa conducibilità idraulica.

- h. **Isocrona:** linea che congiunge i punti d'uguale tempo d'arrivo delle particelle d'acqua ad un'opera di captazione con un percorso attraverso il mezzo saturo.
- i. **Opera di captazione:** opera o complesso d'opere, realizzate in corrispondenza della sorgente (captazione alla sorgente), o nel corpo dell'acquifero alimentatore (captazione in acquifero) o realizzate ai punti di presa d'acque superficiali (derivazione), atte a sfruttare la risorsa idrica. Tale opera deve essere progettata e realizzata in modo tale da non pregiudicare lo stato quali-quantitativo della risorsa e deve essere dotata d'idonee strutture e strumentazioni per la misura dei parametri qualitativi-quantitativi.
- l. **Pozzo:** struttura realizzata mediante una perforazione, generalmente completata con rivestimento, filtri, dreno e cementazione e sviluppata al fine di consentire l'estrazione d'acqua dal sottosuolo.
- m. **Piezometro:** pozzo generalmente di diametro ridotto che filtra solo un tratto d'acquifero significativo ai fini della misura del livello piezometrico della falda in esame.
- n. **Pozzo di monitoraggio:** pozzo che consente il prelievo di campioni d'acqua rappresentativi della falda interessata dai filtri. Per particolari configurazioni del flusso idrico sotterraneo, pozzo di monitoraggio e piezometro possono coincidere.
- o. **Protezione dinamica:** è costituita dall'attivazione e gestione di un preordinato sistema di monitoraggio delle acque in afflusso alle captazioni in grado di verificarne periodicamente i fondamentali parametri quantitativi e qualitativi e di consentire con sufficiente tempo di sicurezza la segnalazione d'eventuali loro variazioni significative.
- p. **Protezione statica:** è costituita dai divieti, vincoli e regolamentazioni che si applicano alle zone di tutela assoluta, di rispetto e di protezione finalizzati alla prevenzione del degrado quali-quantitativo delle acque in afflusso alle captazioni. A tal scopo possono essere eventualmente realizzate opportune opere, anche ad integrazione di quelle di captazione, in grado di minimizzare o eliminare i problemi di incompatibilità tra uso del territorio e qualità delle risorse idriche captate.
- q. **Serbatoio artificiale:** è un accumulo d'acqua, realizzato

artificialmente, costituito da un'opera di sbarramento, dal bacino di ritenuta comprensivo delle rive e dal volume idrico invasato.

- r. **Soggiacenza:** in una falda libera è rappresentata dalla profondità del livello della falda misurata in un pozzo o piezometro rispetto alla superficie del suolo; nella falda confinata la soggiacenza s'intende la profondità del tetto dell'acquifero.
- s. **Sorgente:** punto o area più o meno ristretta, in corrispondenza della quale si determina la venuta a giorno d'acque sotterranee.
- t. **Tempo di sicurezza:** intervallo temporale rappresentato dal periodo necessario perché una particella d'acqua durante il suo flusso idrico sotterraneo (naturale o indotto dal pompaggio) nel mezzo saturo, raggiunga il punto di captazione spostandosi lungo la superficie della falda. Il valore numerico da attribuire a tale intervallo temporale deve tenere conto anche del tempo necessario per implementare misure d'approvvigionamento idrico alternativo o sistemi di disinquinamento delle acque sotterranee. Il tempo di sicurezza è utilizzato per la delimitazione delle zone di rispetto mediante la cartografia d'isocrone.
- u. **Vulnerabilità dell'acquifero:** suscettività di un acquifero ad ingerire e permettere la migrazione di una o più sostanze inquinanti che producono un impatto sulle caratteristiche qualitative delle acque sotterranee, limitandone in tal modo anche la disponibilità quantitativa. Tale vulnerabilità viene definita anche vulnerabilità intrinseca. La vulnerabilità specifica dell'acquifero è invece considerata verso determinati contaminanti, come ad esempio nel caso di nitrati di origine agricola e prodotti fitosanitari previsti dagli articoli 19 e 20 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999.
- v. **Zona di riserva:** zona interessata da risorse idriche pregiate, che può essere delimitata e gestita per preservare nel tempo la quantità e qualità delle acque, anche ai fini della possibilità di un loro futuro utilizzo, con particolare riferimento a quelle dotate di caratteristiche di potabilità.

