

Ordine dei Geologi della Toscana



Linee guida di idrogeologia: approccio ai progetti



Supplemento al n. 73 de "Il Geologo" periodico trimestrale dell'Ordine dei Geologi della Toscana

2008

T
TITANIA EDITRICE
REGASO GROUP



Consiglio dell'Ordine dei Geologi della Toscana

Presidente	dott. geol. Vittorio d'Oriano
Vicepresidente	dott. geol. Maria Teresa Fagioli
Tesoriere	dott. geol. Michele Sani
Segretario	dott. geol. Alessandra Biserna
Consigliere	dott. geol. Silvano Becattelli
Consigliere	dott. geol. Giovanna Cascone
Consigliere	dott. geol. Franco Ceccarini
Consigliere	dott. geol. Mauro Chessa
Consigliere	dott. geol. Gianfranco Gargani
Consigliere	dott. geol. Fabio Martellini
Consigliere	dott. geol. Nicoletta Mirco

Commissione Idrogeologia

Coordinamento:	Maria Teresa Fagioli (OGT)
Componenti:	Fausto Capacci (AR), Giovanna Cascone (LI), Giancarlo Ceccanti (FI), Marco Doveri (PI), Riccardo Frullini (FI), Gianfranco Gargani (GR), Manuela Germani (FI), Roberto Gianecchini (LU), Florindo Granucci (LU), Filippo Landini (FI), Jenny Migliorini (SI), Stefano Menichetti (FI), Nicoletta Mirco (FI), Alberto Pedone (AR).

Indice

Prefazione	4
Introduzione	6
La prospezione idrogeologica: metodi e strumenti	7
1. La geologia nella prospezione idrogeologica	7
2. La geofisica nella prospezione idrogeologica	7
2.1. Considerazioni sui metodi geofisici	7
2.2. Metodi geofisici	8
2.3. Considerazioni sull'utilizzo dei metodi geofisici per l'esplorazione del sottosuolo.....	10
3. La geochimica nella prospezione idrogeologica	11
4. Indagini dirette nella prospezione idrogeologica	13
5. I modelli matematici	13
6. La relazione idrogeologica e la carta idrogeologica	14
7. Le carte di vulnerabilità	16
Settori di lavoro	
8. Siti inquinati – discariche.....	17
8.1. Discariche.....	17
8.1.1. Normativa di riferimento.....	17
8.1.2. Enti competenti ed iter burocratico	17
8.1.3. Indagini idrogeologiche e geochimiche a supporto dei progetti	17
8.2. Bonifiche dei siti inquinati	19
8.2.1. Normativa di riferimento.....	19
8.2.2. Enti competenti e iter burocratico	20
8.2.3. Indagini idrogeologiche geochimiche a supporto dei progetti	21
9. Viabilità ed infrastrutture lineari	23
9.1. Normativa di riferimento ed enti competenti	23
9.2. Indagini idrogeologiche a supporto dei progetti	24
9.2.1. Tratti in galleria ed opere in sotterraneo	26
9.2.2. Tratti in rilevato.....	27
9.2.3. Tratti in trincea	27
9.2.4. Tratti in viadotto.....	27
10. Ricerca idrica e opere di approvvigionamento idrico.....	27
10.1. Normativa di riferimento	27
10.2. Enti competenti	29
10.3. Procedure autorizzative e concessorie per pozzi	33
10.3.1. Pozzi uso domestico: definizione e procedure.....	33
10.3.2. Procedimento di concessione per pozzi uso irriguo, uso industriale, uso idropotabile	34
10.4. Indagini ed attività di supporto alle perforazioni	35
10.4.1. Indagine a carattere preliminare.....	35
10.4.2. Sopralluoghi con le autorità competenti e la ditta costruttrice	36
10.4.3. Perforazione completamento del pozzo	37

10.4.4. Relazione finale (anche per richiesta concessione)	39
10.4.5. Determinazione dei parametri idraulici (prove di emungimento).....	40
10.4.6. Chiusura pozzi	40
10.5. Sorgenti.....	40
10.5.1. Caratterizzazione delle sorgenti	41
10.5.2. Procedimenti concessori ed autorizzativi.....	42
10.5.3. Metodologie di sfruttamento delle sorgenti	42
10.6. Problematiche ambientali.....	45
10.6.1. Aspetti generali	45
10.6.2. Separazione delle falde	46
10.6.3. La gestione del cantiere	49
11. Pianificazione.....	52
11.1. Normativa di riferimento, enti competenti.....	52
11.2. Elaborati delle indagini per il piano strutturale comunale e relative varianti	53
12. Attività estrattive.....	54
12.1. Normativa di riferimento enti competenti.....	54
12.2. Indagini idrogeologiche e geochimiche a supporto dei progetti	54
Bibliografia	56

Prefazione

“L'idrogeologia è la parte della geologia applicata che si dedica allo studio delle acque sia relativa ai bacini superficiali che alla ricerca e allo sfruttamento delle acque sotterranee, anche termali e minerali”. E ancora: “L'idrogeologia è la scienza dell'acqua sotterranea. È una disciplina delle Scienze della Terra orientata verso le applicazioni. Essa ha come obiettivi, lo studio del ruolo dei materiali costituenti il sottosuolo e delle strutture idrogeologiche con applicazioni delle leggi fisiche e chimiche, innanzitutto, la distribuzione, le caratteristiche del giacimento, la modalità del deflusso e le proprietà fisiche e chimiche delle acque sotterranee ed inoltre le conoscenze acquisite sulla prospezione, la captazione, lo sfruttamento e la gestione dell'acqua sotterranea”.

Queste sono due definizioni date, nell'ordine, da due linguisti del calibro di Giacomo Devoto e Giancarlo Oli (che abbiamo conosciuto quasi come parenti durante i cinque anni di scuola superiore) e da un Maestro indiscusso della materia come Gilbert Castany.

Non v'è dubbio quindi che l'idrogeologia sia campo proprio del geologo. Un campo dove si esplica tutto il sapere geologico: non può esistere infatti idrogeologo vero che non conosca bene, passatemi l'espressione, i “fondamentali” della geologia. Un campo affascinante dove si affacciano fin da subito dopo la laurea le nuove generazioni di geologi che hanno il sogno e l'obiettivo di mettere a disposizione della società quanto hanno imparato.

Il Consiglio dell'Ordine dei Geologi della Toscana mette a disposizione di queste nuove generazioni, ma anche di quelle meno nuove, questo strumento ragionato che non a caso è stato titolato “Linee guida di idrogeologia: approccio ai progetti”. Come bene è detto nell'introduzione, questo lavoro non ha la pretesa di essere un manuale, ma è semplicemente una traccia, una strada, un compendio di consigli, per intraprendere con qualche conoscenza in più lavori di idrogeologia. Esso è il risultato del lavoro della Commissione Idrogeologia, alla quale va il nostro sentito ringraziamento, che è formata da colleghi liberi professionisti e da colleghi che la loro professione la svolgono in agenzie tecniche, consorzi, Enti Pubblici. Persone quindi che quotidianamente confrontano il loro sapere, e la loro esperienza, con le norme che regolano il complesso modo della risorsa acqua e con la realtà ed i bisogni della gente.

Ma perché queste linee guida? Prima di tutto perché l'acqua riveste, ed è destinata a rivestire ancora di più in futuro, un'importanza sempre più rilevante nella vita dell'uomo e nei rapporti tra gli Stati; non a caso qualcuno l'ha definita “l'oro blu del XXI secolo” e addirittura adombra che “il suo dominio provocherà innumerevoli conflitti territoriali e condurrà a rovinose battaglie economiche, industriali e commerciali se, nei prossimi dieci o quindici anni, non verrà concertata nessuna azione volta a garantire la fornitura dell'acqua in un quadro mondiale efficace di regolamentazione politica, economica, giuridica e socioculturale” (Prof. Riccardo Petrella, Consigliere Commissione Europea).

L'acqua quindi come bene primario ben più importante e sostanziale di altre, pur importanti, risorse naturali che possono incidere sullo sviluppo di una società ma certamente non sulla qualità della vita e soprattutto sulla stessa sopravvivenza dei popoli e delle nazioni. E se è un bene primario, direi quasi il bene primario per eccellenza, non può essere trattato con sufficienza, ignoranza o imperizia. E i primi che devono essere consapevoli che si parla di una risorsa insostituibile per

L'uomo devono essere, a mio avviso, proprio i geologi, i quali hanno il compito di trattare questa risorsa non solo al meglio delle conoscenze scientifiche del momento (il richiamo all'aggiornamento non è casuale) ma anche della loro sensibilità di uomini e cittadini consapevoli dell'importanza della tutela e della conservazione di questo patrimonio che incide, a tutte le latitudini, sulla vita dell'uomo. Non si tratta però solo di fare bene il proprio lavoro, si tratta anche di educare chi si avvale della nostra consulenza e del nostro lavoro ad un approccio più rispettoso non solo, o semplicemente, delle norme, ma anche del già ricordato principio di tutela e di conservazione che, si badi bene, non vuol dire non usare l'acqua, ma più propriamente di usarla secondo quel principio di equilibrio naturale che solo una profonda conoscenza delle leggi che ne regolano il ciclo può, di volta in volta e da luogo a luogo, contribuire ad identificare.

Questo sforzo però sarebbe inutile se anche chi ha responsabilità di governo e di amministrazione della cosa pubblica non faccia propria la consapevolezza che "in quanto fonte di vita insostituibile per l'ecosistema, l'acqua è un bene vitale che appartiene a tutti gli abitanti della Terra in comune. A nessuno, individualmente o come gruppo, è concesso il diritto di appropriarsene a titolo di proprietà privata. L'acqua è patrimonio dell'umanità. La salute individuale e collettiva dipende da essa", come recitano i primi due capoversi del manifesto internazionale sull'acqua. L'acqua quindi non può essere "governata" con l'occhio e la sensibilità attenti agli interessi politici del momento quando non, addirittura, settoriali e corporativi, ma con la consapevolezza che nel parlare di acqua si tratta di interessi collettivi che comprendono, ovviamente, quelli delle generazioni future la cui genuina preoccupazione costituisce la più alta espressione dell'altruismo in politica.

Vittorio d'Oriano

Presidente dell'Ordine dei Geologi della Toscana

Introduzione

Lavorare in idrogeologia significa studiare il moto delle acque sotterranee, la geometria degli acquiferi, la dinamica dell'interazione fra acque sotterranee di differenti acquiferi e fra queste e le acque superficiali; non solo, significa anche comprendere come e perché opere antropiche, sia intenzionalmente che involontariamente, interagiscono con la risorsa acqua e conoscere metodologie e tecniche per progettare in modo ecosostenibile e nel rispetto della risorsa stessa.

Nessun progetto di opera che interagisce, intenzionalmente o meno, poco o tanto, con le acque sotterranee può prescindere da un adeguato studio idrogeologico.

I capitoli che seguono non pretendono il titolo di manuale, né aspirano a quello di “Bignami” di idrogeologia; le stesse parole “linee guida” presenti nel titolo, lungi dal presumere ogni valore normativo, hanno solo carattere esplicativo, non una regola, ma piuttosto una traccia, anche perché la “dinamicità” con cui i quadri normativi comunitari, nazionali, regionali e locali si sono recentemente evoluti non permette di confrontarsi con un ambito di leggi e consuetudini collaudato e consolidato. Scopo esclusivo del documento è quello di fornire una guida ai colleghi, liberi professionisti o funzionari che siano, alle prese con la preparazione di studi, relazioni, istruttorie, controlli in materia di risorsa idrica.

La prima parte dell'elaborato sintetizza i metodi e gli strumenti dell'idrogeologia (dal rilievo geologico alla geofisica, alla geochimica, ai metodi modellistici), puntualizzando i contenuti indispensabili e opzionali della relazione idrogeologica e della carta idrogeologica; la seconda parte tratta, più specificamente, di normativa e supporto idrogeologico per alcuni selezionati campi di attività (siti inquinati e discariche, viabilità ed infrastrutture lineari, ricerca idrica, pianificazione, attività estrattive).

Il documento, privo di qualsiasi pretesa di esaustività sulle problematiche trattate, ha mirato comunque, approfittando della ricchezza di punti di vista derivante dalla vasta gamma di ruoli svolti nella professione dai colleghi della commissione, ad armonizzare le posizioni in un documento tecnico, forse dissonante nello stile, ma univoco negli scopi.

Il capitolo 9 “Viabilità ed infrastrutture lineari” tratta del supporto idrogeologico per viabilità, in galleria o meno, di una certa rilevanza regionale; gli stessi approfondimenti, ovviamente tarati sull'importanza dell'opera, sono validi anche per le viabilità Provinciali e Comunali e per le minori.

Un accenno a parte per il capitolo 10 “Ricerca idrica ed opere di approvvigionamento idrico” dove è stato ripreso in toto il documento della Commissione Pozzi del 2005, aggiornandolo ed aggiungendo un capitolo relativo alle sorgenti ed un capitolo su problematiche ambientali in cui fra l'altro si è affrontato il critico argomento, purtroppo in Italia ad oggi sottostimato (garbatissimo eufemismo), della definizione, mantenimento e ripristino della separazione fra falde idriche naturalmente distinte.

Per quanto concerne le sorgenti, la trattazione tecnico-scientifica è stata privilegiata rispetto a quella burocratico-procedurale, soprattutto perché, nel 90% dei casi, l'iter burocratico per autorizzazioni e concessioni per le sorgenti è identico a quello per i pozzi, alla cui trattazione quindi si rimanda.

Riguardo alla Pianificazione (capitolo 11), si è scelto di trattare a grandi linee solo la pianificazione a scala comunale nella Regione Toscana.

Il settore pianificazione idrogeologica, che non poteva ovviamente essere omissis in un documento che tratta di idrogeologia, è un settore che in Italia è stato sviluppato, con un certo grado di approfondimento, solo in alcune regioni del nord, regioni che hanno dovuto affrontare gravi emergenze; per il resto, in genere, esso è sempre considerato, quando sia preso in considerazione, come appendice della pianificazione urbanistico-edilizia.

La mancanza di norme specifiche in materia rende necessario un approccio di tipo scientifico-tecnico ed una trattazione ben più vasta ed articolata di quella necessaria per semplici linee guida quali sono, o per lo meno vorrebbero essere, quelle che seguono.

La prospezione idrogeologica: metodi e strumenti

1. La Geologia nella prospezione idrogeologica

Geomorfologia, geologia, litostratigrafia e tettonica di un'area sono tutte informazioni indispensabili per la progettazione ed esecuzione di qualsiasi prospezione idrogeologica: non è possibile elaborare un progetto di indagine idrogeologica senza disporre di un modello geologico a scala adeguata.

Compito dell'idrogeologo è la raccolta, diretta o da bibliografia, delle informazioni sopra elencate e l'integrazione delle stesse con dati più direttamente relazionati a presenza e caratteristica delle acque sotterranee.

Il passaggio dal modello geologico al modello idrogeologico sarà quindi realizzato attribuendo ai terreni caratteristiche idrauliche, valutando quanto e come assetto stratigrafico e strutture tettoniche influiscono sull'andamento dei flussi e sulle emergenze, identificando le relazioni fra acque superficiali e sotterranee e fra acquiferi superficiali ed acquiferi profondi, valutando quantità e qualità delle risorse idriche.

In assenza o in carenza di dati bibliografici, per le aree di pianura (o comunque per aree prive di affioramenti) è in generale necessario, per ottenere informazioni su sottosuolo e tipologia di acquiferi, ricorrere ad indagini dirette o indirette specifiche.

Per gli ambienti collinari o montani, invece, la ricostruzione del modello idrogeologico può avvenire attraverso un rilevamento geologico classico di dettaglio; i limiti oggettivi che il rilevamento geologico ha nelle aree di pianura sono più che superati nelle aree collinari o montane dove insieme al rilievo strutturale, rappresenta il mezzo principe per individuare esistenza e natura degli acquiferi e comprenderne geometria e loro relazioni.

Lettura ed interpretazione di carte geologiche o di foto aeree (a scala adeguata all'indagine da effettuare), integrata da successivi rilievi, mirati, di terreno, forniscono i dati di base necessari, fra l'altro, per individuare, mappare e quantificare le aree di ricarica delle acque sotterranee o per quantificare l'infiltrazione per i bilanci idrogeologici.

2. La geofisica nella prospezione idrogeologica

Le indagini geofisiche sono finalizzate ad individuare e misurare parametri fisici di strutture o corpi geologici sotterranei. I parametri comunemente utilizzati nelle indagini geofisiche sono: conducibilità elettrica, l'elasticità, suscettività magnetica e densità; ad ognuno di questi parametri corrisponde un particolare metodo di

indagine: elettrico, sismico, magnetico e gravimetrico, rispettivamente. Occorre sottolineare che l'integrazione dei vari metodi di indagine rispetto all'uso di uno singolo caratterizzerebbe i parametri e la struttura del sottosuolo in maniera più attendibile, ma purtroppo, spesso per contenere i costi, questa sinergia non è sempre applicata.

Ai fini di uno studio idrogeologico, le tecniche di indagine geofisiche possono essere proficuamente utilizzate purché ne vengano opportunamente valutati i limiti e siano supportate da altre metodologie di indagine.

Si sottolinea che per un'ideale applicazione della *prospezione geofisica* all'esplorazione delle acque sotterranee è fondamentale una stretta collaborazione tra il geofisico ed il geologo; è opportuno che alcune indagini geologiche vengano effettuate preliminarmente rispetto a quelle geofisiche. Si precisa che, salvo situazioni particolari (per esempio, l'identificazione dell'interfaccia acqua dolce – acqua salata), la prospezione geofisica di superficie non fornisce direttamente dati idrogeologici (limite della superficie piezometrica, zone di maggiore trasmissività, ecc.), ma solamente le variazioni di alcuni parametri fisici caratterizzanti il sottosuolo. Queste grandezze devono essere necessariamente interpretate dal punto di vista geofisico, quindi messe in relazione con la geologia ed, infine, con la presenza o meno di acque sotterranee.

2.1. Considerazioni sui metodi geofisici

Nell'applicazione dei metodi geofisici occorre avere consapevolezza delle potenzialità e dei limiti delle tecniche utilizzate. La geofisica è in grado di fornire utili indicazioni per la definizione del modello idrogeologico del sottosuolo, ma occorre precisare che i metodi geofisici necessitano di opportuna esperienza nell'applicazione e di una stretta collaborazione tra geologo e geofisico. Poiché i metodi geofisici non misurano direttamente i parametri richiesti in idrogeologia, risulta necessaria una corretta correlazione tra le misure dei contrasti geofisici e il contesto geologico; la correlazione è frequentemente empirica e l'attendibilità dell'interpretazione riflette la qualità delle misure geofisiche e la correttezza dell'ipotesi sul modello geologico di partenza, l'esperienza e la sapienza del geologo.

Un altro aspetto importante nelle indagini è la loro risoluzione, ovvero la capacità delle misure di distinguere tra due situazioni geologiche simili. Essa dipende dal metodo geofisico considerato, dal tempo e dal budget impegnato; pertanto, risulta necessaria una

corretta pianificazione delle indagini per garantire la migliore qualità dei dati ai costi minori.

In geofisica si è soliti distinguere il problema “diretto” (determinare l’effetto in superficie generato da una struttura sepolta caratterizzata da certi parametri fisici e geometrici), da quello “inverso” (dedurre i parametri fisici e geometrici di una struttura in base alle misure della prospezione); mentre il problema “diretto” ammette un’unica soluzione, quello “inverso” può essere soddisfatto da più modelli di struttura. Non tutti i modelli proposti saranno validi geologicamente, il geofisico, in base ad altre informazioni e anche alla propria esperienza, dovrà individuare quello che meglio descriverà la realtà. Nel processo di inversione vengono fatte alcune assunzioni sul modello geofisico del sottosuolo (omogeneità e isotropia dei mezzi analizzati, interfacce nette tra i vari materiali, modelli mono o bidimensionali, etc.) che talvolta non coincidono con la realtà geologica che può essere anche molto complessa (scarsa omogeneità dei mezzi in rapporto alla risoluzione del metodo adottato, variazioni graduali delle proprietà fisiche, anisotropia e variazioni laterali degli strati studiati). Ai fini della calibrazione dei metodi e delle assunzioni empiriche effettuate risulta necessario acquisire informazioni dirette sulla situazione del sottosuolo, quali carotaggi, prove in situ, log di pozzo, prove Cross-Hole o Down-Hole.

La geofisica costituisce un approccio importante per la definizione del quadro geologico dell’area. Le problematiche in ambito geologico e ambientale necessitano, sempre, di dati di base di carattere geologico su cui impostare la campagna geofisica. Tutte le operazioni che possono essere programmate per giungere alla soluzione del problema devono andare nella direzione di studiare quei parametri che presentano i maggiori contrasti fisici e dimensionare gli interventi in modo da portare ad un ragionevole rapporto tra i costi ed i benefici che possono derivare dall’impiego della geofisica.

2.2. Metodi geofisici

Tutti i diversi metodi geofisici sono in grado di fornire parametri utili alla caratterizzazione idrogeologica del sottosuolo. In effetti, alcune tecniche non sono particolarmente efficienti in relazione ai costi; pertanto, di seguito, verranno proposte quelle metodologie che, usualmente, sono utilizzate nella esplorazione idrogeologica: geoelettriche (o di resistività in corrente continua), elettromagnetiche (o di conducibilità in corrente alternata) e sismiche a rifrazione ed a riflessione.

Geoelettrica [DC RESISTIVITY, Misé a la masse]: con questa tecnica, si applica al terreno una corrente elettrica “quasi” continua attraverso elettrodi infissi nel terreno; quindi si ricava la resistività del terreno

dalla misura del potenziale elettrico generato e dalle dimensioni del terreno energizzato. Solitamente si realizzano sondaggi elettrici verticali (SEV) utilizzando le configurazioni di Wenner o Schlumberger, che servono per investigare in profondità. Si ricorda che il sondaggio è puntuale e riferito al centro dello stendimento. Esso consente l’individuazione di superfici stratigrafiche orizzontali del sottosuolo per ricerche idriche e ambientali nei casi in cui gli altri metodi non siano efficienti; permette l’individuazione della profondità dell’acquifero, degli spessori di depositi alluvionali acquiferi, del *bedrock*, di strutture artificiali (discariche, orizzonti antropizzati) e di perdite da discariche, traccia di percolati e contaminanti in falda; consente lo studio del cono di depressione di falda intorno a pozzi/sorgenti per la determinazione della direzione di scorrimento della falda, per il computo, mediante calcolo della velocità di flusso, della zona di salvaguardia ad “isocrona”. La profondità d’esplorazione è variabile a seconda del dispositivo e della risoluzione richiesta, es. fino a 5 m, fino a 10 m, fino a 30 m, fino a 50 m, fino a 100-200 m ed oltre; essa risulta mediamente 1/4 (talvolta inferiore) della lunghezza dello stendimento. Questa metodologia consente di ottenere informazioni sul sottosuolo anche a grandi profondità con costi notevolmente inferiori rispetto alle indagini dirette; inoltre presenta una buona risoluzione stratigrafica in senso verticale, mentre si possono avere delle difficoltà d’interpretazione in zone accidentate morfologicamente o con numerosi sottoservizi, e i risultati ottenuti con questa metodologia possono risultare scarsamente attendibili in terreni con variazioni laterali naturali/antropiche. Come per altre metodologie geofisiche è opportuno avere una stratigrafia di taratura a riferimento. Nella realizzazione del sondaggio è necessario disporre di ampi spazi per poter indagare in profondità, con una lunghezza dell’*array* circa quattro/sei volte la profondità di indagine.

Tomografia Elettrica [IMAGING DC RESISTIVITY, I.P.]: con questa tecnica si applica al terreno una corrente elettrica “quasi” continua attraverso elettrodi infissi nel terreno. Si ricava la resistività del terreno dalla misura della corrente, del potenziale elettrico generato e dalle dimensioni del terreno energizzato. La misura di “caricabilità” del terreno (I.P. - *Induced Polarization*) consiste invece nella misura del tempo t di decadimento della carica elettrica applicata. Con la tomografia elettrica si utilizzano, prevalentemente, i sistemi dipolo-dipolo, i quali sono sensibili lateralmente e servono per ricostruire andamenti e variazioni laterali ma a profondità inferiori rispetto a quelle ottenute con i sondaggi elettrici verticali (SEV). Essa permette l’individuazione di superfici stratigrafiche orizzontali del sottosuolo per ricerche idriche e ambientali, la de-

finizione della profondità dell'acquifero, degli spessori dei depositi alluvionali acquiferi, del *bedrock*, la delimitazione di strutture artificiali (discariche, orizzonti antropizzati); consente inoltre la ricostruzione dei limiti e delle variazioni laterali di grandi strutture sepolte (discariche, accumuli sepolti) e l'individuazione perdite da discariche, traccia di percolati e contaminanti in falda. La profondità d'esplorazione è variabile a seconda del dispositivo e della risoluzione richiesta, es. fino a 5 m, fino a 10 m, fino a 30 m, fino a 50 m, fino a 100-200 m e oltre. La profondità d'esplorazione è mediamente 1/4 (talvolta inferiore) della lunghezza dello stendimento. La tomografia elettrica ha una buona risoluzione stratigrafica in senso verticale e laterale; è utile per la discriminazione di materiali metallici, di argille/sabbie acquifere con I.P. Occorre sottolineare che per ottenere precisione è necessaria una stratigrafia di taratura a riferimento; si possono presentare difficoltà d'interpretazione in zone accidentate morfologicamente o con numerosi sottoservizi; la tomografia elettrica è sensibile alla presenza di condotte e/o tubazioni interrato, di linee aeree di tensione, di messe a terra, di corpi metallici superficiali. Nella realizzazione occorrono spazi aperti per lo stendimento dei cavi, occorre l'infissione di elettrodi nel terreno (possibile applicazione anche in aree asfaltate, urbanizzate con predisposizione di fori).

Metodo elettromagnetico [EM RESISTIVITY]: il metodo utilizza la generazione di un campo elettromagnetico, detto primario, che si trasmette intorno ad una bobina emittente, inducendo nel terreno una circolazione di una corrente. Questa originerà a sua volta un campo elettromagnetico secondario, la cui intensità è proporzionale alla conduttività del materiale. Questo metodo consente di misurare la conduttività elettrica (l'inverso della resistività) dei suoli e delle rocce che dipende da vari fattori quali il grado di saturazione, la salinità dell'acqua dei pori, la composizione mineralogica. Normalmente i risultati permettono di realizzare cartografie che illustrano, in planimetria, per isolinee, la conducibilità elettrica e lo sfasamento dell'onda elettromagnetica. Con questa metodologia è possibile ottenere la caratterizzazione planimetrica degli spessori di coperture di terreno, detritiche e di depositi alluvionali previa taratura con stratigrafie. Esso permette di individuare e delineare aree di discarica, discariche sepolte e zone di scavo del terreno. Il metodo è ottimale se si indagano terreni caratterizzati dalla presenza di materiali conduttivi, anche in debolissima concentrazione (composti inorganici con: metalli, metalli pesanti, ioni, oli minerali contenenti metalli e/o solfati, melme bituminose acide, fanghi,...); e di monitorare eventuali *plume* di dispersione nel terreno. Tipicamente la profondità d'esplorazione cambia (3, 5, 7, 10, 30

m) a seconda della configurazione, della strumentazione adottata e della natura del terreno. I rilievi risultano economici e speditivi; la facilità di trasporto e di utilizzo della strumentazione permette indagini anche in ambienti con morfologia accidentata. Esso ha la capacità di evidenziare discontinuità (superfici, strutture) a forte sviluppo verticale. Come altri metodi elettrici, risente dell'influenza di strutture quali recinzioni, corpi metallici in superficie, tubazioni, reti elettrosaldate, elettrodotti, c.a. e di edifici vicini posti a circa 5 m di distanza. Il metodo si applica al meglio in condizioni di terreno asciutto; in terreni argillosi la profondità d'esplorazione si riduce del 30-40%.

I metodi elettromagnetici possono operare nel dominio della frequenza (*frequency domain*), in cui è l'analisi della variazione di ampiezza del segnale ad una determinata frequenza a fornire le indicazioni sulla presenza di contrasti di conducibilità nel sottosuolo: oppure nel dominio dei tempi (*time domain*) in cui le informazioni utili all'esplorazione geologica mediante onde o impulsi EM sono ottenute attraverso la stima del tempo che intercorre tra l'istante di invio di un impulso EM ed il ritorno di segnali "anomali" dal sottosuolo. Questi impulsi trasmettono in superficie informazioni che consentono di ricostruire la successione stratigrafica del sottosuolo attraversato dalle onde elettromagnetiche.

I metodi EM che operano nel *frequency domain* più utilizzati sono il sistema VLF, particolarmente utile per le ricerche idriche nelle zone di frattura nell'ambito di complessi litoidi: in campagna sono possibili considerazioni preliminari sui risultati delle misure ed elaborazioni relativamente semplici finalizzate alla definizione di modelli bidimensionali semi-quantitativi, ed il sistema SLINGRAM che consente la definizione geometrica di un acquifero in formazioni litoidi fratturate, ma anche in alluvionali ove risulti necessario individuare i percorsi dei paleovalvei.

Le tecniche che operano nel dominio dei tempi sono maggiormente sensibili, rispetto a quelle geoelettriche (resistività), alla presenza di strati conduttivi nel sottosuolo, in quanto costituiscono degli "schermi" difficilmente superabili. Esse presentano il vantaggio di raggiungere elevate profondità di indagine, utilizzando potenze elevate e dispositivi relativamente compatti. Esse risultano efficaci nelle situazioni in cui occorrono grandi profondità di indagine in contesti morfologici e geologici articolati (es.: complessi vulcanici effusivi di notevole spessore soprastanti a depositi sedimentari argillosi).

Metodologie sismiche a rifrazione ed a riflessione: è possibile investigare alcune proprietà del sottosuolo attraverso i metodi sismici che utilizzano il fenomeno fisico della rifrazione oppure quello della riflessione. Tipicamente le indagini effettuate

con sismica a rifrazione non superano profondità di investigazione di 30-60 m, mentre per quella a riflessione si riescono a raggiungere profondità anche molto maggiori.

Le indagini effettuate con la tecnica a rifrazione ed elaborazione tomografica consentono superamento dei limiti di esplorazione in quelle situazioni in cui si hanno intercalazioni tra strati a bassa e alta velocità. Questo consente, nel caso specifico delle prospezioni finalizzate a studi idrogeologici, di definire orizzonti fratturati nell'ambito di acquiferi litoidi o volumi che, per una elevata porosità presentano velocità più basse. Anche i metodi GRM o DELAY TIME consentono simili analisi, ma solo per le zone fratturate con assetto sub-verticale.

Ai fini della valutazione della presenza di acqua nel sottosuolo, risulta particolarmente utile il metodo sismico a rifrazione con onde P e con onde SH sullo stesso profilo. Infatti, in situazioni in cui il mezzo è fratturato o poroso, le velocità delle onde di compressione (P) solitamente hanno valori bassi (inferiori a 1.000 m/s) se non vi è una falda acquifera che permea i pori o le fratture; anche i valori delle velocità delle onde SH risulteranno bassi (su valori di poche centinaia di m/s). Qualora fossimo in presenza di falda, la velocità delle onde P risulterà più elevata con valori maggiori di 1.450 m/s (velocità delle onde sismiche di compressione nell'acqua) mentre la velocità delle onde SH rimarrà invariata, in quanto legata solo alla natura dello scheletro solido del mezzo.

La sismica a riflessione risulta efficace nel discriminare la presenza o meno di fluidi nei pori. Le esperienze accumulate nell'esplorazione petrolifera, hanno consentito lo sviluppo di nuove metodologie di acquisizione ed elaborazione dati, anche in altri settori dell'esplorazione del sottosuolo. È importante sottolineare che la capacità di distinguere ed evidenziare situazioni stratigrafiche e giaciture di interesse per uno studio idrogeologico è strettamente legata ai costi per l'esecuzione delle operazioni sul terreno e l'elaborazione dei dati; questo comporta che le tecniche a riflessione presentino costi di gran lunga superiori a quelli di altre indagini, e pertanto vengono utilizzate solo in particolari progetti. Inoltre, occorre tenere presente che una indagine con la tecnica della sismica a riflessione che abbia come obiettivo di investigare 200-300 m al di sotto del piano di campagna, necessita di sezioni di lunghezza superiori al chilometro e quindi una accurata pianificazione logistica dell'indagine.

2.3. Considerazioni sull'utilizzo dei metodi geofisici per l'esplorazione del sottosuolo

Rocce sedimentarie non consolidate: i metodi geofisici di superficie (specialmente, il metodo della re-

sistività elettrica e la sismica a rifrazione) risultano solitamente efficaci per valutare lo spessore e/o la natura dei sedimenti alluvionali; l'efficienza delle metodologie utilizzate dipende dal contrasto tra i parametri fisici dei depositi alluvionali e quelli delle rocce del substrato. Nell'ipotesi di un contatto di limi ed argille con marne (o sabbie e ghiaie con arenarie) è probabile che il contrasto di resistività sia insufficiente per identificare la superficie di separazione; in questa situazione può essere possibile che la differenza di velocità delle onde sismiche permetta tale identificazione. In conseguenza di quanto esposto risulta opportuno usare congiuntamente le due tecniche geofisiche. Qualora si presentino depositi in valli di origine tettonica o nelle pianure costiere, l'utilità dei metodi geofisici svolte in superficie per identificare acquiferi profondi (ad esempio, più di 50÷100 m) è relativamente limitata poiché possono presentarsi delle variazioni laterali e verticali di facies; invece, le indagini geofisiche nei sondaggi, insieme alle analisi dei campioni e della geologia di superficie, possono essere più efficienti e quindi, in linea generale, da utilizzare. Negli acquiferi costieri, relativamente omogenei, la prospezione geoelettrica di superficie risulta una metodologia utile per valutare il movimento dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata.

Rocce plutoniche e metamorfiche: i metodi geofisici tipicamente applicati in questi casi sono la prospezione geoelettrica (resistività) e la prospezione sismica (rifrazione). Il primo metodo sfrutta il fatto che le rocce sane hanno una resistività decisamente superiore rispetto a quella delle rocce alterate o molto fratturate, essendo maggiore il contenuto in acqua e la proporzione di materiali argillosi (nelle zone alterate); la resistività di un granito alterato varia tra $0,2 \div 0,3 \cdot 10^3$ ohm·m, mentre quella del granito integro è superiore a $2 \cdot 10^3$ ohm·m. La decompressione superficiale dei massicci rocciosi produce una notevole diminuzione della velocità delle onde sismiche favorendo l'utilizzo della sismica a rifrazione. Solitamente la profondità della zona alterata è modesta, per cui può essere conveniente e rapido realizzare delle prospezioni sismiche a rifrazione. I metodi gravimetrici e magnetici sono solitamente poco efficaci nell'esplorazione delle acque sotterranee in questo tipo di rocce, così come i rilevamenti geofisici all'interno dei sondaggi (resistività, potenziali spontanei, raggi gamma, ecc.).

Rocce vulcaniche: solitamente i metodi geofisici risultano poco utili per discriminare le zone più permeabili o porose entro un complesso di formazioni vulcaniche, a causa del modesto contrasto delle proprietà elastiche, resistive o magnetiche dei diversi settori di una colata; la prospezione geoelettrica (resistività) ri-

sulta utile nelle zone costiere per localizzare l'interfaccia acqua dolce-acqua salata.

Rocce sedimentarie consolidate: i metodi geofisici consentono di definire la geologia in profondità, ma difficilmente danno indicazioni dirette sulla presenza di acque sotterranee; la conoscenza della geologia dell'area e un efficace coordinamento tra il geofisico ed il geologo risultano particolarmente utili nella definizione del modello idrogeologico dell'area.

Zone carsiche: i metodi tipicamente applicati sono la prospezione geoelettrica (metodo della resistività) e quella sismica (metodo a rifrazione). Entrambe le metodologie sono efficaci per caratterizzare la disposizione degli strati calcarei e dolomitici, se esiste sufficiente contrasto tra le loro proprietà fisiche e quelle delle rocce incassanti; utilizzando congiuntamente le due metodologie geofisiche citate è, ad esempio, possibile caratterizzare la geometria di livelli di alluvioni o di sedimenti poco consolidati posti al di sopra di un ammasso calcareo compatto. La resistività diminuisce molto in presenza di acque ad elevato tenore salino; perciò, la prospezione geoelettrica risulta in quasi tutte le formazioni geologiche un buon procedimento per determinare l'interfaccia acqua dolce-acqua salata negli acquiferi costieri. Occorre sottolineare che per gli affioramenti di rocce carbonatiche, la prospezione geoelettrica può manifestare problemi pratici nel realizzare un buon contatto tra gli elettrodi ed il terreno; altri problemi si manifestano nelle zone di rilievo accidentato, molto frequenti nei calcari. Solitamente queste aree sono caratterizzate da alti valori di resistività, però, talvolta, si hanno zone con valori irregolarmente bassi, dovuti a fessure riempite di materiali argillosi o di acqua ad elevato tenore salino oppure a un certo contenuto di marne, o alti, causati dalla mancanza di fessure o dal fatto che le fessure sono aperte e senza acqua. La velocità di propagazione delle onde sismiche diminuisce in presenza di calcari fratturati, risulta necessario l'utilizzo congiunto di metodi geoelettrici per stabilire se le fratture sono pulite o sigillate da materiali argillosi; inoltre la presenza di calcari marnosi di bassa permeabilità produce una diminuzione sia della velocità di propagazione che della resistività. Concludendo, si osserva che l'utilità dei metodi geofisici nell'esplorazione delle acque sotterranee delle zone carsiche è essenzialmente limitata ad un contributo per la maggiore definizione dell'ammasso carbonatico in profondità; non sempre queste tecniche forniscono indicazioni precise per aumentare la probabilità di ubicare un pozzo con esito positivo. Comunque è auspicabile che gli studi geofisici vengano preceduti, accompagnati e seguiti dagli studi geologici e/o idrogeologici propriamente detti.