Allegato 2 - Delimitazione delle aree di salvaguardia

TITOLO I - CRITERI GENERALI

1. Le aree di salvaguardia di sorgenti, pozzi e punti di presa delle acque superficiali sono suddivise, ai sensi dell'articolo 21, comma 1, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, in zona di tutela assoluta, zona di rispetto e zona di protezione.
2. I criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia e l'estensione delle diverse zone sono stabiliti in funzione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, idrologiche e idrochimiche delle sorgenti, dei pozzi e dei punti di presa da acque superficiali.
3. Le singole zone sono individuate secondo i seguenti criteri:
 - a) **criterio geometrico:** di norma adottato per la delimitazione della zona di tutela assoluta e della zona di rispetto per le derivazioni da corpi idrici superficiali e, in via provvisoria, per la delimitazione delle zone di rispetto dei pozzi e delle sorgenti;

- b) **criterio temporale:** basato sul tempo di sicurezza, così come definito alla lettera t) dell'allegato 1. Si applica, in prevalenza, per la delimitazione definitiva della zona di rispetto di pozzi ed eventualmente di sorgenti, laddove applicabile. Tale criterio deve tenere conto degli elementi tecnici riportati nel Titolo II del presente allegato;
 - c) **criterio idrogeologico:** basato sugli elementi idrogeologici specifici dell'acquifero e dei suoi limiti, viene usualmente applicato alle zone di protezione alle captazioni da sorgenti ed alle zone di rispetto dei pozzi in condizioni idrogeologiche di particolari complessità che impediscono l'utilizzo del criterio temporale; fa parte del presente criterio anche il metodo basato sul tempo di dimezzamento della portata massima annuale delle sorgenti.
4. Le delimitazioni effettuate utilizzando i criteri di cui alle lettere b) e c) devono basarsi su studi geologici, idrogeologici, idrologici, idrochimici e microbiologici, e sui dati storici delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa interessata; detti studi sono finalizzati ad identificare e definire i limiti delle aree interessate dalla captazione e devono essere redatti sulla base dei contenuti degli allegati al presente regolamento.
 5. La durata dell'applicazione del criterio di individuazione di cui alla lettera a) può essere prevista dalle Regioni per le sorgenti di limitata importanza sulla base di studi preliminari che individuino una scarsa urbanizzazione del bacino afferente alla captazione ed in attesa di ulteriori conoscenze sulla circolazione idrica sotterranea.
 6. La gestione delle aree di salvaguardia, così come prevista anche dagli articoli 13 e 24 della legge 5 gennaio 1994, 36, deve prevedere interventi di manutenzione e riassetto e tenere conto del monitoraggio effettuato in conformità alle disposizioni del Decreto Legislativo n. 152 del 1999.
 7. Tra i criteri da considerare per l'eventuale revisione delle aree di salvaguardia, previa verifica da effettuare ogni 10 anni o in tempo minore se le condizioni lo richiedono, si indicano:
 - a) l'insorgere di fattori nuovi o cause che determinano variazioni rispetto alle condizioni che hanno consentito la delimitazione in atto, con particolare riferimento a variazioni quali-quantitative delle risorse idriche estratte, derivate, o a cambiamenti nell'assetto piezometrico determinati dall'insorgere di cause naturali o antropiche, o in presenza di più recenti acquisizioni tecniche e scientifiche;
 - b) la destinazione assegnata dai Piani Regolatori Generali (P.R.G.) e dai Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) ai territori interessati o interessabili dalle nuove aree di salvaguardia e l'eventuale presenza, su dette aree, di centri di pericolo.
- La delimitazione delle aree di salvaguardia resta in vigore anche nel caso in cui le captazioni siano temporaneamente disattivate.
8. Nel caso in cui le aree di salvaguardia delle captazioni esistenti comprendano potenziali centri di pericolo per la qualità delle acque, è opportuno valutare tutte le opportunità per la gestione delle captazioni, compreso l'abbandono delle medesime; qualora ciò non sia possibile si possono adottare oltre alle misure di cui al successivo Titolo

- II, punto 3, anche ulteriori misure complementari quali:
- a) l'intensificazione del monitoraggio quali-quantitativo;
 - b) l'interconnessione, ove possibile, della rete di distribuzione con altre fonti o reti di approvvigionamento;
 - c) il piano di intervento in caso di emergenza di cui al successivo Titolo II, punto 5;
 - d) la ristrutturazione delle opere di captazione.