3. La geochemica nella prospezione idrogeologica

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee dipendono da svariati fattori: la composizione della roccia serbatoio, fenomeni legati all'interazione acqua-roccia, tempi di residenza nel sottosuolo, temperatura e pressione, fenomeni di mescolamento fra acque a differente chimismo.

Lo studio della chimica delle acque sotterranee è un metodo di prospezione idrogeologica che consente di ricostruire i circuiti, di caratterizzare il bacino di alimentazione, di individuare le aree di alimentazione e drenaggio preferenziali, di risalire alle temperature profonde e di correlare tra loro le varie acque.

È necessario sottolineare che nessun parametro chimico-fisico (preso singolarmente) ha un significato idrogeologico univoco; anche acque circolanti in uno stesso acquifero possono avere caratteristiche fra loro molto diverse a causa di differenti condizioni idrodinamiche esistenti nel sottosuolo; NON è quindi possibile interpretare correttamente i dati idrochimici in assenza di un'approfondita conoscenza idrogeologica del territorio. L'idrogeologo, sulla base delle sue conoscenze, identificherà quali acque analizzare, a che profondità e che specie chimiche indagare.

Le operazioni di analisi sono precedute dalla delicata fase di campionamento, durante la quale il campione dovrà essere prelevato secondo criteri e metodi che ne garantiscano la rappresentatività. In quest'ottica, i parametri chimico-fisici deperibili dovranno essere misurati direttamente sul campo (misure di pH, temperatura, conducibilità, bicarbonato ed altre specie chimiche rapidamente deperibili) e i dati consegnati ai laboratori unitamente ai campioni adeguatamente condizionati.

Non si sottolineerà mai abbastanza che un campionamento eseguito male può stravolgere tutta la seguente interpretazione; la rappresentatività di un campione dipende primariamente dalla piena comprensione di cosa effettivamente si sta campionando e perché. La stesura del programma di campionamento e la supervisione al campionamento stesso non possono essere delegate dall'idrogeologo ad altra professionalità.

In generale, le prospezioni idrogeochimiche vengono eseguite utilizzando quei parametri fisico-chimici che meglio si prestano ad un'interpretazione di carattere idrogeologico. A seconda degli obiettivi dell'indagine i parametri indagati possono essere più o meno numerosi, anzi, in alcuni casi, anche un singolo parametro può essere sufficiente, specie in emergenza, a definire i contorni di una problematica. Si tratta ovviamente di informazioni di carattere preliminare che dovranno in seguito essere integrate ma che possono però fornire la soluzione ad alcuni problemi di carat-

tere applicativo (es. misure speditive di conducibilità elettrica specifica per l'individuazione preliminare della gravità di un'ingressione marina).

Le misure di pH, T, conducibilità, cationi (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^{++}) e anioni (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^-) principali forniscono già un buon livello di informazioni, permettendo la classificazione delle acque¹, le correlazioni e fornendo informazioni sui bacini di alimentazione. A seconda della specifica problematica indagata possono essere utili o necessarie analisi più approfondite con la determinazione di elementi come Fe^{++} , Mn^{++} , NH_4^+ , F^- , B^- , etc. e specifici inquinanti.

I dati ottenuti dalle analisi chimiche possono essere rappresentati in varie maniere, sia con diagrammi, più che sufficienti per risolvere problematiche puntuali, sia con rappresentazioni a curve di isovalori (per i singoli parametri) estremamente utili per confrontare la variazione spaziale di differenti parametri ed evidenziare quindi zone di infiltrazione, zone di inquinamento concentrato, zone di intrusione salina ecc.

Perché le carte di isovalori siano realmente rappresentative della situazione reale è necessario che:

- il campionamento sia stato effettuato a regola d'arte;
- le analisi siano riproducibili;
- i dati utilizzati per la costruzione della carta siano omogenei sia metodologicamente che cronologicamente (senza variazioni legati alla stagionalità).

Tecniche geochimiche particolarmente utili nella prospezione idrogeologica sono i metodi basati sullo studio di traccianti, naturali o artificiali.

Traccianti naturali

Traccianti naturali² sono gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno, nonché gli isotopi di altri elementi che si ritrovano disciolti nelle acque in piccola quantità (Carbonio, Silicio, Zolfo, Azoto, Argon).

Nelle prospezioni idrogeologiche gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno sono i più utilizzati.

Il trizio consente di risalire all'età delle acque mentre con l'ossigeno 18 ed il deuterio è possibile determinare la quota isotopica della zona di ricarica. Ovviamente età e quote possono coincidere con le reali o rappresentare il risultato di mescolamenti che vanno interpretati sulla base delle conoscenze dell'idrogeologia locale e/o regionale e sulla scorta di indagini e rilie-

¹ Particolarmente utili, per l'individuazione ed interpretazione delle relazioni fra acque naturali o antropicamente tracciate, sono i diagrammi classificativi (Piper Hill, Langelier-Ludwig). Essi consentono di comparare i trend evolutivi delle naturali famiglie idrochimiche anche aggirando il problema delle differenti diluizioni, dipendente da differenti condizioni idrologiche stagionali di campionamento.

² Sostanze la cui concentrazione non dipende da fattori di interazione con la roccia serbatoio ma è funzione solo delle caratteristiche dell'acqua di infiltrazione efficace.

vi in situ. Con gli isotopi è inoltre possibile evidenziare i fenomeni di evaporazione, gli scambi isotopici con la roccia serbatoio ad alta T, le interconnessioni tra acque sotterranee e superficiali, i mescolamenti fra acque di bacini diversi.

Traccianti artificiali

I traccianti artificiali sono quelle sostanze che possono essere facilmente immesse e rilevate nelle acque sotterranee al fine di comprenderne i principali aspetti idrodinamici e di determinare alcuni parametri dell'acquifero.

Si utilizzano per riconoscere le comunicazioni sotterranee, per localizzare gli sbocchi sottomarini, per individuare i possibili punti d'immissione di eventuali inquinanti, la loro distribuzione ed i loro tempi di propagazione, per determinare le direzioni principali di flusso delle acque, per calcolare la velocità e la portata delle falde ed infine per determinare permeabilità e trasmissività degli acquiferi.

I traccianti artificiali possono essere solidi che restano in sospensione nell'acqua (granelli di miglio, crusca, calce, amido, spore ecc) o prodotti chimici solubili da coloranti ad elementi radioattivi (cloruri, bicromato di sodio, nitrato di potassio, solfato di manganese, etc.).

La scelta dell'uno o dell'altro tipo di tracciante³ dipende dalle caratteristiche del tracciante in relazione alla problematica da sviluppare ed alla natura litologica dell'acquifero che esso deve attraversare.

In genere i traccianti solidi si utilizzano su percorsi brevi e non in rocce porose dalle quali vengono trattenute, i solubili invece presentano il vantaggio di essere trasportati facilmente anche su lunghi percorsi e di essere individuati con analisi molto semplici.

È importante sottolineare che l'interpretazione delle prove di tracciante artificiale presuppone la conoscenza preventiva, di massima, dell'idrodinamica sotterranea del territorio da studiare nonché quella della natura litologica e mineralogica degli acquiferi (mineralogia e litologia controllano i fenomeni di scambio ionico).

³ Le caratteristiche di un buon tracciante possono essere così sintetizzate:

- ⇒ deve essere totalmente assente o presente in piccolissima concentrazione nelle acque da tracciare;
- ⇒ deve essere facilmente trasportabile;
- ⇒ deve possedere buona solubilità in acqua;
- ⇒ deve essere atossico;
- ⇒ non deve essere suscettibile di fenomeni di assorbimento, scambio, fissazione o decomposizione a contatto con la roccia o con i Sali naturalmente in soluzione,
- ⇒ deve essere possibile utilizzarlo in concentrazioni tali da non modificare l'aspetto abituale dell'acqua;
- ⇒ deve essere facilmente rilevabile, qualitativamente e/o quantitativamente, anche in bassissime concentrazioni, non deve contaminare chimicamente le acque sotterranee per molto tempo in modo da consentire l'eventuale ripetizione della prova.

4. Indagini dirette nella prospezione idrogeologica

La caratterizzazione idrodinamica di specifiche porzioni di sottosuolo, mediante indagini dirette, non si sostituisce in alcun modo alla comprensione del quadro geologico, ma ne costituisce un approfondimento ed affinamento, in genere con validità esclusivamente locale, ma estremamente utile a fini pratici.

L'acquisizione diretta delle caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo è indispensabile e propedeutica alla progettazione di tutti gli interventi antropici potenzialmente interagenti con la risorsa idrica sotterranea sia che tale interazione sia lo specifico scopo dell'opera (emungimento falde idriche ed estrazione fluidi sotterranei, ricarica artificiale delle falde, drenaggi, barriere impermeabili ecc.), sia che l'interazione dell'opera sia solo un effetto collaterale della stessa (opere edilizie e stradali in sottosuolo, urbanizzazioni, installazione di attività potenzialmente inquinanti).

Prove di emungimento, misure piezometriche in pozzi o piezometri, misure di permeabilità superficiali, misure in pozzo o test di laboratorio sono tutti strumenti della prospezione idrogeologica che possono essere efficacemente utilizzati solo se gestiti in un progetto d'indagine mirata che definisca univocamente: obiettivi, entità, metodo e durata di ogni singola prova o misura.

Un progetto d'indagine ben strutturato e basato su una corretta comprensione della geologia, non solo permette di ottenere le informazioni necessarie, ma minimizza costi e tempi di lavoro. Una campagna piezometrica non preventivamente progettata (con ben definiti numero, tipologia, distribuzione dei punti da misurare, tempi e numero di misure da effettuare ecc.) può nel migliore dei casi richiedere tempi di esecuzione molto lunghi e nel peggiore portare a risultati che hanno poco a che vedere con la realtà.

Al di là delle specifiche metodiche di esecuzione di una prova⁴, la difficoltà di una corretta acquisizione

⁴ In linea del tutto generale, per l'acquisizione diretta dei dati idrogeologici non bisogna dimenticare (per evitare errori grossolani) alcune semplici precauzioni:

PIEZOMETRIE. È opportuno:

- indicare sempre la quota assoluta di riferimento per ogni punto di misura e la sua fonte;
- indicare la profondità dei filtri;
- indicare la tipologia del punto di misura (pozzo trivellato, scavato, piezometro, etc.);
- misurare solo pozzi non in emungimento (per i noti fenomeni di perdita di carico all'interno del dreno e del pozzo stesso, nei pozzi in emungimento, ben raramente la quota dell'acqua nel pozzo corrisponde al vertice del cono di depressione).

CARTE PIEZOMETRICHE

- Una consuetudine consolidata prevede l'impiego di interpolazioni con tecniche lineari. È buona norma specificare e giustificare sempre l'eventuale impiego di altre metodiche;
- interpolare solo misure relazionabili ad uno stesso acquifero.

sizione del dato idrogeologico utile è, spesso, strettamente dipendente sia dalla tecnica impiegata che dal periodo in cui è stato acquisito, che dalla conoscenza dell'acquifero di cui è rappresentativo.

La progettazione di campagne di acquisizione dati idrogeologici (anche le più semplici) come una mera prova di emungimento) richiede:

- chiara e preventiva comprensione delle problematiche da indagare;
- conoscenza almeno qualitativa della struttura geologica;
- padronanza delle tecniche esecutive e delle metodologie interpretative.

Vale la pena ricordare che, nell'ambito della prospezione idrogeologica, la lettura di *cutting* e carote da perforazione di pozzi o sondaggi (nonché l'osservazione in cantiere del comportamento della macchina di perforazione) è un momento essenziale e spesso irripetibile, per valutare direttamente la struttura dell'acquifero, la sua composizione mineralogica e granulometrica, presenza, natura ed eventuale cementazione delle matrici, nonché indizi delle interazioni del fluido circolante con la roccia incassante.

5. I modelli matematici

I modelli, considerati nell'accezione più ampia, sono delle rappresentazioni semplificate della realtà: per esempio, una carta stradale è un mezzo per rappresentare un complesso sviluppo di strade in una forma simbolica in modo da rendere possibile la valutazione dei percorsi senza doverlo fare per tentativo ed errore, spostandosi fisicamente sul percorso. In maniera simile, i modelli matematici per le acque sotterranee sono rappresentazioni della realtà e, se correttamente implementati, rappresentano un potente strumento di analisi e previsione, in quanto attraverso le simulazioni è possibile valutare sia l'efficacia di azioni intraprese sulla risorsa, sia la tendenza evolutiva naturale della risorsa stessa. I modelli matematici rappresentano una delle categorie della modellazione; essi si basano sullo sviluppo e la risoluzione del *set* di equazioni che governano il moto delle acque sotterranee. È abbastanza ovvio che la validità di una previsione è direttamente collegata a quanto un modello approssima la realtà ed è quindi critica la scelta delle assunzioni semplificative. Le semplificazioni necessarie per risolvere analiticamente⁵ le equazioni di flusso sono,

PROVE DI EMUNGIMENTO. È opportuno:

- verificare preventivamente i rapporti altimetrici dei boccapozzo fra pozzi in emungimento ed eventuali piezometri;
- durante la prova verificare frequentemente la portata di emungimento.

⁵ Metodi analitici vengono comunemente utilizzati per la parametrizzazione idraulica dei geomateriali mediante prove di

in genere, troppo restrittive (vedi ad esempio mezzo omogeneo ed isotropo) e di validità troppo puntuale; sono state quindi, messe a punto tecniche di risoluzione numerica: elementi finiti e differenze finite.

In entrambi i casi, all'area di studio è sovrapposta una griglia di punti e ad ogni vertice sono assegnate proprietà idrauliche. Mentre nei metodi ad elementi finiti la distribuzione delle proprietà è continua da un vertice all'altro, nei metodi alle differenze finite è discreta; il vertice (nodo) rappresenta un elemento (cubico o a parallelepipedo) all'interno del quale le proprietà attribuite al vertice sono considerate costanti.

I metodi ad elementi finiti possono essere più precisi di quelli a differenze finite, ma soprattutto permettono di modellare più accuratamente fluidi a differente temperatura o densità; d'altro canto, richiedono una distribuzione uniforme e piuttosto fitta di dati, condizione che raramente si verifica nello studio di complessi idrogeologici naturali. I metodi alle differenze finite sono meno versatili ma quasi sempre più che sufficienti per modellare l'andamento qualitativo e quantitativo (bilanci) delle acque, nei volumi di sottosuolo d'interesse, con i dati comunemente a disposizione.

Una delle caratteristiche più utili dei metodi di modellazione numerica è che possono applicarsi sia ad aree molto vaste che ad aree estremamente ristrette; sono quindi particolarmente efficaci sia nella valutazione su area vasta di effetti di interventi che interessano le acque sotterranee che nella valutazione di effetti locali di contaminazione, sovrasfruttamento o altro.

Nell'utilizzo di questi strumenti, particolare attenzione deve essere posta alla qualità dei dati in ingresso, verificabile con la calibrazione, ossia con il confronto, fra quanto calcolato dal modello e quanto si è effettivamente osservato avvenire.

L'analisi statistica dell'andamento spaziale e temporale delle discrepanze calcolato-osservato, fornisce una quantificazione univoca dell'affidabilità e dell'accuratezza del modello.

6. La relazione idrogeologica e la carta idrogeologica

La relazione idrogeologica e la carta idrogeologica sono elaborati che, pur mirati al tipo di progetto da supportare, devono comunque sempre contenere informazioni sulla struttura idrogeologica dell'area in studio: il grado di approfondimento sarà legato a dimensione e scopi del progetto.

In linea generale la relazione idrogeologica dovrà contenere la ricostruzione qualitativa e quantitativa (se del caso) del modello concettuale idrogeologi-

co dell'area, descrivendo geometria e caratteristiche idrauliche degli acquiferi, nonché le loro interrelazioni e le relazioni degli stessi con le acque superficiali.

Più in dettaglio la relazione dovrà contenere:

1. la descrizione delle finalità dello studio idrogeologico e l'ambito normativo all'interno del quale viene effettuato il lavoro;
2. un inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico regionale. L'inquadramento, anche derivato dalla bibliografia, dovrà servire per individuare le condizioni al contorno dell'area in esame. Si dovrà far riferimento alle cartografie ufficiali, motivando sempre eventuali scelte diverse, mettendo in evidenza litostratigrafie e strutture che influiscono sulle situazioni locali;
3. inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico locale dell'area di studio. Dovranno essere presi in considerazione, sempre almeno da bibliografia, i tipi di terreni affioranti e sepolti, le loro caratteristiche geologiche, litologiche ed idrauliche, nonché le strutture locali esistenti e l'idrologia di superficie. Su tali analisi si baserà il piano delle indagini e degli approfondimenti necessari;
4. descrizione delle indagini, delle analisi e dei prelievi eseguiti⁶. A seconda dei casi:
 - rapporto del rilevamento geologico-idrogeologico: descrizione della struttura geologica, idrogeologica e tettonica dell'area di indagine (formazioni, stratificazione, scistosità, faglie, discontinuità) e presenza di frane;
 - descrizione delle eventuali campagne piezometriche;
 - descrizione di eventuali prove di emungimento, prove per la determinazione delle permeabilità dei terreni, prove di tracciamento, prove di portata istantanea per le acque superficiali;
 - descrizione delle eventuali indagini geofisiche eseguite;
 - descrizione dei campionamenti e delle analisi chimiche effettuate ed eventualmente delle analisi isotopiche;
 - descrizione di metodologia per l'eventuale bilancio idrogeologico;
5. valutazioni idrogeologiche: i dati di nuova acquisizione e quelli preesistenti, dovranno essere elaborati in modo da poter fornire:
 - descrizione del percorso dell'acqua nel sottosuolo: dimensione dell'acquifero, direzione di moto dell'acqua e possibile interazione con acque superficiali;
 - relazione tra bacino imbrifero geografico e

emungimento e/o di infiltrazione e per il calcolo dei coefficienti di esaurimento delle sorgenti.