TITOLO II - ELEMENTI TECNICI

1. La protezione statica, così come definita alla lettera p dell'allegato 1, tende a prevenire ed eliminare gli elementi di pericolo derivanti da:
 - a) utilizzazioni specifiche, insediamenti ed attività in atto o previste;
 - b) interventi e loro dotazioni collaterali, indipendentemente dalle finalità specifiche;
 - c) infrastrutture, canalizzazioni, opere di urbanizzazione, opere idrauliche, opere d'uso e trasformazione del suolo e del sottosuolo;
 - d) destinazioni d'uso del suolo.
2. Per una tutela più efficace, la protezione statica, così come definita alla lettera p dell'allegato 1, ove ritenuto opportuno a giudizio della regione e tenuto conto della situazione locale di protezione e di pericolo di contaminazione della risorsa nonché del relativo aspetto tecnico-economico, è integrata dalla protezione dinamica. In particolare, per le captazioni di modesta entità si applica, di norma, la sola protezione statica, mentre, per le captazioni di rilevante entità o interesse, la protezione statica è associata alla protezione dinamica. Il monitoraggio previsto per la protezione dinamica delle captazioni dovrà essere integrato nell'ambito di quello necessario alla classificazione delle acque previsto nell'allegato 1 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999.
3. Per le captazioni in acquiferi non protetti preesistenti all'entrata in vigore del presente regolamento con presenza di centri di pericolo nelle zone di rispetto, devono essere attuate le prescrizioni impartite dalla regione per gli interventi necessari per la messa in sicurezza dei centri di pericolo individuati dalle regioni medesime. Il Gestore del servizio idrico integrato, così come definito all'articolo 2, lettera o-bis), del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, dovrà intensificare l'attività di controllo e monitoraggio ai fini della tutela quali-quantitativa della risorsa e della disponibilità delle acque destinate al consumo umano.
4. In relazione al peculiare grado di protezione e pericolo di contaminazione delle risorse idriche potranno essere previsti sistemi di allarme in tempo reale, che segnalino variazioni significative delle caratteristiche fisico chimiche delle acque affluenti alle opere di presa.
5. Nella definizione degli interventi di protezione statica e dinamica sono previsti un piano di approvvigionamento idrico alternativo e le misure da adottarsi in caso di emergenza idrica.
6. Per le sorgenti ed i pozzi, la delimitazione delle aree di salvaguardia è basata sugli elementi geologici, idrogeologici, idrologici, idrochimici e microbiologici e in particolare sui seguenti elementi:
 - a) la struttura geologica e idrogeologica dell'acquifero e la sua estensione;
 - b) l'ubicazione delle aree di alimentazione;

- c) le interazioni dei corpi idrici superficiali con le falde e degli acquiferi superficiali con quelli più profondi;
 - d) la circolazione delle acque nel sottosuolo, anche mediante prove sperimentali;
 - e) le caratteristiche qualitative delle acque sotterranee e delle eventuali acque superficiali in rapporto di comunicazione, in particolare con l'esame di parametri chimico-fisici, chimici e microbiologici, non tanto in relazione all'utilizzo potabile delle acque, ma come elementi di valutazione delle condizioni di circolazione idrica nel sottosuolo, anche con evidenziazione di eventuali arricchimenti naturali connessi con la presenza di rocce e giacimenti minerali e lo svolgimento di processi idrotermali o di circolazione di fluidi di origine profonda;
 - f) gli effetti indotti sulle acque sotterranee e sui naturali equilibri idrogeologici dalle captazioni;
 - g) la compatibilità delle portate estratte dal sottosuolo con la disponibilità e la qualità delle risorse idriche in accordo con i criteri di cui all'allegato 1, punto 4, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999;
 - h) l'ubicazione dei potenziali centri di pericolo così come definiti all'allegato 1, lettera e del presente regolamento, ovvero quelli di cui all'articolo 21, commi 5 e 6, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999;
 - i) gli aspetti pedo-agronomici con particolare riferimento alla capacità protettiva del suolo, finalizzata alla valutazione della vulnerabilità dell'acquifero all'inquinamento da nitrati di origine agricola e da prodotti fitosanitari.
7. Per le acque superficiali gli studi sono volti alla definizione, all'interno del bacino idrografico di pertinenza e con maggiore dettaglio nelle immediate vicinanze dell'opera di presa, dei seguenti elementi, che sono altresì finalizzati alla valutazione degli effetti della disponibilità della risorsa alla captazione. In particolare si considerano i seguenti elementi:
- a) le caratteristiche geomorfologiche;
 - b) la morfometria del corpo idrico e le portate alle sezioni significative;
 - c) la struttura geologica ed idrogeologica;
 - d) le caratteristiche pedo-agronomiche;
 - e) la climatologia e l'idrologia;
 - f) i processi geomorfici con particolare riguardo all'erosione ed al trasporto solido;
 - g) le caratteristiche qualitative delle acque (parametri chimico-fisici, chimici e microbiologici e biologici, connessi a processi naturali o antropici);
 - h) le derivazioni e gli apporti idrici;
 - i) l'ubicazione dei potenziali centri di pericolo così come definiti all'allegato 1, lettera e;
 - j) i vincoli naturalistici e paesaggistici;
 - k) le sistemazioni idraulico-forestali.
8. Nel caso di captazione di acque superficiali in bacini idrografici in cui vi sia un significativo afflusso di acque sotterranee il cui bacino di alimentazione si estenda, sia pure in parte, anche al di fuori del bacino idrografico stesso, è opportuno considerare anche i dati relativi al suddetto bacino di alimentazione delle acque sotterranee.

Allegato 3 - Criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi

TITOLO I - CRITERI PER LA DELIMITAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA

A. Delimitazione della zona di tutela assoluta

1. La zona di tutela assoluta, ai sensi dell'articolo 21, comma 4, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, deve avere una estensione di almeno 10 m di raggio dal punto di captazione in caso di acque sotterranee.
2. La zona di tutela assoluta deve essere, ove possibile, opportunamente recintata e deve essere protetta dalle esondazioni dei corpi idrici limitrofi e provvista di canalizzazioni per il deflusso delle acque meteoriche.

B. Delimitazione della zona di rispetto

1. Per la delimitazione della zona di rispetto definitiva ed in particolare modo per quanto riguarda la zona di rispetto ristretta ed allargata vengono di norma utilizzati il criterio temporale e il criterio idrogeologico, in relazione alle conoscenze sull'assetto idrogeologico locale.
2. Per la delimitazione della zona di rispetto ristretta di cui all'articolo 21, comma 5, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, è di norma adottato un tempo di sicurezza di 60 giorni definito con i criteri di cui al successivo Titolo II.
3. Per la zona di rispetto allargata è di norma adottato un tempo di sicurezza di 180 o di 365 giorni, considerando il pericolo di contaminazione e la protezione della risorsa.
4. A scopo cautelativo ciascun inquinante viene sempre considerato conservativo, cioè non soggetto a degradazione, adsorbimento, decadimento, etc.; per le elaborazioni deve essere adottata la velocità di filtrazione dell'acqua nel mezzo saturo.
5. Nel caso di acquifero protetto, l'estensione della zona di rispetto ristretta può coincidere con la zona di tutela assoluta. In tal caso, deve essere garantito il grado di protezione dell'acquifero, vietando, nelle relative zone di rispetto, le attività che possono compromettere la naturale condizione di protezione.
6. In sistemi fessurati o carsificati possono essere individuate anche una o più zone di rispetto non direttamente collegate all'opera di captazione (zone di rispetto aggiuntive) in corrispondenza delle quali siano stati verificati fenomeni di infiltrazione con collegamenti rapidi alle risorse idriche captate nel punto d'acqua (pozzo o sorgente).
7. All'interno delle zone di rispetto, ai fini della disciplina delle strutture o delle attività di cui all'articolo 21, commi 5 e 6, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, per favorire la tutela della risorsa, devono essere considerati, oltre le prescrizioni di cui al medesimo articolo, anche i seguenti elementi:
 - a) per quanto riguarda l'edilizia residenziale e le relative opere di urbanizzazione:
 - I. la tenuta e la messa in sicurezza dei sistemi di collettamento delle acque nere, miste e bianche;
 - II. la tipologia delle fondazioni, in relazione al pericolo di inquinamento delle acque sotterranee;
 - b) per quanto riguarda le opere viarie, ferroviarie ed in genere le infrastrutture di servizio:
 - I. le modalità di realizzazione delle reti di drenaggio superficiale;
 - II. le modalità di controllo della vegetazione infestante;

- III. le modalità di stoccaggio ed utilizzazione di fondenti stradali in caso di neve e ghiaccio;
 - IV. le modalità di realizzazione delle sedi stradali, ferroviarie e delle strutture ed opere annesse;
 - V. le captazioni di acque affluenti ad opere in sotterraneo, per quanto attiene alla loro eventuale utilizzazione a scopo potabile;
- c) per quanto riguarda le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione:
- I. la capacità protettiva dei suoli in relazione alle loro caratteristiche chimico-fisiche;
 - II. le colture compatibili;
 - III. le tecniche agronomiche;
 - IV. la vulnerabilità dell'acquifero ai nitrati di origine agricola e ai prodotti fitosanitari di cui agli articoli 19 e 20 e all'allegato 7 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999;
 - V. le aree dove è già presente una contaminazione inazione delle acque.

8. Ai fini dell'applicazione del punto 7 è opportuno definire i criteri di compatibilità dell'eventuale presenza di pozzi per acqua attivi o dismessi, diversi da quelli indicati nell'articolo 21, comma 1, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999.