⁶ Dovrà sempre essere spiegata e motivata nel dettaglio la metodologia di lavoro selezionata.

idrogeologico: formazione dei percorsi d'acqua sotterranei⁷, tipo ed efficienza della copertura dell'acquifero;

- descrizione delle emergenze e degli acquiferi superficiali più significativi nel bacino imbrifero e loro breve caratterizzazione in relazione all'area in esame;
- descrizione del rapporto tra i vari acquiferi e le loro interazioni;

A seconda del tipo di progetto a cui lo studio è di supporto:

- descrizione di andamento di portata, temperatura e conducibilità dell'acqua di sorgenti, pozzi o corsi d'acqua e loro variazioni stagionali;
- bilancio idrogeologico;
- valutazione delle caratteristiche chimiche e batteriologiche delle acque sotterranee e/o superficiali su base di campionamenti ripetuti in differenti condizioni climatiche;

6. valutazioni ambientali

A seconda dei casi potrà essere utile inserire valutazioni e proposte per la tutela della risorsa idrica valutando ed elaborando dati sull'utilizzo del suolo nel bacino imbrifero ed individuando eventuali zone di criticità.

La relazione idrogeologica dovrà contenere come allegati le risultanze⁸ dei rilievi effettuati e potrà essere corredata da Carta idrogeologica.

La Carta idrogeologica è la rappresentazione in sintesi planimetrica dei dati bibliografici e dei rilievi effettuati, potrà essere una sola carta oppure corredata da più mappe complementari nel caso la sovrapposizione di un numero elevato di informazioni rischiasse di inficiarne la leggibilità. Complementari alla carta idrogeologica potranno essere, anche, le carte geochimiche.

Nei quaderni serie III, Vol. 5, "Carta idrogeologica d'Italia Scala 1:50.000", il Servizio Geologico nazionale da un'indicazione sui contenuti e sulla rappresentazione della carta idrogeologica (indicando al contempo la simbologia da utilizzare).

Nel caso più generale una carta idrogeologica dovrà contenere:

1. Idrologia di superficie.

Dovranno essere riportati i limiti dei bacini idrografici (primari e secondari) ed i corsi d'acqua (regime temporaneo, stagionale, perenne). Se possibile dovrà essere effettuata una distinzione fra acque derivanti da flusso di base ed acque derivanti da ruscellamento.

2. Idrologia sotterranea:

⁷ Corpi fessurati, corpi porosi; pendenza di: stratificazioni, scistosità, fessurazioni, strati impermeabili, permeabili e semipermeabili.

⁸ Complete di dati di ubicazione e descrizione del metodo impiegato.

⇒ *emergenze di acque sotterranee* (emergenze localizzate, diffuse, subacquee);

⇒ *caratteristiche degli acquiferi*: nella carta idrogeologica potrà essere riportata una configurazione piezometrica⁹ (media annuale o relativa ad un periodo particolare) derivante da misure statiche;

⇒ *caratteristiche idrodinamiche*: sul punto di misura potranno essere indicati i valori dei parametri idraulici (K, T, S).

⇒ *caratteristiche idrochimiche*: tra le caratteristiche idrochimiche vanno segnalate, le sorgenti minerali e termominerali, le emanazioni gassose, l'eventuale limite dell'intrusione marina e la quota dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata.

3. Complessi idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa.

I terreni affioranti verranno suddivisi in complessi idrogeologici¹⁰. La differenziazione tra un complesso ed un altro è data dal grado di permeabilità relativa, indipendentemente dal tipo.

Si possono prevedere quattro diversi gradi di permeabilità¹¹ e distinguere quindi 4 classi:

- *complessi altamente permeabili* AP
- *complessi mediamente permeabili* MP
- *complessi scarsamente permeabili* SP
- *complessi impermeabili* IM

4. Opere artificiali

In carta dovranno essere inserite le opere antropiche finalizzate al prelievo dell'acqua; andranno ubicate:

le captazioni di emergenze, i pozzi e le opere idrauliche principali o significative. Inoltre, dovrà essere rappresentato (anche su carte complementari se necessario) tutto il complesso delle altre informazioni censite, da utilizzare in sede di eventuale bilancio idrogeologico.

5. Aree carsiche.

Se presenti dovranno essere rappresentate le più significative forme carsiche, quali doline, inghiottitoi e grotte. Una particolare simbologia segnala quelle aree carsiche che direttamente o indiretta-

⁹ Dovrà sempre essere indicato il termine temporale di riferimento.

¹⁰ Un complesso idrogeologico può essere definito come l'insieme di termini litologici simili, aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente in comune e un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto (Civita, 1973).

¹¹ I gradi di permeabilità relativa possono essere calcolati sia tenendo conto dei parametri statistici come l'analisi granulometrica, l'indice di fratturazione, l'indice di carsificazione, il rendimento specifico (o deflusso sotterraneo medio annuo, espresso in m³/anno per kmq), sia, in particolar modo, per confronto con altri complessi adiacenti (Civita, 1973).

mente possono favorire una maggiore infiltrazione delle acque meteoriche.

6. Simboli litologici: per completezza di rappresentazione la carta potrà riportare le unità litologiche.
7. Limiti relativi alla cartografia idrogeologica. Qualora si ritengano di significato idrogeologico rilevante, potrà essere opportuno riportare limiti litostratigrafici e tettonici, indicando con diverse simbologie le acque di infiltrazione o le acque sotterranee che attraversano i limiti considerati.
8. Complessi idrogeologici distinti in funzione dell'infiltrazione efficace e/o della trasmissività.

7. Le carte di vulnerabilità

Le carte di vulnerabilità rappresentano un documento fondamentale per gli studi di pianificazione dell'uso del territorio e di tutela dei corpi idrici sotterranei dall'inquinamento. Sono carte derivate che richiedono, per la loro elaborazione, una notevole messe di dati.

La *vulnerabilità intrinseca o naturale* degli acquiferi si definisce come la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato, tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo (Civita, 1987).

La vulnerabilità intrinseca dipende, sostanzialmente, da almeno tre principali processi che si producono all'interno del sistema - sottosuolo esistente al di sotto del punto o/e della zona d'impatto:

– lo *spostamento dell'acqua* (o di un *inquinante fluido o idroportato*) attraverso l'insaturo, sino a raggiungere la superficie piezometrica dell'acquifero soggiacente;

– la *dinamica del flusso* sotterraneo e di un *inquinante fluido o idroportato* nella zona di saturazione dell'acquifero soggiacente;

– la *concentrazione residua di un inquinante fluido o idroportato* al suo arrivo nella zona di saturazione rispetto a quella iniziale, che marca la capacità di attenuazione dell'impatto dell'inquinante del sistema acquifero.

È evidente che la valutazione della vulnerabilità di un acquifero dovrebbe essere effettuata caso per caso, tenendo conto delle caratteristiche fisiche e chimiche di ogni singolo inquinante presente o ragionevolmente prevedibile (o di famiglie di prodotti assimilabili), del tipo di fonte (puntuale, diffusa), dei quantitativi, dei modi e dei tempi di sversamento. Sebbene scientifica-

mente ineccepibile e realizzabile su piccole zone delle quali si vuole valutare il potenziale di inquinamento di un centro di pericolo, un tale intento non ha alcuna praticità quando la valutazione della vulnerabilità viene effettuata per grandi aree, in un'ottica di piano, con lo scopo di *prevenire* l'inquinamento e *proteggere* gli acquiferi e le fonti di approvvigionamento d'acqua destinata al consumo umano.

Negli ultimi decenni sono stati messi a punto ed utilizzati molteplici sistemi d'elaborazione generalizzata dei dati di base normalmente disponibili. Questi sistemi sono molto diversi, a seconda della fisiografia delle zone per i quali sono stati studiati, del numero e della qualità dei dati disponibili e delle finalità degli studi nel cui quadro sono stati sperimentati.

Da un punto di vista essenzialmente tipologico, tali metodologie possono essere suddivise in tre gruppi fondamentali:

- zonazione per aree omogenee (adatto per analisi a grande scala);
- valutazione per sistemi parametrici:
 - sistemi a matrice;
 - sistemi a punteggio semplice;
 - sistemi a punteggi e pesi;
- valutazione per *modelli numerici* (vedi cap. 2.5).

Un'approfondita disamina della problematica è reperibile nelle "Linee guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento", pubblicato da ANPA nel 2001.

¹² Estratto da ANPA, Manuali e linee guida - 4/2001. Linee guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento.

Settori di lavoro

8. Siti inquinati – Discariche

8.1. Discariche

8.1.1. Normativa di riferimento

Le attività di smaltimento trattamento e recupero dei rifiuti sono normate dal D.Lgs. 152/2006 parte IV, ma il principale riferimento normativo nazionale nell'ambito della costruzione e gestione di un impianto di discarica, così come previsto dall'Art. 182, comma 7 di suddetto decreto, è rappresentato dal D.Lgs. 36/2003 "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti". In esso, allo scopo di conseguire le finalità di cui all'articolo 2 del D.Lgs. 22/1997 "Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio", vengono definiti i requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche, misure, procedure e orientamenti tesi a prevenire o a ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente.

Nel D.Lgs. 36/2003 si individuano attività riguardanti l'idrogeologo un po' su tutte le fasi di lavoro inerenti una discarica, da quella di autorizzazione a quella di gestione post-operativa. Tra gli aspetti principali menzionati dal decreto, in cui si fa riferimento ad attività di competenza dell'idrogeologo, si ricorda:

- la descrizione del sito, ivi comprese le caratteristiche *idrogeologiche*, a corredo della domanda di autorizzazione;

- il piano di monitoraggio delle acque sotterranee e superficiali, facente parte del Piano di Sorveglianza e Controllo che, costituito da un documento unitario, si rivolge a tutti i fattori ambientali da controllare nelle varie fasi di realizzazione, gestione e post-chiusura della discarica. I parametri e le periodicità di controllo delle acque sono riportati nelle tabelle 1 e 2 dell'allegato 2 al citato decreto, mentre la scelta dei punti di monitoraggio deve basarsi su considerazioni idrogeologiche che permettano di definire una direzione di flusso rispetto al sito di stoccaggio;

- il quadro di riferimento dell'area e delle zone limitrofe su morfologia, geomorfologia, geologia, *idrogeologia*, da definire nell'ambito del Piano di Ristrutturazione Ambientale del sito di discarica.

Tra la normativa regionale, in materia discariche è di riferimento il DPGR 14/R del 25 febbraio 2004 in cui sono contenute norme tecniche e procedurali per l'esercizio delle funzioni amministrative e di controllo.

8.1.2. Enti competenti ed iter burocratico

L'Ente preposto all'autorizzazione di un impianto di discarica ed al controllo delle attività legate all'impianto stesso, dall'esecuzione alla gestione post-operativa, è individuato nella Provincia competente per territorio.

L'iter burocratico relativo alle varie fasi di autorizzazione, gestione operativa e post-operativa, definito dal DPGR 14/R del 2004, è di riferimento sia per la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento rifiuti sia per varianti sostanziali in corso di esercizio, che comportano modifiche a seguito delle quali gli impianti non sono più conformi all'autorizzazione precedentemente rilasciata; gli interventi che rientrano in situazioni di variante sostanziale vengono definiti all'art. 7 del citato decreto regionale.

Sulla base del progetto definitivo, corredato dei vari elaborati tecnici indicati nell'allegato 1 del DPGR 14/R del 2004, la Provincia competente attiva l'istruttoria di approvazione, avvalendosi, ai fini del rilascio della relativa autorizzazione, della conferenza dei rifiuti prevista dall'articolo 8, comma 2, della L.R. 25/1998, provvedendo all'acquisizione del relativo parere. I termini massimi per l'approvazione del progetto consistono in centocinquanta giorni dalla presentazione della relativa domanda da parte del soggetto interessato.

Con l'approvazione del progetto, la Provincia autorizza la realizzazione delle opere previste. A lavori ultimati, ed a seguito di un sopralluogo volto a verificare la conformità delle opere realizzate rispetto al progetto approvato, la Provincia procede con l'autorizzazione all'esercizio dell'impianto, preventivamente richiesta dal soggetto interessato per mezzo di specifica domanda redatta sulla base del modello riportato nell'allegato 2 del DPGR 14/R del 2004.

Come precedentemente anticipato, anche le funzioni di controllo sulla gestione dei rifiuti sono esercitate dalle province che, secondo quanto disposto dall'articolo 6, comma 1, lettere c) e f), della L.R. 25/1998, si avvalgono dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT).

8.1.3. Indagini idrogeologiche e geochimiche a supporto dei progetti

In primo luogo, le indagini idrogeologiche richieste dalle norme vigenti devono contribuire alla definizione del quadro di compatibilità ambientale del sito da destinare a discarica. Sulla base delle informazioni pregresse e attraverso una loro integrazione con indagini specifiche (sondaggi diretti, indagini geofisiche, rilievi

piezometrici), si giunge ad un quadro idrogeologico in cui si definiscono gli elementi idrostrutturali di rilievo (orizzonte acquifero, substrato e copertura impermeabile, interstrati, eventuali discontinuità tettoniche che influenzano il sistema idrogeologico) e si individuano i principali corpi idrici che insistono nell'area in cui è prevista l'ubicazione dell'impianto di smaltimento. Si procede altresì con test mirati a quantificare la permeabilità dei terreni e/o delle rocce, dettagliando in particolar modo quelli che delimiteranno la discarica. A tal proposito, il D.Lgs. 36/2003, in funzione della tipologia di discarica, fornisce i valori limite di conducibilità idraulica (K) e spessori dei litotipi al disotto ed in prossimità della discarica stessa:

- DISCARICA PER RIFIUTI INERTI - $K \leq 10^{-7}$ m/s e spessore ≥ 1 m;
- DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI: $K \leq 10^{-9}$ m/s e spessore ≥ 1 m;
- DISCARICA PER RIFIUTI PERICOLOSI: $K \leq 10^{-9}$ m/s e spessore ≥ 5 m.

Per determinare i valori di conducibilità idraulica saranno quindi condotte indagini in situ (prove di emungimento, slug test, prove di assorbimento in foro) e/o prove di laboratorio (permeometri, prove edometriche, analisi granulometriche), distribuendo i punti d'indagine in maniera omogenea e significativa sull'area d'interesse.

Altri fattori importanti che condizionano le caratteristiche costruttive del sito di stoccaggio sono i livelli piezometrici e le loro escursioni annue, in particolar modo laddove si hanno acquiferi non confinati e l'isolamento della discarica è garantito esclusivamente da una barriera artificiale e non da una combinazione tra quest'ultima ed una barriera geologica naturale. Di fatto il D.Lgs. 36/2003 stabilisce che:

- nelle discariche per *rifiuti inerti* il piano di imposta di una eventuale barriera di confinamento deve essere posto al di sopra del tetto dell'acquifero confinato o della quota di massima escursione della falda, nel caso di acquifero non confinato, con un franco di almeno 1,5 metri.

- nei casi di discarica per *rifiuti non pericolosi* e di discarica per *rifiuti pericolosi* il piano di imposta dello strato inferiore della barriera di confinamento deve essere posto al di sopra del tetto dell'acquifero confinato con un franco di almeno 1,5 metri, mentre in presenza di un acquifero non confinato si deve rispettare un franco di almeno 2 m rispetto alla quota di massima escursione della falda.

La definizione di questi aspetti richiede necessariamente l'esecuzione di rilievi piezometrici in diverse condizioni di regime idrologico su pozzi e/o piezometri già presenti nella zona, o di neo-costruzione nel caso di una carenza di punti di rilevamento.

Oltre che per determinare i valori assoluti dei livelli di falda nella ristretta area di insediamento della discarica, le misure saranno condotte anche nell'ottica di definire, su un intorno significativo, le caratteristiche morfologiche della superficie piezometrica, in maniera da stabilire in termini idrogeologici un monte ed un valle rispetto al futuro sito di stoccaggio. Ciò è di fondamentale importanza per la definizione della rete di punti su cui si baserà il monitoraggio delle acque sotterranee durante la fase operativa, definizione che è normativamente prevista già in fase di domanda di approvazione dell'intero progetto di discarica. Tale rete, indicata all'interno del Piano di Sorveglianza e Controllo, deve di fatto costituirsi di almeno un pozzo/piezometro a monte della discarica e di almeno due a valle.

Costituisce una condizione per il rilascio dell'autorizzazione di un impianto di discarica anche l'impegno di esecuzione di analisi della qualità delle acque sotterranee preliminarmente all'avviamento dell'impianto stesso. Ciò al fine di poter disporre di un quadro idrochimico iniziale di riferimento che permetta di individuare, una volta avviato l'impianto, eventuali anomalie legate alle attività di stoccaggio rifiuti. I parametri da analizzare in queste campagne preliminari sono tutti quelli riportati in tabella 1 dell'Allegato 2 al D.Lgs. 36/2003, ovvero tutti quei parametri che costituiranno strumento di monitoraggio delle acque dopo l'avvio della discarica.

Durante la fase operativa e post-operativa di una discarica è di fatto previsto un monitoraggio delle acque. In particolare, secondo quanto indicato nelle tabelle 1 e 2 dell'Allegato 2 al decreto, nei punti individuati per il monitoraggio delle acque sotterranee è opportuno:

- rilevare il livello di falda mensilmente durante la fase operativa e semestralmente in fase post-operativa;
- installare una sonda per il rilevamento in continuo del livello della falda in caso di modeste soggiacenze;
- analizzare i parametri chimico-fisici e chimici fondamentali (contrassegnati con un asterisco nella suddetta tabella 1; pH, conducibilità elettrica, cloruri, etc.) ogni tre mesi in fase operativa e ogni sei in fase post-operativa. In caso di valori anomali sui parametri fondamentali, e comunque almeno una volta l'anno, devono essere analizzati anche i restanti parametri della citata tabella (metalli pesanti, solventi, ecc.).

Con le stesse frequenze indicate per le acque sotterranee, il monitoraggio dei parametri chimico-fisici e chimici va eseguito anche per il percolato di discarica, in ciascun punto in cui lo stesso "fuoriesce" dal corpo rifiuti (punti di raccolta), nonché per le acque superficiali almeno in due punti, di cui uno a monte e uno a valle della discarica stessa.

Il D.Lgs. 36/2003 prevede anche che per le acque

sotterranee venga individuato il livello di guardia per i vari inquinanti da sottoporre ad analisi, livello oltre il quale è necessario adottare un piano d'intervento finalizzato a ripristinare le condizioni di qualità precedenti al superamento dei livelli di riferimento. Il decreto indica quali elementi principali di cui tener conto per la determinazione di tale livello, la soggiacenza della falda, le formazioni idrogeologiche specifiche del sito e la qualità delle acque sotterranee, ma non fornisce un preciso procedimento da seguire. Uno dei fattori che incide enormemente sulla definizione dei valori di guardia è senza dubbio il fondo naturale che caratterizza le acque ipogee presenti nell'area in cui si inserisce la discarica. La valutazione dei valori di fondo richiede tuttavia dati statisticamente significativi, mentre nella stragrande maggioranza dei casi, non disponendo di serie storiche, ci dobbiamo basare sul limitato numero di analisi eseguite in occasione della caratterizzazione idrochimica preliminare che deve precedere l'insediamento dell'impianto di smaltimento. Ciò determina, molto spesso, una necessaria revisione dei valori di guardia con il trascorrere del monitoraggio delle acque durante la fase operativa.

Benché il suo utilizzo non sia previsto dalla normativa vigente, un ulteriore strumento geochimico di grande utilità nel monitoraggio dei corpi idrici circostanti i siti di discarica è rappresentato dalle analisi isotopiche, come ben documentato nella letteratura scientifica nazionale ed internazionale. Gli isotopi più frequentemente utilizzati in questo ambito sono quelli della molecola dell'acqua (trizio, deuterio e ossigeno-18) ed il carbonio-13 relativo al carbonio inorganico disciolto in soluzione. Senza entrare nel particolare, è comunque da porre l'attenzione sul fatto che questi isotopi oltre a fornire utili informazioni per definire il quadro generale della circolazione idrica, consentono di individuare molto bene i mescolamenti percolato-acque. Di fatto le elevate differenze tra i contenuti isotopici del refluo di discarica e dei corpi idrici, in particolar modo riscontrate sul trizio (talvolta differenze fino a tre ordini di grandezza), consentono di evidenziare l'eventuale presenza di percolato nelle acque anche in percentuali molto basse (l'1% nei casi più favorevoli all'applicazione del metodo). Questo dettaglio non è assolutamente perseguibile facendo utilizzo dei soli parametri chimici, sia per le minori differenze tra le concentrazioni tipicamente rilevate nei reflui di discarica e nei corpi idrici, sia per i processi di alterazione batterica e chimico-fisica (scambio ionico, precipitazione, ecc.) che le specie chimiche, contrariamente agli isotopi (escluso il ^{13}C), possono subire durante la circolazione nel sottosuolo.

L'inserimento di alcuni parametri isotopici nel monitoraggio costituisce dunque un approccio utile, al

fine di evidenziare con notevole e indispensabile anticipo un *plume* di inquinanti chimici ed organici. In tal senso le analisi isotopiche permettono di rispondere a pieno agli obiettivi della normativa, ovvero, come recita l'Art. 1, comma 1, del D.Lgs. 36/2003, di "...prevenire e ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente, in particolar modo l'inquinamento delle acque superficiali, delle acque sotterranee...".

8.2. Bonifiche dei siti inquinati

Le bonifiche dei siti inquinati rappresentano un importante tema d'interesse ambientale, che negli ultimi anni ha preso molto spazio. Il forte sviluppo delle attività antropiche negli ultimi decenni ha portato ad un lento degrado ambientale di cui soprattutto le falde acquifere ne hanno risentito maggiormente. Molti degli acquiferi presenti all'interno del nostro territorio risultano oggi contaminati e l'acqua estratta deve essere trattata prima di poterla sfruttare. Lo scopo principale delle bonifiche deve essere quello di riportare tutte le condizioni ambientali a com'erano prima dell'evento inquinante, in modo tale da non compromettere la fruizione, in atto o potenziale, della risorsa primaria acqua.

8.2.1. Normativa di riferimento

La problematica relativa alla contaminazione delle falde acquifere, dei suoli ed agli interventi di bonifica è emersa in Italia nella sua reale e significativa consistenza solo negli ultimi 15 anni. Per inquinamento delle acque sotterranee si intende la modifica della natura fisico-chimica di un'acqua di falda dovuta all'immissione esterna di sostanze estranee. Se l'inquinamento è tale da impedire un uso potabile dell'acqua, si impiega il termine di contaminazione. L'emanazione del D.M. 25 ottobre 1999, n. 471 - "*Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del D.Lgs. del 5 febbraio 1997, n° 22, e successive modifiche e integrazioni*" ha finalmente reso disponibile un omogeneo riferimento normativo nel settore, consentendo di superare la frammentarietà di precedenti norme regionali. Nell'ambito bonifiche e siti inquinati prima del 1999 valeva quello che era il D.Lgs. n° 22/97.

Al momento tutte le precedenti normative nazionali sono state raccolte in un unico decreto: D.Lgs. 3 aprile 2006, n.152 - "*Norme in materia ambientale*" (pubblicato nel Supplemento Ordinario n. 96/L alla G.U. n. 88 del 14 aprile 2006) che sostituisce a partire dal 29 aprile 2006 (data della sua entrata in vigore) la maggior parte delle preesistenti norme in materia ambientale, mediante la loro espressa abrogazione. Gli articoli

di riferimento vanno dal 239 al 253 e gli allegati di interesse sono dal n 1 al n 5 della IV parte. La nuova normativa riprende completamente tutto il precedente D.M., aggiungendo di fatto il concetto di analisi di Rischio ambientale e sanitario, espresso nell'allegato 1 della IV parte. Tale analisi servirà a determinare le concentrazioni soglia di rischio CRS, che andranno a costituire i livelli di accettabilità del sito.

Per quanto riguarda le leggi regionali, in Toscana rimane in vigore un decreto del Presidente della Giunta regionale, il DPGR 14/R del 25/02/2004 – “*Regolamento regionale di attuazione ai sensi della lettera e), comma 1, dell’articolo 5 della legge regionale 18 maggio 1998, n. 25 (Norme per la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati), contenente norme tecniche e procedurali per l’esercizio delle funzioni amministrative e di controllo attribuite agli enti locali nelle materie della gestione dei rifiuti e delle bonifiche*” articoli 38 - 65. Tale decreto ribadisce i compiti dei comuni e province già espressi nel D.M. 471/99, definisce l’ARPAT come Ente deputato al controllo del regolare svolgimento della bonifica.

8.2.2. *Enti competenti e iter burocratico*

Con maggiore chiarezza e dettaglio rispetto al vecchio D.Lgs 22/1997, le nuove normative individuano di fatto quattro tipologie di interventi di bonifica, differenziate sia in base alle modalità con cui si è verificato il fenomeno di contaminazione, sia in base ai soggetti obbligati agli interventi di bonifica. In aggiunta a queste tipologie vengono inoltre definite le procedure per la bonifica dei siti di interesse nazionale. Illustriamo adesso i quattro casi previsti:

- Gli interventi di bonifica dei nuovi inquinamenti e di quelli derivanti da incidenti: questa prima tipologia ricalca quanto già previsto dall’articolo 17 del D.Lgs. 22/1997 prevedendo infatti che chiunque cagiona, anche in maniera accidentale, il superamento dei valori di concentrazione limite accettabili o un pericolo concreto ed attuale di superamento degli stessi, è tenuto a darne comunicazione al Comune, alla Provincia ed alla Regione nonché agli organi di controllo ambientale e sanitario entro le quarantotto ore successive all’evento, precisando:

1. Il soggetto responsabile dell’inquinamento o del pericolo di inquinamento ed il proprietario del sito;
2. l’ubicazione e le dimensioni stimate dell’area contaminata o a rischio di inquinamento;
3. i fattori che hanno determinato l’inquinamento od il pericolo di inquinamento;
4. le tipologie e le quantità dei contaminanti immessi o che rischiano di essere immessi nell’ambiente;
5. le componenti ambientali interessate, quali, ad esempio, suolo, corpi idrici, flora, fauna;

6. la stima dell’entità della popolazione a rischio o, se ciò non è possibile, le caratteristiche urbanistiche e territoriali dell’area circostante a quella potenzialmente interessata all’inquinamento.

Viene inoltre ribadito che, entro le quarantotto ore successive, il responsabile della situazione di inquinamento o di pericolo di inquinamento deve comunicare al Comune, alla Provincia ed alla Regione territorialmente competenti gli interventi di messa in sicurezza d’emergenza adottati ed in fase di esecuzione. La comunicazione deve essere accompagnata da idonea documentazione tecnica dalla quale devono risultare le caratteristiche dei suddetti interventi. Entro trenta giorni dal ricevimento della comunicazione di cui sopra il Comune o, se l’inquinamento interessa il territorio di più Comuni, la Regione verificano l’efficacia degli interventi di messa in sicurezza d’emergenza adottati e possono fissare prescrizioni ed interventi integrativi, con particolare riferimento alle misure di monitoraggio da attuare per accertare le condizioni d’inquinamento ed ai controlli da effettuare per verificare l’efficacia degli interventi attuati a protezione della salute pubblica e dell’ambiente circostante.

- Gli interventi di bonifica imposti dagli Enti Pubblici: anche per questa seconda categoria di interventi vengono dettagliati dal D.M. n° 471/1999 e successivo D.Lgs. 152/2006 alcuni procedimenti già contenuti nel D.Lgs. 22/1997 ed in particolare quello secondo cui, qualora l’autorità competente accerti una situazione di pericolo di inquinamento o la presenza di siti nei quali i livelli di inquinamento siano superiori ai valori di concentrazione limite accettabili, deve darne comunicazione alla Regione, alla Provincia ed al Comune. Il Comune, ricevuta la comunicazione di cui sopra, con propria ordinanza diffida il responsabile dell’inquinamento ad adottare i necessari interventi di messa in sicurezza d’emergenza, di bonifica e ripristino ambientale. Tale ordinanza è comunque notificata anche al proprietario del sito, ai sensi e per gli effetti dell’articolo 17 del decreto legislativo del 5 Febbraio 1997 n° 22 e successive modifiche ed integrazioni. Il responsabile dell’inquinamento deve provvedere agli adempimenti necessari entro le quarantotto ore successive alla notifica dell’ordinanza. Se il responsabile dell’inquinamento non sia individuabile o non provveda, e non provveda il proprietario del sito inquinato né altro soggetto interessato, i necessari interventi di messa in sicurezza d’emergenza, di bonifica e di ripristino ambientale, sono adottati dalla Regione o dal Comune ai sensi e per gli effetti degli articoli 9, 10 e 11 del più volte citato decreto legislativo 22/1997.

- Gli interventi di bonifica realizzati per iniziativa degli interessati: questa terza categoria di interventi è stata introdotta in modo esplicito dal D.M. n°471/99,

il quale prevede infatti che, il proprietario del sito o altro soggetto che intenda attivare di propria iniziativa le procedure per gli interventi di messa in sicurezza d'emergenza di bonifica e di ripristino ambientale, è tenuto a comunicare alla Regione, alla Provincia ed al Comune la situazione d'inquinamento rilevata nonché gli eventuali interventi di messa in sicurezza d'emergenza necessari per assicurare la tutela della salute e dell'ambiente adottati ed in fase di esecuzione. La comunicazione deve essere accompagnata da idonea documentazione tecnica dalla quale devono risultare le caratteristiche dei suddetti interventi. Entro trenta giorni dal ricevimento della comunicazione il Comune, se l'inquinamento interessa il territorio di più Comuni, la Regione verificano l'efficacia degli interventi di messa in sicurezza d'emergenza adottati e possono fissare prescrizioni ed interventi integrativi, con particolare riferimento alle misure di monitoraggio da attuare per accertare le condizioni d'inquinamento ed ai controlli da effettuare per verificare l'efficacia degli interventi attuati a protezione della salute pubblica e dell'ambiente circostante.

• Gli interventi di bonifica effettuati da Regioni e Comuni: un'ulteriore categoria individuata, riguarda gli interventi di bonifica ad iniziativa pubblica, infatti viene previsto che gli interventi di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale e le misure di sicurezza siano realizzate dal Comune territorialmente competente e, ove questo non provveda o si tratti di siti che interessano il territorio di più Comuni, dalla Regione, nei seguenti casi:

1. Il responsabile dell'inquinamento non sia individuabile ed il proprietario non provveda;
2. il responsabile dell'inquinamento sia individuabile ma non provveda, né provveda il proprietario del sito da bonificare o altro soggetto interessato;
3. il sito da bonificare sia di proprietà pubblica ed il responsabile dell'inquinamento non sia individuabile o non provveda.

8.2.3. Indagini idrogeologiche geochimiche a supporto dei progetti

L'iter di bonifica espresso dalla normativa vigente per i siti inquinati prevede una progettazione della bonifica secondo approfondimenti tecnici progressivi: piano di caratterizzazione, progetto preliminare e progetto definitivo. È previsto che gli interventi di bonifica e ripristino ambientale e di messa in sicurezza permanente siano effettuati sulla base di apposita progettazione che si articola nei seguenti tre livelli di approfondimenti tecnici progressivi.

Nell'ambito dei siti inquinati un'ottima caratterizzazione dell'area è fondamentale per una buona riuscita della bonifica, infatti la dettagliata conoscenza

della geologia e soprattutto dell'idrogeologia dell'area portano poi ad una corretta scelta del sistema di bonifica da utilizzare, ad un adeguato sistema di campionamento e monitoraggio. L'incaricato della caratterizzazione deve sempre tenere presenti i seguenti punti salienti:

Raccolta e sistemazione dati esistenti o modello concettuale preliminare

Come riportato dal D.Lgs. 152/2006 nell'allegato 2 parte IV il modello concettuale è l'insieme "delle informazioni storiche disponibili prima dell'inizio del piano d'investigazione, condotte nelle varie matrici ambientali nel corso della normale gestione del sito." Una raccolta di tutte le informazioni generali relative al sito da bonificare, all'area circostante possono essere utili per evidenziare possibili problematiche e individuare aree con particolari caratteristiche geologiche e idrogeologiche, potenziali percorsi dell'inquinante ed eventuali recettori.

Rilevamento geologico generale e di dettaglio

Un buon inquadramento geologico è fondamentale per riuscire a capire ed individuare su che formazione è impostato l'eventuale acquifero presente e il relativo grado di permeabilità che possiede.

Ricostruzione dettagliata del sottosuolo

Tramite indagini dirette (sondaggi) e indirette (metodi geofisici) è possibile ricostruire la stratigrafia del sottosuolo ed interpolando i dati puntuali, ricostruire il modello geologico concettuale. Questo permette di individuare la tipologia dell'acquifero, la sua estensione e il suo grado di vulnerabilità.

Inquadramento idrogeologico e ricostruzione piezometrica

Sempre dalla raccolta dei dati dell'area si possono individuare le caratteristiche idrogeologiche generali che verranno integrate con le informazioni di dettaglio ricostruite sul sito. Infatti sarebbe utile realizzare una carta piezometrica generale su pozzi e piezometri già esistenti nell'area in modo da poter pianificare in modo corretto l'esecuzione dei nuovi piezometri, messi così in relazione con il possibile percorso delle specie inquinanti. I nuovi piezometri permetteranno così di controllare il flusso idrico e il gradiente idraulico in qualsiasi momento in modo da individuare eventuali cambiamenti all'interno della falda. Tramite prelievamento di campioni, prove di campagna e prove di portata verranno ricavati i parametri dell'acquifero quali trasmissività T e coefficiente di immagazzinamento S , nonché la permeabilità K della zona satura e di quella non satura in modo da poter scegliere e dimensionare correttamente i vari sistemi di bonifica.

Individuazione della zona contaminata

Con il campionamento delle matrici potenzialmente inquinate (suolo, sottosuolo e acque di falda)

è possibile riuscire a definire l'estensione della zona inquinata. L'ubicazione dei punti di campionamento dovrà essere stabilita seguendo almeno due criteri generali:

- Ubicazione ragionata: la scelta sarà basata su tutte le informazioni che il modello concettuale preliminare e i vari rilevamenti già effettuati hanno fornito;
- Ubicazione sistematica: le informazioni a nostra disposizione sono scarse e insufficienti perciò ci affideremo ad un criterio statistico

Le modalità di campionamento dei terreni e delle acque e le successive analisi chimiche dovranno rispettare ovviamente tutte le specifiche imposte dalla normativa vigente. Una volta definite, sia nel sottosuolo che in falda le zone contaminate, tramite carte delle isocone (curve di ugual concentrazione), sarà fondamentale confrontarle con le carte piezometriche in modo da poter avere un'idea sul reale rapporto che esiste tra flusso idrico e pennacchio inquinante. È necessario ricostruire una carta delle isocrone per ogni specie contaminante presente in falda in modo da poter intervenire in modo differente a seconda dei vari comportamenti e concentrazioni riscontrati. È possibile infatti che si trovino alcune sostanze non idrovesicolate più dense di altre o più dense dell'acqua stessa, che vengono così sempre più influenzate da un gradiente di gravità e meno da quello idraulico, viceversa si possono avere sostanze che "galleggiano" sulla superficie freatica e che possono andare a interagire con la frangia capillare contaminando così nuove porzioni di terreno.

Modello concettuale definitivo

Il modello concettuale definitivo rappresenta lo stadio finale del piano di caratterizzazione, in cui deve apparire chiara l'interazione che esiste tra lo stato di contaminazione delle varie matrici e l'ambiente circostante. Tale modello deve infatti fornire le sostanze chimiche inquinanti di cui si necessita una bonifica, le loro concentrazioni in falda e nel terreno, il loro percorso verso i possibili soggetti a rischio, la reale interazione che esiste tra questi composti e la falda idrica (sono idrovesicolati, sono parzialmente solubili, sono più o meno densi dell'acqua, seguono il gradiente idraulico o quello di gravità ecc.). Si devono avere infine informazioni sul tipo d'inquinamento, se è continuo nel tempo o se si sono verificati uno o più eventi singoli, a quale velocità si muove il/i pennacchio/i inquinante/i ricostruito/i in precedenza e se esistono altre possibili fonti d'inquinamento che possono interagire o hanno interagito con l'attuale situazione monitorata.

All'interno del progetto preliminare è prevista dal D.Lgs. 152/2006 un'Analisi di Rischio tramite la quale si determinano le concentrazioni soglia di rischio (CSR)

che costituiscono i livelli di accettabilità per il sito.

Senza entrare nei dettagli di tale analisi poniamo l'attenzione su quelli che sono i componenti da parametrizzare (allegato 1 parte IV):

- Contaminanti: si dovrà tener conto, come già detto in precedenza delle tipologie e delle loro caratteristiche chimico fisiche, nonché delle mobilità in generale e delle loro persistenze nelle varie matrici ambientali, delle loro correlabilità con le attività svolte nel sito e della loro frequenza con cui superano i valori limiti
- Sorgenti: di esse dovranno essere note geometrie ed estensioni oltre a tutti i punti di perdita che verranno classificati in base alle caratteristiche idrogeologiche dell'area in cui insistono e alle tipologie di sostanze rilasciate
- Vie e modalità di esposizioni: queste rappresentano tutto il percorso che l'inquinante deve fare per arrivare al ricettore o soggetto a rischio, attraversando quindi tutte le possibili matrici presenti: suolo, zona non satura, frangia capillare, zona satura. Determinando le permeabilità sia verticali che orizzontali di queste zone, la porosità efficace, il potere auto-depurativo del terreno, l'infiltrazione efficace, il gradiente idraulico presente nella zona satura è possibile calcolare il tempo di arrivo dalla sorgente al ricettore.