C. Delimitazione della zona di protezione

1. La zona di protezione è delimitata sulla base di studi idrogeologici, idrochimici ed idrologici e tenendo conto anche della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento così come indicato dagli articoli 19 e 20 e dall'allegato 7 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999. Tale zona non è individuata in relazione ad una singola captazione, ma la sua delimitazione e le prescrizioni, necessarie per la tutela del patrimonio idrico con particolare riferimento alle aree di ricarica della falda, alle emergenze naturali ed artificiali della falda e alle zone di riserva, sono indicate nell'ambito del Piano di tutela delle acque di cui all'articolo 44 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999.
2. Ai fini dell'individuazione e disciplina delle aree di ricarica delle falde e delle emergenze naturali ed artificiali delle stesse si tiene conto:
 - l'estensione e la localizzazione;
 - le caratteristiche idrogeologiche, idrochimiche e pedologiche;
 - l'importanza dell'acquifero alimentato e il suo grado di sfruttamento;
 - l'uso reale del suolo e le destinazioni d'uso;
 - il ciclo integrale dell'acqua.
3. Per quanto riguarda le zone di riserva, in considerazione della notevole rilevanza che assumono ai fini degli approvvigionamenti idrici da destinarsi al consumo umano e delle elevate caratteristiche quali-quantitative, sono individuate sulla base delle indicazioni emergenti dagli strumenti di pianificazione di settore o territoriale, regionale o locale, ed anche alle disposizioni di cui al D.P.C.M. 4 marzo 1996, n. 47. Devono, inoltre, essere eseguiti degli studi idrogeologici, idrologici, idrochimici, microbiologici e pedologici attraverso i quali sarà possibile individuare l'estensione e la configurazione di dette zone in relazione alle previsioni del grado di sfruttamento, nonché in relazione alla situazione di protezione e pericolo di inquinamento della risorsa. Al fine di preser-

vare nel tempo le caratteristiche quali-quantitative delle risorse idriche presenti nelle zone di riserva possono essere adottate misure relative alla destinazione del territorio interessato, limitazioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici, in modo simile a quanto previsto per le altre aree di salvaguardia. Le limitazioni hanno di norma una durata minima di 10 anni, che può essere ridotta in rapporto alle previsioni degli strumenti di pianificazione di settore o territoriale, regionale o locale. Tali strumenti possono operare anche una revisione delle zone di riserva. Nel caso di successivo utilizzo delle risorse idriche presenti all'interno delle zone di riserva, si dovrà procedere alla delimitazione delle aree di salvaguardia.

TITOLO II - MODALITÀ OPERATIVE DA SEGUIRE PER L'APPLICAZIONE DEL CRITERIO TEMPORALE

1. Le zone di rispetto individuate con criterio temporale, dopo aver individuato la struttura idrogeologica del sottosuolo, sono delimitate con la seguente metodologia:
 - a) ricostruzione della piezometria statica e valutazione delle distorsioni indotte in funzione delle portate massime concesse dei pozzi, applicando le consuete leggi dell'idrodinamica sotterranea appropriate al tipo di pozzo e di acquifero considerati;
 - b) tracciamento delle linee di flusso e loro suddivisione in intervalli di uguale tempo di percorrenza;
 - c) tracciamento delle linee isocrone.
 Tale procedura può essere seguita anche mediante l'utilizzo di appositi codici numerici. Il tipo di codice usato, i valori e l'origine dei parametri numerici e le assunzioni adottate nelle elaborazioni devono essere esplicitate all'interno degli studi e delle indagini eseguite per il dimensionamento delle aree di salvaguardia. Deve esser privilegiato il ricorso a codici numerici di riconosciuta affidabilità e devono essere seguite procedure standard di utilizzo.
2. Dopo tale ricostruzione, si scelgono linee isocrone idonee ad identificare il limite fra aree a diverso grado di tutela, corrispondenti ai diversi valori del tempo di sicurezza considerato.
3. Nell'elaborazione dovranno essere presi in attenta considerazione l'influenza della struttura idrogeologica sulla piezometria e sulla rete di flusso in condizioni dinamiche ed in specie, i limiti, le variazioni di conducibilità idraulica e trasmissività, i caratteri idraulici degli acquiferi e dei livelli semipermeabili.
4. I risultati ottenuti con i calcoli devono essere ampiamente descritti e documentati.
5. Al fine di ottenere i parametri numerici da utilizzare, è necessaria l'effettuazione, sui pozzi, di prove di tipo idrodinamico e/o idrochimico, che risultino idonee al caso esaminato. Le prove idrauliche, eseguite possibilmente mediante un pozzo di prova e più piezometri, devono essere effettuate solo sulla stessa falda da esaminare, interpretandone le curve sperimentali con correzioni opportune. Eventuali misure simultanee eseguite su falde diverse da quello oggetto della prova sono utilizzabili per lo studio di una eventuale intercomunicazione delle falde dal punto di vista idraulico. Le prove con traccianti dovranno essere effettuate con l'impiego di sostanze inno-

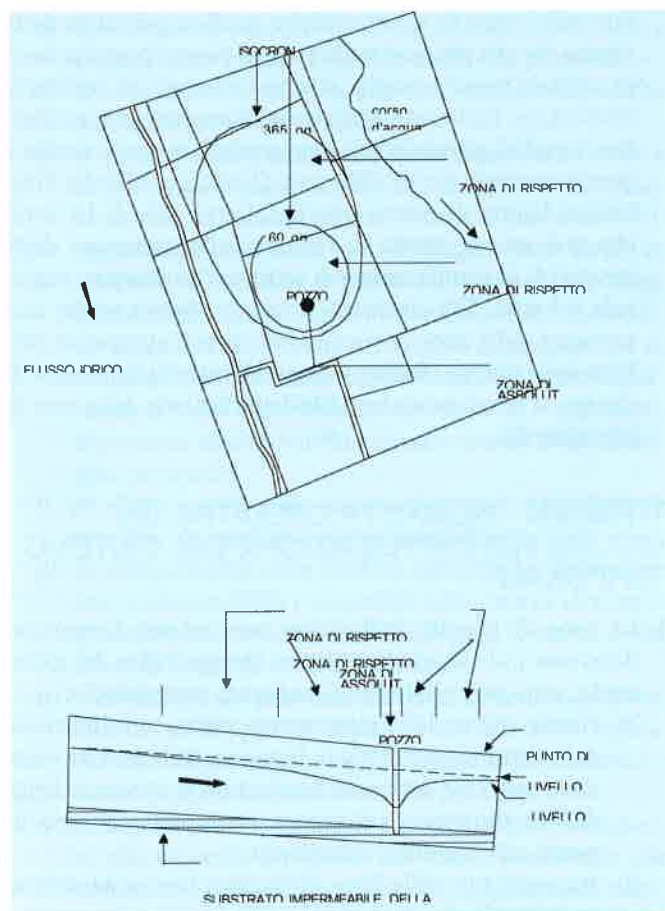


Fig. 1 - Esemplificazione della delimitazione delle aree di salvaguardia di un pozzo.

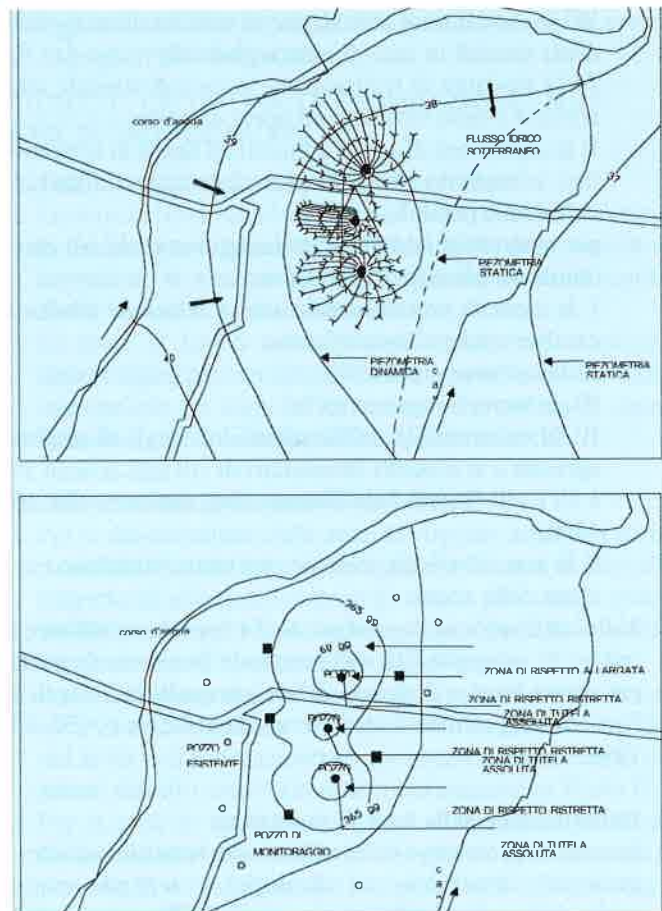


Fig. 2 - Esemplificazione della delimitazione delle aree di salvaguardia di più pozzi.

cue sotto il profilo igienico, sanitario e ambientale. Gli schemi riportati nelle Figure 1 e 2 esemplificano una delimitazione delle aree di salvaguardia rispettivamente per un pozzo singolo e per gruppi di pozzi nel reciproco raggio di influenza.