Di fondamentale importanza è l'individuazione del punto di conformità, che "...rappresenta il punto tra sorgente ed il punto di esposizione, dove le concentrazioni delle sostanze contaminanti nelle acque sotterranee devono essere minori delle CSR calcolate con l'analisi di rischio." (D.Lgs 152/2006 parte IV allegato 1).

Nel progetto definitivo rientra la scelta del Sistema di Bonifica da adottare, con la descrizione dell'impianto nei minimi particolari. La scelta del sistema dovrà quindi essere condizionata non solo dall'aspetto economico, ma soprattutto da quello idrogeologico. Infatti l'assetto, la permeabilità, l'estensione dell'acquifero, in relazione alla tipologia delle sostanze che si ritrovano in falda, vengono a costituire punti fondamentali. Una volta scelta la tecnologia più adatta è possibile che si dovranno posizionare i punti di prelievo/iniezione di acqua e aria (*pump and treat, air sparging, soil vapour extraction, dual phase vacuum extraction, bioventing*) e tale ubicazione sarà effettuata in relazione alle carte delle isocone, alla piezometria, alle sorgenti dell'inquinamento, alla posizione dei soggetti a rischio e alla morfologia dell'acquifero.

L'ultima fase che rientra nei processi di bonifica è il Piano di controllo e il Monitoraggio post-operam. Al momento che la bonifica è avviata il sito deve essere tenuto sotto controllo monitorandolo almeno una volta al mese. Infatti devono essere previste campagne di campionamento di acque di falda, ovviamente previo

spurgo dei piezometri o pozzi, rilevamento del livello piezometrico e controllo del sistema di bonifica, in modo da individuare eventuali cambiamenti nell'idrogeologia dell'area e nel relativo tenore di concentrazione degli inquinati.

Le analisi geochimiche che si devono effettuare sono di varia natura e cambiano a seconda del tipo di contaminazione con cui abbiamo a che fare, e si possono realizzare sia in campagna, andando a misurare per esempio pH, temperatura, conducibilità elettrica, potenziale redox, ossigeno disciolto, presenza di COV, nitrati ed altro ancora, sia in laboratorio con una strumentazione adeguata.

9. Viabilità ed infrastrutture lineari

La realizzazione di un'opera viaria comporta delle modificazioni ambientali sia lungo il tracciato, che in un intorno che può essere anche piuttosto esteso.

In tal senso, uno degli aspetti più importanti riguarda certamente le condizioni di circolazione dell'acqua nei mezzi porosi e/o fratturati che vengono interessati dall'opera in costruzione. Le problematiche sono generalmente riconducibili a due aspetti principali: la stabilità dell'opera e le conseguenze che l'intervento provoca sulla circolazione idrica sotterranea. Queste ultime possono riguardare variazioni dei flussi idrici sotterranei, variazioni delle portate, mutamenti del chimismo delle acque, con effetti che possono essere devastanti per l'ambiente e gli ecosistemi, ma anche per opere di approvvigionamento idrico esistenti in un significativo intorno dell'area d'intervento.

Per questo motivo, prima di intraprendere qualsiasi opera, è necessaria una corretta ed approfondita conoscenza del territorio, al fine di metterne in luce le caratteristiche e le problematiche ed acquisire le necessarie conoscenze per tutte le varie fasi di progettazione, che consentano di minimizzare l'impatto ambientale e, in ultima analisi, di ridurre i costi d'intervento.

La normativa in materia di viabilità ed in particolare di opere in sottoterraneo non è particolarmente abbondante. Peraltro, le indagini riguardanti questo tipo di interventi rappresentano il punto di convergenza e di sintesi di gran parte della geologia tecnica e dell'idrogeologia, per cui si dovrà di volta in volta fare riferimento alle normative specifiche riguardanti i vari aspetti che devono essere affrontati nello studio: dai metodi di indagine alla stabilità dei versanti, dalla valutazione dell'impatto ambientale alla qualità delle acque e così via.

Riferimenti sulle opere viarie sono comunque espressi anche dal D.M. LL.PP. 11/03/1988 e succ. Circ. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483, ai punti E (rilevati per strade, ferrovie, aeroporti, etc.), F (gallerie e opere

in sottoterraneo) ed H (fattibilità geotecnica di opere su grandi aree), anche se spesso mantengono un carattere generale senza entrare nello specifico, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici.

I paragrafi che seguono trattano delle indagini idrogeologiche a supporto della progettazione per strade di importanza regionale o superiore; la stessa metodologia d'indagine può essere applicata a progetti di viabilità regionali, provinciali e comunali importanti e con i dovuti adattamenti alla dimensione del progetto, al supporto idrogeologico per la rete viaria minore.

9.1. Normativa di riferimento ed enti competenti

Le nuove viabilità regionali sono definite all'art. 2 del Titolo I del D.Lgs. 285/1992 lettera B "*Strada Extraurbana Principale: strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati, contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi...*", punto 6.B. "*Regionali, quando allacciano i capoluoghi di provincia della stessa regione tra loro o con il capoluogo di regione ovvero allacciano i capoluoghi di provincia o i comuni con la rete statale se ciò è particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale agricolo, turistico e climatico*". Per tale tipologia di strade, in base all'art. 10 del DPGR del 2 agosto 2004, n. 41/R "Regolamento regionale per l'esercizio delle funzioni di competenza regionale in materia di viabilità, ai sensi dell'articolo 22, comma 4, della legge regionale 1 dicembre 1998, n. 88", la verifica della progettazione è di competenza della Regione. In particolare, in detto regolamento si richiama che:

- Art. 6 "Documento preliminare alla progettazione"
- 1. Il documento preliminare alla progettazione, fatti salvi gli elaborati previsti dalla legislazione vigente contiene:

e) conformità urbanistica dell'intervento anche in riferimento alla pericolosità geologica dell'intervento proposto ai sensi della deliberazione del Consiglio regionale 12 febbraio 1985, n. 94 - Direttiva indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica (DPGR n. 26/04/2007);

- Art. 7 "Progettazione preliminare" - 1. Il progetto preliminare, fatti salvi gli elaborati previsti dalla legislazione vigente, dal documento preliminare alla progettazione, contiene:

k) relazione geologica in ottemperanza alla pericolosità geologica di cui alla Del.C.R. 94/1985 (DPGR n. 26/04/2007);

- Art.8 “Progettazione definitiva” - 1. Il progetto definitivo, fatti salvi gli elaborati previsti dalla legislazione vigente e dal progetto preliminare, contiene:

- n) relazione geologica e geotecnica;
- o) planimetria e profili geologici;
- p) indagini geologico-tecniche in ottemperanza alla classe di fattibilità di cui alla Del.C.R. 94/1985, oggi DPGR n. 26/04/2007, ed in linea con le prescrizioni ivi dettate.

La redazione della progettazione dovrà essere in linea anche con quanto espresso dai PTC di riferimento, in particolare modo per ciò che concerne la vulnerabilità degli acquiferi e la salvaguardia della risorsa idrica.

9.2. Indagini idrogeologiche a supporto dei progetti

Il contenuto delle indagini idrogeologiche previste dall’art. 18, punto d), dall’art. 27 e art. 37 del DPR n. 554 del 21 dicembre 1999 “Regolamento di attuazione della Legge quadro in materia di lavori pubblici, 11 febbraio 1994, n. 109, e succ. mod.” si articolerà a seconda del livello della progettazione:

- studio di fattibilità;
- progetto preliminare;
- progetto definitivo;
- progetto esecutivo.

Lo studio di fattibilità dovrebbe essere preceduto da un’indagine preliminare che, in ambito idrogeologico, serve a produrre un primo documento di sintesi, lo studio preliminare, nel quale devono essere evidenziati i problemi e le criticità cui l’opera potrebbe andare incontro. Lo studio dovrebbe essere redatto sulla base della documentazione esistente, eventualmente integrandola con sopralluoghi mirati (Civita, 2005). Lo studio di fattibilità servirà ad integrare le conoscenze acquisite, mediante indagini di vario tipo, in modo da poter redigere il progetto preliminare e, successivamente, il progetto esecutivo. Alla fase di progetto esecutivo, seguirà l’esecuzione effettiva dell’opera.

Le linee guida per condurre una efficace indagine conoscitiva preliminare comprendono, di norma, i seguenti punti relativi ad una prima fase di indagine:

- identificazione plano-altimetrica dei tracciati ipotizzati;
- esame degli elementi geologici ed idrogeologici noti dalla letteratura esistente;
- analisi di foto aeree e levate *remote sensing* disponibili;
- censimento e georeferenziazione dei punti d’acqua presenti nell’area, con particolare riferimento al dominio idrogeologico a monte e a valle dell’opera in progetto;
- raccolta di dati geologici, geognostici, geofisici,

idrogeologici e idrologici presso enti pubblici e privati, studi professionali, società di costruzione, etc., relativi all’area di indagine e alle immediate adiacenze;

In una seconda fase, dovranno essere effettuate:

- misure piezometriche, misure di portata alle eventuali sorgenti della zona e una valutazione preliminare della qualità delle acque sotterranee;
- identificazione della struttura idrogeologica coinvolta nello scavo;
- valutazione preliminare delle risorse idriche potenzialmente drenabili dall’opera.

Tali informazioni permetteranno di avere un quadro conoscitivo mediante il quale delineare il programma di indagini da effettuare nelle fasi successive del progetto.

Elaborati da produrre a livello di studio di fattibilità:

A livello di studio di fattibilità, dovrà essere esaminato un ventaglio di ipotesi di tracciato, con analisi del tracciato prescelto e individuazione delle criticità idrogeologiche sulla base delle informazioni disponibili. Dovrà essere elaborato uno scenario idrogeologico con valutazioni preliminari delle interferenze sulla circolazione idrica. In questa fase, saranno effettuate elaborazioni che, per quanto preliminari e desunte dalle informazioni disponibili, dovranno (Civita, 2005):

- contenere una carta idrogeologica e una sezione geologico-idrogeologica longitudinale con indicazione del tipo e del grado di criticità prevista ipotizzabile per tratti omogenei;
- fornire informazioni in merito a possibili impatti su opere ed attività preesistenti;
- indicare una rosa di siti idonei per lo stoccaggio e le discariche del marino e per l’installazione di grandi cantieri;
- dare informazioni sulla qualità di base delle acque sotterranee.

Elaborati da produrre a livello di progettazione preliminare:

A livello preliminare dovrà essere garantita una serie di indagini, che saranno riportate in una apposita “Relazione Idrogeologica e che possono essere così schematizzate:

rilevamento idrogeologico, telerilevamento, censimento dei punti d’acqua, misure di portata e dei livelli piezometrici a frequenza prestabilita, pianificazione delle indagini invasive e non invasive e delle prove idrodinamiche, prove di tracciamento in acquiferi fratturati e/o carsificati; analisi geochimiche ed isotopiche (tritio, O¹⁸, radon), raccolta e pretrattamento dei dati idrometeorologici, confronto con piani regolatori, vincolo idrogeologico, eventuale ricerca di risorse idriche sostitutive ed integrative. Tali indagini permetteranno di ottenere le seguenti informazioni:

- inquadramento geologico-idrogeologico dell'area tramite il reperimento di tutti i dati di base disponibili: cartografia CARG, Piano Strutturale del Comune, PTC di riferimento, PAI di riferimento, ATO di riferimento, eventuale altra documentazione edita o inedita disponibile;
- redazione di una carta idrogeologica in scala 1:5.000-1:10.000 in cui siano ubicati e censiti i punti di approvvigionamento idrico sia privati che pubblici, in numero sufficiente a consentire una preliminare conoscenza sulla profondità della falda nella zona di intervento, nonché la ricostruzione delle linee isopiezometriche con l'indicazione delle linee di flusso. Tale elaborato cartografico dovrà indicare altresì la permeabilità dei terreni desumibile dalla loro natura litologica e da prove di permeabilità eseguite in sito;
- individuazione di zone e condotte carsiche, sistemi di faglia e frattura;
- preliminare valutazione sull'oscillazione stagionale della tavola d'acqua;
- preliminare valutazione del rapporto tra acque sotterranee e reticolo idrico superficiale;
- individuazione e delimitazione degli acquiferi e valutazione delle principali caratteristiche del/degli acquiferi interessati dall'opera: ricostruzione della circolazione idrica sotterranea, permeabilità dei vari orizzonti acquisita tramite prove in sito, valutazione della trasmissività dell'acquifero, del coefficiente di immagazzinamento e della sua produttività;
- delimitazione delle aree di ricarica e di deflusso;
- installazione di piezometri e prime letture piezometriche;
- preliminare valutazione sul rapporto opera-acquifero, sia dal punto di vista geotecnico e geomorfologico, che in merito alla preservazione qualitativa e quantitativa della risorsa acquifera;
- censimento di tutti i punti di approvvigionamento idrico esistenti, pubblici e privati, al fine di individuare eventuali interferenze tra l'intervento di progetto e le opere di captazione per un intorno significativo rispetto all'opera;
- valutazione preliminare delle conseguenze dell'opera di progetto sui punti di approvvigionamento idrico, con previsione delle variazioni della circolazione idrica;
- indicazione orientativa delle opere propedeutiche alla realizzazione dell'intervento e di quelle necessarie per la mitigazione dell'impatto sulla risorsa acquifera.

Elaborati da produrre a livello di progettazione definitiva. Redazione di una Apposita "Relazione Idrogeologica" contenente:

- redazione di una carta idrogeologica in scala 1:2.000-1:5.000 in cui siano censiti i punti di ap-

provvigionamento idrico sia privati che pubblici, con la misurazione del livello piezometrico sia estivo che invernale per la definizione dell'oscillazione stagionale della tavola d'acqua e ricostruzione delle linee isopiezometriche estive e invernali. Tale elaborato cartografico dovrà indicare altresì la permeabilità dei terreni desumibile sia dalle caratteristiche litologiche che da specifiche prove di permeabilità eseguite in sito;

- definizione del rapporto tra acque sotterranee e reticolo idrico superficiale;
- valutazione delle principali caratteristiche degli acquiferi interessati dall'opera: permeabilità dei terreni acquisita tramite prove in sito, della trasmissività dell'acquifero, del coefficiente di immagazzinamento e produttività;
- confronto tra letture piezometriche eseguite in diversi periodi di tempo;
- analisi sul rapporto opera-acquifero anche in relazione alle caratteristiche geotecniche e geomorfologiche dei terreni interessati dall'opera ed analisi delle probabili modifiche dell'assetto idrogeologico in relazione con la realizzazione dell'intervento ottenuta tramite modellazione dello stato attuale e di quello di progetto;
- definizione delle opere propedeutiche alla realizzazione dell'intervento e di quelle necessarie per la mitigazione dell'impatto; ad esempio: opere di impermeabilizzazione in zone particolarmente vulnerabili, opere di controllo, stoccaggio e trattamento dei reflui in corso d'opera e in gestione;
- effettuazione di analisi chimiche e chimico-fisiche delle acque intercettate anche in relazione ad una loro aggressività verso il calcestruzzo;
- individuazione di aree idonee per lo stoccaggio del marino al fine di evitare fenomeni di inquinamento. Il materiale scaricato può infatti essere costituito da gessi, sali potassici, cloruri, solfuri, rocce amiantifere, etc., che può costituire un centro di pericolo d'inquinamento delle acque superficiali e sotterranee.

Materiale da produrre a livello di Progettazione Esecutiva:

- verifica e controllo delle analisi idrogeologiche condotte attraverso un monitoraggio del livello piezometrico dei sondaggi strumentati e dei pozzi esistenti nell'area;
- monitoraggio delle portate e della qualità delle acque in corso d'opera, in un intorno significativo, con particolare riferimento alle principali caratteristiche chimico-fisiche (temperatura, conducibilità, pH, principali anioni e cationi e possibili agenti inquinanti – oli, idrocarburi, sostanze tossiche, etc.);
- verifica e controllo di eventuali opere propedeutiche alla realizzazione dell'intervento e di quelle

necessarie per la mitigazione del rischio;

- misura in continuo della portata totale drenata dallo scavo e dei singoli punti;
- caratterizzazione idrogeologica del sito prescelto per lo stoccaggio del marino e dei prodotti di scarto, con progettazione di eventuali opere accessorie necessarie all'impermeabilizzazione e alla messa in sicurezza del sito.

Monitoraggio

Il monitoraggio delle acque sotterranee, in termini di analisi delle portate e delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque, deve essere previsto in realtà in tutte le fasi di progetto, sia nell'opera in realizzazione, sia in pozzi, sorgenti e corsi d'acqua di un significativo intorno, da definire a livello di interpretazione geologica e idrogeologica degli acquiferi attraversati: prima dell'inizio dei lavori, per definire lo stato iniziale delle acque e le caratteristiche del sistema idrogeologico, in corso d'opera e dopo la fine dei lavori, per verificare ingerenze dell'opera nel contesto idrogeologico precedentemente definito con riferimento alle prescrizioni vigenti (D.Lgs. 258/2000, D.Lgs. 152/2006).

Controlli in fase di gestione

Ad opera in esercizio, dovrà essere garantito un monitoraggio periodico della qualità delle acque sotterranee (per effetto del dilavamento di sostanze tossiche), nonché un controllo delle opere di drenaggio e impermeabilizzazione realizzate.

Dovrebbe inoltre essere predisposto un sistema di sorveglianza e di allarme nel caso di sversamenti accidentali di sostanze tossiche e nocive.

In merito alle trasformazioni dell'ambiente naturale per effetto dell'opera, si dovrebbe anche prevedere:

- un controllo sui processi di ricostruzione del manto vegetale, con particolare attenzione alla possibile insorgenza di processi erosivi;
- un'azione di controllo sullo stato delle sorgenti, sia in termini di distribuzione temporale delle portate, che di rapporto con le acque superficiali e profonde.

Acque intercettate dallo scavo

In merito alle acque intercettate dall'opera in sottoterraneo in fase di scavo, dovrà essere previsto un opportuno sistema di smaltimento. Peraltro, se le caratteristiche chimico-fisiche non subiranno variazioni sensibili per effetto dell'intervento, dovrebbe essere valutata la possibilità di addurle alla rete acquedottistica, ad un bacino o a zone di ricarica artificiale della falda.

9.2.1. Tratti in galleria ed opere in sottoterraneo

Quando si parla di viabilità, l'impatto ambientale maggiore, almeno per quanto riguarda le caratteristi-

che del sottosuolo, si deve alla realizzazione di gallerie e di manufatti sotterranei.

In generale, lo scavo di un'opera in sottoterraneo costituisce sempre una notevole turbativa delle condizioni idrogeologiche della roccia in un intorno significativo dell'opera. La conseguenza dello scavo si traduce solitamente in venute d'acqua in calotta, dalle pareti e dal fondo dello scavo, più o meno abbondanti in relazione alla permeabilità della roccia scavata e alle disponibilità idriche locali. Dal punto di vista della galleria, la presenza di acqua può comportare problemi di stabilità, con utilizzo di costose opere di impermeabilizzazione e stabilizzazione.

In merito alle caratteristiche ambientali ed idrogeologiche generali, la presenza di una grande cavità sotterranea artificiale comporta drastiche modificazioni della superficie piezometrica, che si manifestano in tempi molto più ridotti e con velocità molto maggiori dei normali fenomeni geologici (Civita, 2005). Tali variazioni possono essere poi differenti, durante o dopo lo scavo: durante lo scavo l'opera rappresenta una grossa via di richiamo e drenaggio delle acque sotterranee; a intervento terminato, l'opera può porsi come uno sbarramento delle acque di sottosuolo, con possibili fenomeni di innalzamento anomalo della piezometrica a monte. Nell'uno e nell'altro caso, si avranno pertanto modifiche sostanziali e irreversibili della circolazione idrica nel sottosuolo, variazioni della portata di sorgenti e pozzi, modifiche del chimismo delle acque (Civita et al., 2002), variazione delle condizioni di stabilità dei versanti (Picarelli et al., 2002), modificazioni sulla vegetazione, variazioni del bilancio idrogeologico a scala di bacino (Gattinoni & Scesi, 2006), etc.

Tale rischio idrogeologico è molto difficile da prevedere e quantificare in fase progettuale, poiché governato da fenomeni complessi caratterizzati da un notevole grado di aleatorietà (Gattinoni & Scesi, 2006), a cui viene associata una generale carenza di dati sul sottosuolo.

Per tali motivi le valutazioni di carattere idrogeologico rivestono un'importanza notevole nelle diverse fasi di progettazione, esecuzione e gestione delle opere in sottoterraneo e devono essere supportate da adeguati studi e indagini che forniscano un quadro il più completo e dettagliato possibile sull'assetto idrogeologico dell'area di scavo e di un suo dintorno significativo. Quando si parla di intorno in idrogeologia, non si deve fare riferimento a una delimitazione meramente geometrica dell'area da indagare, ma va contestualizzata sia al dominio idrogeologico sotteso all'opera in esecuzione, sia al dominio idrogeologico a valle della stessa.

Pertanto, fermi restando gli elaborati già descritti per la viabilità in genere e che dovranno comunque

sempre essere prodotti, per le opere in sotterraneo si rendono necessari degli approfondimenti.

A livello di Progettazione Preliminare le indagini devono permettere l'identificazione e la caratterizzazione dell'idrostruttura attraversata dall'opera in sotterraneo, il calcolo del bilancio idrogeologico del dominio sotteso all'opera in sotterraneo, la caratterizzazione dei vari complessi idrogeologici attraversati, la previsione dei punti di venuta d'acqua e del relativo ordine di grandezza, la conseguente descrizione degli impatti sull'ambiente circostante, il progetto di captazione e adduzione di risorse idriche integrative o sostitutive, il progetto di smaltimento delle acque drenate dall'opera. Oltre alle informazioni già descritte si dovranno definire:

- correlazione tra sistemi di frattura, gradienti topografici e direzioni di flusso;
- identificazione preliminare delle zone a maggior rischio di venute d'acqua;
- previsione dell'influenza delle venute d'acqua in galleria sull'abbassamento piezometrico e sul rischio di subsidenza in aree contigue.

A livello di Progettazione Definitiva gli approfondimenti consisteranno in:

- redazione di una carta idrogeologica e una idrostrutturale in scala 1:2.000-1:5.000, desunte da un rilievo idrogeologico-strutturale di dettaglio;
- caratterizzazione dello scavo per tronchi idrogeologicamente omogenei;
- valutazione del rischio di inquinamento della risorsa idrica per effetto delle operazioni di scavo.

A livello di Progettazione Esecutiva dovranno essere previste molteplici perforazioni lungo l'asse definitivo dell'opera, finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomeccaniche degli ammassi attraversati, delle prove di permeabilità in foro, delle prove di tracciamento, e dovranno essere riportati i progetti delle opere di drenaggio e delle eventuali opere di captazione in galleria, il progetto delle opere di allontanamento delle acque ed il progetto degli interventi di impermeabilizzazione.

9.2.2. *Tratti in rilevato*

Laddove, per la stabilità del rilevato in previsione e per contenerne i cedimenti, sia necessario l'abbattimento della falda freatica, andranno valutate le modifiche apportate all'assetto idrogeologico dell'area ed in particolare alla circolazione idrica, alla portata di pozzi, sorgenti e corsi d'acqua ubicati nell'area di intervento. Nel caso sia necessario prelevare in sito gli inerti necessari alla realizzazione del rilevato, dovrà essere effettuata una accurata caratterizzazione idrogeologica, con valutazione delle conseguenze sulla circolazione e sulla qualità delle acque.

9.2.3. *Tratti in trincea*

Qualora i tagli del versante dovessero intercettare delle vene d'acqua, andrà impostato un sistema per la raccolta e lo smaltimento delle acque sotterranee; sistema che in caso di riutilizzo dell'acqua ne garantisca la salvaguardia quantitativa e qualitativa. Andranno anche valutate le modifiche sull'assetto idrogeologico dell'area e sul regime di eventuali sorgenti, pozzi e corsi d'acqua presenti nell'area, prendendo opportunamente in considerazione eventuali modifiche al tracciato qualora risultasse la non accettabilità delle variazioni imposte alle locali condizioni idrogeologiche. Se si rendessero necessarie opere di drenaggio, dovranno essere valutate le conseguenze sulle modifiche della circolazione idrica dell'area, nonché la raccolta e il recapito delle acque.

9.2.4. *Tratti in viadotto*

Per la realizzazione dei tratti in viadotto che necessitano di fondazioni profonde ravvicinate e che possano creare una sorta di barriera impermeabile intermittente, ne andrà valutato l'effetto sull'assetto idrogeologico in relazione con i punti d'acqua presenti nell'area.

Inoltre, se i pali saranno realizzati in falda, per contenere l'eventuale inquinamento anche temporaneo della risorsa idrica, dovrà essere adottata una tipologia di palo che non preveda l'uso di additivi o componenti potenzialmente, direttamente o indirettamente, inquinanti per l'eventuale fluido di perforazione durante la trivellazione.

10. Ricerca idrica e opere di approvvigionamento idrico

10.1. *Normativa di riferimento*

R.D. 1775/1933 "Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici". Per la captazione delle acque sotterranee è necessario, nelle zone soggette a tutela della pubblica amministrazione, chiedere l'autorizzazione alla ricerca e, successivamente al rinvenimento dell'acqua, la concessione alla derivazione. L'art. 93 del R.D. 1775/1933 sancisce la libertà, per il proprietario di un fondo, anche nelle zone soggette a tutela della pubblica amministrazione e per l'uso domestico, di estrarre ed utilizzare liberamente, anche con mezzi meccanici, le acque sotterranee nel suo fondo, purché osservi le distanze e le cautele prescritte dalla legge. Sono compresi negli usi domestici l'innaffiamento di giardini ed orti inservienti direttamente al proprietario ed alla sua famiglia e l'abbeveraggio del bestiame. Tutte le

norme successive ribadiscono la libertà del pozzo ad uso domestico.

Il **R.D. 2174/1934** (e successivi decreti ministeriali) definisce i territori comunali soggetti a tutela della Pubblica Amministrazione di cui al punto precedente. Con il **D.Lgs. 258/2000** tutto il territorio nazionale è assoggettato a tutela della Pubblica Amministrazione.

L. 464/1984 “Norme per agevolare l’acquisizione da parte del Servizio Geologico Nazionale di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo” definisce l’obbligo di informare il Servizio Geologico Nazionale della esecuzione di “...indagini a mezzo di scavi, pozzi, perforazioni e rilievi geofisici per ricerche idriche o per opere di ingegneria civile, al di sotto di 30 m dal p.c.”, comunicando la localizzazione delle indagini, la stratigrafia dei terreni, etc.

D.M. 11/03/1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce...” punto L, emungimenti da falde idriche. Si applica alle opere ed agli interventi riguardanti l’estrazione di acqua dal sottosuolo. Nel progetto delle opere di emungimento si deve accertare che queste siano compatibili con le caratteristiche dell’acquifero e che eventuali conseguenti cedimenti della superficie del suolo siano compatibili con la stabilità e la funzionalità dei manufatti presenti nella zona interessata dall’emungimento. Il progetto deve stabilire anche i mezzi e le modalità di estrazione, in modo da evitare che con l’acqua venga anche estratto il terreno o la sua frazione più fina.

La **Del.G.R 463/2001** “Disposizioni circa l’adozione di procedure tecnico-amministrative semplificate per il rilascio di concessioni di derivazione di acque pubbliche” introduce delle semplificazioni nelle procedure alla luce delle innovazioni portate dal D.Lgs. 152/1999. Nella delibera regionale è riportato che “La presentazione, entro il termine del 30 giugno 2001, di denuncia di pozzi, ai sensi dell’art. 10 del D.Lgs. 275/1993... equivale alla presentazione della relativa istanza volta ad ottenere il rilascio di concessione preferenziale di cui all’art. 4 del R.D. 1775/1933”; stabilisce che l’istanza volta al rilascio delle nuove concessioni, qualora presuppongano altresì la preventiva ricerca di acque sotterranee, assorba la fase inerente la ricerca stessa; stabilisce che gli uffici competenti, ai fini dell’istruttoria per il rilascio della concessione preferenziale si attengano all’art. 22 del D.Lgs. 152/1999 affinché sia garantito il deflusso minimo vitale nei corpi idrici.

DGRT 225/2003 “Acquisizione del quadro conoscitivo relativo alla qualità delle acque superficiali e a specifica destinazione, ai sensi del D.Lgs. 152/1999 e successive modificazioni. Attuazione della Del.GR 101/2003 (Direttive all’ARPAT per l’attività negli

anni 2003-2005). Nella delibera sono approvati i criteri di individuazione e l’elenco dei corpi idrici significativi superficiali e sotterranei ed il piano di rilevamento dello stato di qualità delle acque superficiali, sotterranee ed a specifica destinazione da attuarsi attraverso misure qualitative e quantitative su reti di monitoraggio opportunamente definite. L’attuazione del piano di monitoraggio è affidata all’Arpat.

D.Lgs. 152/2006 - Norme in materia ambientale. Riunisce in pratica in un unico testo le varie norme ambientali e, nello specifico, anche quelle sulle acque e sugli scarichi e abroga le norme contrarie o incompatibili; per la parte inerente le linee guida sono di interesse le abrogazioni di:

art. 42, comma 3, del R.D. 1775/1933, come modificato dall’art. 8 del D.Lgs. 275/1993; gli artt. 4, 5, 6 e 7 del D.P.R. 236/1988, la L. 183/1989; l’art. 12 del D.Lgs. 275/1993; la L. 36/1994, ad esclusione dell’art. 22, comma 6; il D.Lgs. 152/1999, così come modificato dal D.Lgs. 258/2000.

DPCM del 28/12/2007 (G.U. n. 6 dell’8/01/2008).

Proroga dello stato di emergenza nei territori delle regioni dell’Italia centro settentrionale interessati dalla crisi idrica che sta determinando una situazione di grave pregiudizio agli interessi nazionali.

NORMATIVA RIGUARDANTE IL DECENTRAMENTO DELLE COMPETENZE

DPR 616/1977 “Attuazione della delega di cui all’art. 1 della L. n. 382/1975” Titolo V, Capo IV, art. 90. Trasferisce alle Regioni “Tutte le funzioni relative alla tutela, disciplina e utilizzazione delle risorse idriche...”, in particolare le funzioni concernenti: la ricerca, l’estrazione e l’utilizzazione delle acque sotterranee, ivi comprese le funzioni concernenti la tutela del sistema idrico del sottosuolo (istruttorie eseguite dagli uffici del Genio Civile). Sono riservate allo Stato: la determinazione e la disciplina degli usi delle acque pubbliche anche sotterranee ivi comprese le funzioni relative all’istruttoria e al rilascio delle concessioni di grandi derivazioni (istruttorie eseguite dal Prov. OO. PP.)

D.Lgs. 112/1998 “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli Enti locali...” Titolo III, Capo IV, Risorse idriche e difesa del suolo, art. 89. Conferisce alle regioni e agli enti locali le funzioni relative alla gestione del demanio idrico, ivi comprese tutte le funzioni amministrative relative alle derivazioni di acqua pubblica, alla ricerca, estrazione e utilizzazione delle acque sotterranee, alla tutela del sistema idrico sotterraneo nonché alla determinazione dei canoni di concessione e all’introito dei relativi proventi, fatto salvo quanto disposto dall’art. 29 c.3. Lo Stato definisce obiettivi generali e vincoli specifici per la pianificazione regionale e di

bacino idrografico in materia di utilizzazione delle risorse idriche ai fini energetici, disciplinando altresì le concessioni di grandi derivazioni di acqua pubblica per uso idroelettrico.

L.R. 91/1998 “Norme per la difesa del suolo”.

Trasferimento di competenze alle Province. Competenze riservate alla Regione: sono riservate alla Regione il bilancio idrico e le misure per la pianificazione dell'economia idrica in attuazione della L. 36/1994, nonché la determinazione del canone di concessione per l'utilizzo del demanio idrico e l'introito dei relativi proventi. Sono attribuite alle Province le funzioni amministrative in materia di gestione del demanio idrico, ivi comprese le funzioni relative alle derivazioni di acqua pubblica, alla ricerca, estrazione e utilizzazione delle acque sotterranee, alla tutela del sistema idrico sotterraneo.

L.R. 1/2001 Modifiche all'articolo 14 della LR 91/1998. Sono attribuite alle Province le funzioni amministrative in materia di gestione del demanio idrico, ivi comprese le funzioni relative alle derivazioni di acqua pubblica, alla ricerca, estrazione ed utilizzazione delle acque sotterranee, alla tutela del sistema idrico sotterraneo, nonché la determinazione dei canoni di concessione per l'utilizzo del demanio stesso e l'introito dei relativi proventi. Le Province destinano le risorse introitate a seguito delle concessioni per l'utilizzo del demanio idrico al finanziamento dell'organizzazione dei servizi e degli interventi di tutela delle risorse idriche e dell'assetto idraulico e idrogeologico sulla base delle linee programmatiche di bacino, sentiti gli altri enti locali interessati.

L.R. 29/2007 Norme per l'emergenza idrica per l'anno 2007. Modifiche alla L.R. 91/1998, - Norme per la difesa del suolo. A seguito della dichiarazione dello stato di emergenza idrica, la Regione Toscana con la L.R. 29/2007 inserisce ulteriori modifiche alla L.R. 91/1998, introducendo con l'art. 12 bis 1 “Disposizioni regionali per la riduzione e l'ottimizzazione dei consumi di acqua erogata per usi diversi da quello idropotabile”, l'emanazione di un Regolamento finalizzato alla riduzione dei consumi da parte dei soggetti che utilizzano acque a scopi diversi da quelli idropotabili, con particolare riferimento agli usi irrigui e produttivi. Il regolamento persegue la riduzione dei consumi, la tutela della risorsa, la prevenzione delle crisi idriche, anche incidendo sulle concessioni di derivazione e sui relativi canoni; definisce i criteri per la costituzione di riserve di acqua e per il riutilizzo delle acque. Viene inoltre inserito l'art. 14 bis “Piano provinciale per la gestione sostenibile degli usi della risorsa idrica”, con il quale le Province sono chiamate a predisporre un piano di regolazione degli usi delle acque superficiali e sotterranee, finalizzato a garantire un'equilibrata

distribuzione della risorsa disponibile, tenuto conto di quanto stabilito dall'Autorità di Bacino ai sensi degli artt. 65 e 145 del D.Lgs. 152/2006, degli indirizzi, degli obiettivi e delle misure definite dal piano di tutela delle acque (PTA), nonché delle esigenze idropotabili, ambientali e produttivi del territorio di riferimento.

10.2. Enti competenti

La complessa evoluzione legislativa statale e regionale all'origine della quale vi è il R.D. 1775/1933, ha visto le sue tappe salienti in primo luogo nella delega alle Regioni ai sensi dell'art. 90 del D.P.R. 616/1977 (in attuazione della Legge 382/1975) delle funzioni relative, tra l'altro, alla disciplina ed utilizzazione delle risorse idriche; successivamente nella attribuzione alle Province ed ai Comuni ed agli altri Enti locali ai sensi dell'art. 4 della L. 59/1997, di “tutte le funzioni che non richiedono l'unitario esercizio a livello regionale”; poi nel conferimento delle funzioni amministrative alle Regioni ed agli Enti locali in materia, tra l'altro, di agricoltura, foreste, pesca, agriturismo, caccia, sviluppo rurale ed alimentazione ai sensi dell'art. 1 del D.Lgs. 4 giugno 1997 n. 143, funzioni attribuite infine alle Province ed alle Comunità Montane ai sensi dell'art. 1 della L.R. 9/1998.

È da rilevare che tale conferimento appare caratterizzato dalla permanenza delle acque sotterranee e superficiali al Demanio dello Stato (art. 1, D.P.R. 18 febbraio 1999 n. 238, di approvazione del regolamento di attuazione della L. 36/1994), e dal trasferimento alle Regioni dagli Enti locali delle funzioni relative dalla gestione del Demanio Idrico ed alla determinazione dei canoni di concessione e al loro incasso ai sensi del D.Lgs. 112/1998, funzioni, come sopra detto, poi trasferite alle Province ai sensi della legge regionale n. 9/1998, in tal senso modificata dalla L.R. n. 1/2001.

La prima questione che si pone è quella relativa alla ammissibilità, in linea di principio, di *difformità* nelle diverse discipline della gestione del Demanio Idrico da parte delle Province, e dalla legittimità di tali *difformità* tanto dei procedimenti quanto delle discipline sostanziali che le Province stanno emanando.

A tale proposito si può osservare che linee guida del trasferimento di funzioni, sono individuabili nell'art. 4 della Legge n. 59/1997 alla quale deve essere attribuito l'inizio del procedimento di devoluzione delle funzioni degli Enti locali tuttora in corso, e che limitano il trasferimento da parte delle Regioni alle Province e ai Comuni ed in genere agli altri Enti locali, di “tutte le funzioni che non richiedono l'unitario esercizio a livello regionale”. È vero che tale trasferimento è avvenuto prima ancora che per disposizione regionale, per disposizione del D.Lgs. 143/1997, ma sta di fatto che l'attuazione dell'art. 4 della L. 59/1997

implica necessariamente la valorizzazione dell'autonomia degli Enti locali ed in questo caso delle Province come Enti che il legislatore regionale presume essere in grado di adeguare la disciplina dell'esercizio delle funzioni trasferite, alle peculiarità sociali e territoriali del comprensorio di loro appartenenza, in attuazione del "principio di autonomia organizzativa regolamentare e di responsabilità degli Enti locali nell'esercizio delle funzioni e dei compiti amministrativi ad essi conferiti" (così art. 4 cit. comma 3 lett. L della Legge n. 59/1997).