6. Parallelamente alla delimitazione delle zone di rispetto, sono individuati gli eventuali centri di pericolo di cui all'allegato 2, titolo II, punto 1 che, per potenzialità di contaminazione, devono essere assoggettati a controllo. A tal fine possono essere realizzati, ove non esistenti, pozzi e/o piezometri.

Allegato 4 - Criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia delle sorgenti

TITOLO I - CRITERI PER LA DELIMITAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA

A. Delimitazione della zona di tutela assoluta.

1. Ai fini della delimitazione della zona di tutela assoluta ai sensi dell'articolo 21 comma 4, del decreto legislativo n. 152 del 1999, si deve tenere conto della diversa tipologia delle opere di captazione (bottini di presa, drenaggi, gallerie drenanti, trincee drenanti, pozzi verticali e dreni, captazione diretta in cavità sotterranea o grotta), nonché della protezione dell'acquifero e del pericolo di inquinamento a cui è soggetta la risorsa e la rilevanza della captazione.
2. Nella zona di tutela assoluta deve essere assicurata un'efficace protezione da frane e da fenomeni di intensa erosione ed alluvioni.

3. Ove possibile la zona di tutela assoluta deve essere opportunamente recintata.

B. Delimitazione della zona di rispetto

1. Qualora sia adottato il criterio geometrico di cui all'allegato 2, Titolo I, punto 3, lettera a), la zona di rispetto si configura come una porzione di cerchio di raggio non inferiore a 200 m con centro nel punto di captazione, che si estende idrogeologicamente a monte dell'opera di presa ed è delimitata verso valle dall'isoipsa passante per la captazione; quando le condizioni idrodinamiche dell'acquifero lo richiedano, la zona di rispetto potrà essere estesa idrogeologicamente anche a valle dell'opera di presa per un'estensione adeguata alla situazione.
2. Qualora sia adottato il criterio idrogeologico di cui all'allegato 2, Titolo I, punto 3, lettera c), esso deve basarsi sugli studi di cui all'allegato 2, effettuati anche mediante l'uso di tecniche idrochimiche (facies idrochimiche, uso traccianti e di isotopi ambientali). Tra i vari metodi applicabili può essere utilizzato anche quello basato sul tempo di dimezzamento della portata massima annuale, tale metodo, la cui applicabilità deve essere verificata caso per caso sulla base dell'assetto idrogeologico, richiede la disponibilità di serie affidabili di misure di portata per determinare la curva di esaurimento delle sorgenti.
3. Qualora sia adottato il criterio temporale, viene di norma utilizzato un tempo di sicurezza di 60 giorni, per la zona di rispetto ristretta e di norma di 180 o di 365 giorni per quella allargata in funzione della protezione e del pericolo di contaminazione della risorsa.

4. A scopo cautelativo ciascun inquinante viene sempre considerato conservativo, cioè non soggetto a degradazione, adsorbimento, decadimento, etc.; per le elaborazioni deve essere adottata la velocità di filtrazione dell'acqua nel mezzo saturo.

C. Delimitazione della zona di protezione

1. Il dimensionamento della zona di protezione di una sorgente è possibile in base a studi idrogeologici, idrochimici e idrologici della struttura acquifera alimentatrice; in via cautelare appare opportuno comprendere nella zona di protezione l'intera area di alimentazione delle sorgenti, comprese eventuali strutture acquifere limitrofe dalle quali sia attivo un significativo fenomeno di travaso idrico sotterraneo. Una delimitazione più dettagliata potrà essere effettuata sulla base di ulteriori studi e monitoraggio quali-quantitativo delle acque meteoriche, superficiali e sotterranee.
2. Per le sorgenti alimentate da strutture estremamente vaste, la severità dei vincoli è rapportata in relazione all'importanza della captazione e alla presenza di elementi critici sotto il profilo della tutela della risorsa.
3. In base alle risultanze degli studi potranno essere individuati, all'interno dei piani sovracomunali, gli interventi più idonei per la tutela del patrimonio idrico e per la messa in sicurezza degli eventuali insediamenti esistenti che possano comportare il pericolo di inquinamento.
4. Per le zone di riserva si adotta quanto precedentemente esposto all'allegato 3, Titolo I, parte C, punto 3.

Allegato 5 - Criteri per la delimitazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque superficiali

1. I provvedimenti di tutela tendono a garantire che le attività svolte nel territorio circostante la presa non abbiano un immediato riflesso sulla qualità delle acque captate.
2. L'evento che può dare luogo ad un inquinamento può derivare da acque superficiali e sotterranee contaminate e da dilavamento del suolo. Tale evento può derivare anche da un affluente del corpo idrico nel quale avviene la presa d'acqua.
3. La delimitazione delle aree di salvaguardia è conseguente alla realizzazione degli studi di cui all'allegato 2, Titolo II, punto 7.
4. Gli studi relativi alla delimitazione delle aree di salvaguardia devono estendersi per un'area congrua in relazione al mantenimento della qualità dell'acqua captata, che consideri il rapporto tra la portata derivata e il volume o la portata del corpo idrico superficiale.
5. Qualora sia possibile, il posizionamento dell'opera di presa deve essere tale da evitare afflussi di inquinanti, considerando in modo opportuno correnti e, per laghi e bacini, fenomeni di stratificazione termica della masse idriche. Per le opere di presa esistenti e nei casi in cui ciò non sia possibile, devono essere adottati provvedimenti cautelativi adeguati.

TITOLO I - CORSI D'ACQUA NATURALE E CANALI ARTIFICIALI

A. Delimitazione della zona di tutela assoluta

1. La zona di tutela assoluta deve avere, ai sensi dell'articolo

21, comma 4, del Decreto Legislativo n. 152 del 1999, una estensione, ove possibile, di almeno 10 metri di raggio e deve essere adeguatamente protetta per un'area comprendente i manufatti pertinenti alla captazione.

2. La zona di tutela assoluta è destinata esclusivamente a contenere le opere necessarie ad assicurare la derivazione di acque, il loro eventuale trattamento e trasferimento.

B. Delimitazione della zona di rispetto

1. La zona di rispetto è costituita da un'area circostante la zona di tutela assoluta che si sviluppa a monte dell'opera di presa interessando il corso d'acqua e le relative sponde. L'estensione longitudinale, ove possibile non inferiore a 200 m, deve essere correlata a vari fattori tra cui, in particolare, la portata d'acqua derivata, la velocità e la portata del corpo idrico. L'ampiezza laterale dell'area, rispetto all'asta del corso d'acqua, sarà valutata in relazione alle condizioni di pericolo di inquinamento, tenendo particolare conto dell'uso delle aree, nonché, ove necessario, del rapporto acque superficiali-acque sotterranee.
2. Nel caso di centri di pericolo già esistenti, non rimovibili a breve-medio termine, devono essere realizzate apposite misure complementari, in relazione alla minore sicurezza delle captazioni.

C. Delimitazione della zona di protezione

1. La zona di protezione delle captazioni di acque superficiali è finalizzata al mantenimento e al miglioramento delle caratteristiche di qualità dell'acqua nei corpi idrici del bacino a monte della presa, con riferimento alle previsioni del piano di tutela delle acque di cui all'art. 44 del Decreto Legislativo n. 152 del 1999.
2. Nelle zone di protezione possono essere previsti sistemi di monitoraggio ed allarme per segnalare tempestivamente variazioni delle caratteristiche fisico-chimiche del corpo idrico superficiale. Tali sistemi sono dimensionati e posizionati a seconda delle caratteristiche idrogeologiche del bacino e dei corpi idrici superficiali e della rilevanza dell'opera di presa.

TITOLO II - LAGHI, BACINI NATURALI E ARTIFICIALI

A. Delimitazione della zona di tutela assoluta e della zona di rispetto

1. Date le caratteristiche peculiari dei corpi lacustri la zona di tutela assoluta e la zona di rispetto, di norma coincidono.
2. L'area interessa, ove possibile, una porzione di lago delimitata da una circonferenza di raggio non inferiore a 200 m con centro nell'opera di captazione e deve estendersi verso la costa più vicina interessandone un tratto di lunghezza non inferiore a quello compreso tra gli estremi della proiezione del diametro sulla costa stessa.

B. Delimitazione della zona di protezione

1. La zona di protezione delle captazioni di laghi e bacini naturali e artificiali è finalizzata al mantenimento e al miglioramento delle caratteristiche di qualità dell'acqua nei corpi idrici del bacino a monte della presa, con riferimento alle previsioni del Piano di tutela delle acque di cui all'art. 44 del decreto legislativo n. 152 del 1999.
2. Per la zona di protezione valgono le considerazioni fatte

per i corsi d'acqua. In particolare nelle zone di protezione di risorse idriche che alimentano bacini artificiali utilizzati a scopo potabile e considerati di valore strategico, possono essere posti vincoli all'espansione dei centri urbani, allo scarico di acque reflue, all'installazione in materie pericolose,

all'allevamento del bestiame, all'attività agricola intensiva, all'apertura di cave, ad interventi colturali che favoriscono l'erosione e l'instabilità dei versanti ed ogni altra attività e destinazione d'uso del territorio che può compromettere lo stato della risorsa utilizzata.