Ne consegue che eventuali difformità nella disciplina delle concessioni per l'autorizzazione delle risorse idriche, appaiono scontate, dato il decentramento e localizzazione di tale disciplina.

Non risulta che la Regione Toscana abbia emanato provvedimenti indicativi di principi generali nella attuazione del decentramento; ne consegue che le diverse discipline provinciali dovranno essere valutate non confrontandole una con l'altra, ma confrontando singolarmente ognuna di esse con i principi che presiedono all'uso delle risorse idriche ed in particolare con l'art. 93 per quanto concerne la utilizzazione dell'acqua per gli usi domestici, così come confermato dall'art. 28 della L. 36/1994 (comma 5) che, richiamando l'art. 93 del T.U. 1775/1933, precisa altresì che tale disciplina è confermata e deve essere tuttora attuata "purché (l'utilizzazione) non comprometta l'equilibrio del bilancio idrico di cui all'art. 3".

Al momento della redazione del presente documento, è in corso la stesura da parte della Regione Toscana del Regolamento previsto dall'articolo 12bis della L.R. 91/1998 "Norme per la difesa del suolo, così modificata dalla L.R. 29/2007". Tale regolamento detterà disposizioni per garantire la riduzione dei consumi della risorsa idrica in generale, la tutela della risorsa idrica e la prevenzione delle crisi idriche.

Comuni

Dal punto di vista estremamente cautelativo nei riguardi delle risorse geologiche del territorio (protezione naturale delle falde idriche e loro stato quali-quantitativo) la realizzazione di un pozzo può essere vista quale opera di trasformazione urbanistica che incide sulle risorse essenziali del territorio, ai sensi della L. 10/1977 e L.R. 52/1999. Molti Comuni, su questi presupposti e pur riconoscendo per la realizzazione del pozzo la procedura semplificata della D.I.A. (dichiarazione di inizio attività) o comunque della semplice autorizzazione, hanno previsto per l'intervento edilizio del pozzo una disciplina specifica all'interno del Regolamento Edilizio Comunale.

È importante notare che la competenza comunale sull'opera pozzo, in quanto trasformazione permanente del territorio, è indipendente dal regime dei prelievi

idrici attuati e può essere applicata, preventivamente, anche ai pozzi di uso domestico ex art. 93 del T.U. 1775/1933, trascurati, invece, sotto il profilo quantitativo dagli istituti normativi in materia di concessione di acqua pubblica. La competenza, in analogia con altri interventi edilizi, può riguardare specificatamente i requisiti tecnologici propri dell'opera ai fini della Sicurezza, Salubrità e dell'Igiene Pubblica e del Territorio.

A seconda delle condizioni di vulnerabilità idrogeologica locale e considerati anche i possibili rischi di inquinamento accidentale della falda per la vicina presenza di centri di pericolo, le indicazioni dei Regolamenti Edilizi Comunali (R.E.C.) potranno prescrivere, ad esempio:

- ⇒ impermeabilizzazione superficiale dalle acque vadose e di ruscellamento.
- ⇒ ricostituzione tramite opportuni tamponi impermeabili degli strati acquiclude di separazione dei sistemi multifalda.
- ⇒ accorgimenti tecnici per il controllo piezometrico ed il campionamento dall'esterno di eventuali fasi separate.

Ai fini dello snellimento delle procedure, nei casi dove il Comune si dichiara attraverso il proprio S.U. competente in materia, possono essere gli stessi proponenti a richiedere attraverso i Comuni stessi o gli sportelli unici laddove istituiti, ai sensi dell'art. 11, ultimo comma, della L.R. 52/1999, pareri preventivi sui lavori edilizi, all'avvio dei procedimenti amministrativi in oggetto.

Come prescritto dall'art. 65 della L.R. 1/2003, dal 1/1/2004 decorre il termine da cui ha avuto inizio da parte dei Comuni, l'esercizio delle funzioni in materia di vincolo idrogeologico.

In attuazione al nuovo Regolamento Forestale della Toscana (DPGR 48/R del 8/8/2003), sono state trasferite dalle Province ai Comuni, le competenze relative alla trasformazione della destinazione d'uso dei terreni a seguito della realizzazione di manufatti edilizi o opere di movimento terra, che possano alterare la stabilità dei versanti o la regimazione delle acque. In particolare nei terreni sottoposti a vincolo idrogeologico, la realizzazione di un pozzo è sottoposta a procedura di autorizzazione (art. 74, punto 4, comma d).

Province

A partire dal 10 agosto 1999, per fare un pozzo ad uso diverso dal domestico occorre richiedere alla Regione Toscana (e per passaggio di competenze dal 01/07/2001 alle Province) l'autorizzazione alla ricerca per la realizzazione di un pozzo, e successivamente la richiesta di concessione di derivazione per l'utilizzo.

Le province assumono pertanto tutti i provvedimenti relativi alle concessioni di acqua pubblica, ed in particolare i seguenti:

- rilascio, diniego, controllo, rinnovo e modifica della concessione;
- revoca e decadenza della concessione;
- sospensione temporanea dell'esercizio della concessione;
- presa d'atto della rinuncia alla concessione;
- modifica della titolarità della concessione;
- verifica degli utilizzi domestici di acque sotterranee e sorgentizie.

Ogni Provincia può proporre un proprio regolamento che disciplini qualsiasi approvvigionamento di acqua pubblica da corpo idrico superficiale naturale o artificiale, da acque sotterranee e sorgive nonché, in casi specifici, l'estrazione e l'utilizzazione da parte del proprietario del fondo di acque sotterranee destinate all'uso domestico.

ARPAT

ARPAT, in quanto struttura agenziale, non ha competenze amministrative dirette sul procedimento istruttorio per la realizzazione di pozzi.

Ai sensi dell'art. 8, comma 1, lett. b3 della L.R. 66/1995, le autorità competenti al rilascio di concessioni, autorizzazioni, pareri o atti di consenso, comunque denominati, possono avvalersi dell'ARPAT per lo svolgimento dell'istruttoria tecnica delle domande ed il rilascio di pareri tecnici, sotto ogni aspetto ambientale. Nella prassi si rileva la frequente richiesta, da parte dei Comuni, di supporto istruttorio e rilascio di pareri tecnici dell'ARPAT, nell'ambito dei procedimenti di natura edilizia e tra questi la realizzazione del pozzo quando disciplinata dal Regolamento Edilizio Comunale.

L'intervento di ARPAT è oneroso, secondo le tariffe di cui alla Tab. 4 del Tariffario per le prestazioni fornite dall'Agenzia nei confronti di terzi, di cui alla Del.G.R. del 23/11/1998, n. 1438, così come modificata ed integrata con Del.G.R. del 11/01/2000, n. 14.

Oltre alle verifiche di rito e correnti sulla documentazione tecnica, ARPAT, entra più spesso in merito a problematiche ambientali legate alla realizzazione del pozzo, riportate anche al paragrafo 3.3.6, e riferibili a:

RIFIUTI - SCARICHI: la problematica e gli impatti dello scarico diretto nel reticolo superficiale del fluido di perforazione possono essere stati in molti casi sottovalutati. Lo scarico, nei casi più notevoli e quando ad esempio contaminato da additivi schiumogeni, dovrebbe essere autorizzato pur trattandosi di cantiere temporaneo ai sensi del Dlgs 152/2006. In alternativa, i fluidi dovrebbero essere raccolti in vasca a tenuta per poi essere smaltiti/riutilizzati come rifiuto.

PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI: ai fini della preservazione delle condizioni di protezione naturale dei sistemi acquiferi di profondità è necessario che il pozzo, in quanto opera di trasformazione territoriale, e quindi indipendentemente dall'emungimento e del tipo

di concessione, sia realizzato con tutti i requisiti e gli accorgimenti tecnici del caso. Oltre alla impermeabilizzazione e separazione dal sistema delle acque superficiali, vadose e di ruscellamento, può essere richiesta la separazione anche di livelli acquiferi profondi riferibili a sistemi multifalda. Da notare che mancando, ad oggi, un'identificazione e definizione condivisa di tali sistemi idrici sul territorio l'applicazione della prescrizione può dar luogo a contenziosi.

AREE DI SALVAGUARDIA: normalmente l'ARPAT, spesso di concerto con il competente Dipartimento ASL, provvede alla verifica della rispondenza delle aree di salvaguardia proposte. Si ricorda che dal punto di vista normativo le aree di salvaguardia sono applicate alle captazioni di acque destinate al consumo umano erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse, per le quali le Regioni devono individuare, ai sensi del comma 1 dell'art. 94 del D.Lgs 152/2006, le aree di salvaguardia distinte in zona di tutela assoluta, di rispetto e zone di protezione. In assenza della individuazione da parte delle regioni la zona di rispetto ha un raggio di 200 m, nella quale valgono i vincoli elencati al comma 4. Per gli approvvigionamenti diversi da quelli sopra richiamati le Autorità competenti dovranno impartire, caso per caso, le prescrizioni necessarie per la conservazione e la tutela delle acque destinate al consumo umano.

Autorità di Bacino

I principali compiti assegnati alle Autorità di Bacino (AdB), in materia di risorsa idrica, dalle normative vigenti nazionali sono:

- definizione ed aggiornamento del bilancio idrico (L. 36/1994 e D.lgs. 152/1999, superati dal D.Lgs. 152/2006);

- parere sulle domande di concessione idrica relative sia alle piccole che alle grandi derivazioni (R.D. 1775/1993 così come modificato da D.Lgs. 275/1993 e smi (D.Lgs. 152/2006);

- individuazione degli obiettivi, relativamente alla protezione degli aspetti qualitativi e quantitativi delle risorse idriche, e le priorità degli interventi, cui i piani di tutela delle acque devono attenersi (D.Lgs. 152/2006).

Bilancio idrico e Deflusso Minimo Vitale (DMV): le attività di programmazione, pianificazione e attuazione (a livello di bacino idrografico) degli interventi curano in particolare la razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde, con un'efficiente rete idraulica, irrigua ed idrica garantendo, comunque, che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sottesi nonché la pulizia delle acque (art. 3, L. 183/1989).

All'AdB compete la definizione e l'aggiornamento periodico del bilancio idrico del bacino (art.

145, D.Lgs. n. 152/2006). Il bilancio globale idrico, preordinato alla definizione dei trasferimenti d'acqua, è effettuato sulla base delle informazioni contenute nei singoli bilanci idrici determinati dalle competenti AdB (DPCM 04/03/1996 - criteri ed indirizzi per la programmazione dei trasferimenti d'acqua per il consumo umano. Nei piani di tutela sono adottate le misure volte ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrico come definito dall'AdB, nel rispetto delle priorità della Legge 5 gennaio 1994, n. 36, e tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, del minimo deflusso vitale, della capacità di ravvenamento della falda e delle destinazioni d'uso della risorsa compatibili con le relative caratteristiche qualitative e quantitative. (art. 95, c. 2, D.Lgs. 152/2006). Il Ministro dei Lavori Pubblici provvede entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto a definire, di concerto con gli altri Ministri competenti e previa intesa con la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano, le linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale (art. 22, c. 4, D.Lgs. 152/1999) sono state emanate con D.M. 28 luglio 2004.

Utilizzazioni delle acque pubbliche (derivazioni, attingimenti, prelievi): le AdB adottano i criteri, cui le regioni devono attenersi, per definire gli obblighi di installazione e manutenzione di dispositivi per la misurazione delle portate e dei volumi d'acqua pubblica derivati, in corrispondenza dei punti di prelievo e di restituzione. I risultati delle misurazioni devono essere inoltrati dall'Autorità concedente alla regione ed alle AdB competenti, (art. 95, c. 3, D.Lgs. 152/2006). Tutte le derivazioni di acqua comunque in atto sono regolate dall'Autorità concedente mediante la previsione di rilasci volti a garantire il minimo deflusso vitale nei corpi idrici come previsto dall'articolo 95, comma 4 del D.Lgs. 152/2006, senza che ciò possa dar luogo alla corresponsione di indennizzi da parte della pubblica amministrazione, fatta salva la relativa riduzione del canone demaniale di concessione. Le domande relative sia alle grandi sia alle piccole derivazioni sono trasmesse alle AdB che, entro 40 giorni dalla ricezione, comunicano il proprio parere all'ufficio istruttore in ordine alla compatibilità della utilizzazione con le previsioni del piano di tutela e, anche in attesa di approvazione dello stesso, ai fini del controllo sull'equilibrio del bilancio idrico. Decorso tale termine senza che sia intervenuta alcuna pronuncia, non c'è più il silenzio assenso – vedi art. 96 D.Lgs. 152/2006 (art. 7, R.D. 1775/1933, mod. D.Lgs. 275/1993). Il provvedimento di concessione tiene conto del minimo deflusso costante vitale da assicurare nei corsi d'acqua, ove de-

finito, delle esigenze di tutela della qualità e dell'equilibrio stagionale del corpo idrico, delle opportunità di risparmio, riutilizzo e riciclo della risorsa, adottando le disposizioni del caso anche come criteri informativi del relativo disciplinare. Analogamente si provvede, nei casi di prelievo da falda, per quelle disposizioni di carattere cautelare atte a garantire l'equilibrio tra il prelievo e la capacità di ricarica naturale dell'acquifero, ad evitare pericoli di intrusione di acque salate o inquinate e per quant'altro sia utile in funzione del controllo per il miglior regime delle acque (art. 12bis, R.D. 1775/1933, mod. D.Lgs. 275/1993). Nel provvedimento di concessione preferenziale, rilasciato ai sensi dell'articolo 4 del R.D. 1775/1933 (c), sono previsti i rilasci volti a garantire il minimo deflusso vitale nei corpi idrici e le prescrizioni necessarie ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrico (art. 95, comma 6, D.Lgs. 152/2006). Nei bacini idrografici caratterizzati da consistenti prelievi o da trasferimenti sia a valle che oltre la linea di displuvio, le derivazioni sono regolate in modo da garantire il livello di deflusso necessario alla vita negli alvei sottesi e tale da non danneggiare gli equilibri degli ecosistemi interessati” (comma 3, art. 145, D.Lgs. 152/2006). Le licenze per l'attingimento di acqua pubblica, per i corpi idrici superficiali, sono concesse purché non siano alterate le condizioni del corso d'acqua con pericolo per le utenze esistenti e sia salvaguardato il minimo deflusso costante vitale del corso d'acqua, ove definito (Art.56, R.D. 1775/1933). Le regioni, sentite le AdB, disciplinano forme di regolazione dei prelievi delle acque sotterranee per gli usi domestici, laddove sia necessario garantire l'equilibrio del bilancio idrico (art. 96, c. 11, D.Lgs. 152/2006).

Equilibrio del bilancio idrico: l'AdB competente definisce ed aggiorna periodicamente in bilancio idrico diretto ad assicurare l'equilibrio fra le disponibilità di risorse reperibili o attivabili nell'area di riferimento ed i fabbisogni per i diversi usi; per assicurare l'equilibrio tra risorse e fabbisogni, l'AdB competente adotta, per quanto di competenza, le misure per la pianificazione dell'economia idrica in funzione degli usi cui sono destinate le risorse. (commi 1 e 2 dell'art. 145, D.Lgs. 152/2006). In aggiunta ai compiti assegnati alle AdB dalla legislazione nazionale vigente ci sono quelli derivanti alla pianificazione di bacino. Per quanto riguarda l'AdB dell'Arno, si ricorda il piano stralcio “Qualità delle acque” (DPCM del 31/03/1999), con particolare riferimento alle norme 3, 6, 8 e il progetto di piano Bilancio idrico con relative misure di salvaguardia.

10.3. Procedure autorizzative e concessorie per pozzi

10.3.1. Pozzi uso domestico: definizione e procedure

Dall'entrata in vigore del DPR 238/1999 che a seguito della Legge Galli (L. 36/1994) ha dichiarato pubbliche tutte le acque superficiali e sotterranee a partire dalla data del 10 agosto 1999, tutti i prelievi idrici effettuati da corpi idrici superficiali e sotterranei sono soggetti al rilascio di autorizzazioni secondo le procedure previste dal T.U. sulle acque di cui al R.D. 1775/1933.

Queste normative hanno costituito, per le molte Province che non avevano presenti sul loro territorio acque sotterranee dichiarate pubbliche, un profondo cambiamento di abitudini e consuetudini, soprattutto per quanto concerne lo sfruttamento delle acque sotterranee attraverso la perforazione di pozzi.

Per eseguire un pozzo adibito a qualsiasi uso occorre soltanto (e molte volte non era neanche richiesta) un'autorizzazione comunale, non potendosi applicare le procedure relative al T.U. sulle acque di cui al R.D. 1775/1933. Quindi, a partire dal 10 agosto 1999, per fare un pozzo ad uso diverso dal domestico occorre richiedere alla Regione Toscana (e per passaggio di competenze dal 01/07/2001 alle Province) l'autorizzazione alla ricerca per l'esecuzione del pozzo, e quindi la richiesta di concessione di derivazione per l'utilizzo.

Diversamente per i pozzi ad uso domestico continua a valere l'art. 93 del T.U. 1775/1933 che recita: "art. 93. Il proprietario di un fondo, anche nelle zone soggette a tutela della pubblica amministrazione, a norma degli articoli seguenti, ha facoltà, per gli usi domestici, di estrarre ed utilizzare liberamente, anche con mezzi meccanici, le acque sotterranee nel suo fondo, purché osservi le distanze e le cautele prescritte dalla legge. Sono compresi negli usi domestici l'innaffiamento di giardini ed orti inservienti direttamente al proprietario ed alla sua famiglia e l'abbeveraggio del bestiame". Tale facoltà non è mai stata abrogata ed è stata, anzi, esplicitamente confermata dalle successive normative.

L'estrazione ed utilizzazione ad uso domestico da parte del proprietario del fondo delle acque sotterranee e delle acque sorgenti è libera e non soggetta al pagamento dei canoni di concessione. L'iter autorizzativo per la realizzazione di nuovi pozzi è estremamente semplificato: è richiesta la denuncia, secondo appositi moduli, di perforazione avvenuta ed in alcune Province, preventiva comunicazione, specificando la località di intervento e il tipo di lavori previsti.

In aree sottoposte a tutela da disposizioni legislative regionali, da disposizioni particolari dell'Amministrazione Provinciale, delle AdB o degli Enti Parco, l'estrazione e utilizzazione ad uso domestico di acque sotterranee è soggetta alla disciplina relativa alla ricerca di acque sotterranee nonché alle limitazioni eventualmente previste dai Piani di tutela o dalle disposizioni cautelative.

La differenza di iter fra pozzi ad uso domestico e non domestico impone di trovare una univoca interpretazione di "uso domestico", onde evitare di incorrere in equivoci che poi si traducono in sanzioni per prelievi idrici non autorizzati. Riportiamo di seguito le interpretazioni di tre province:

LUCCA: "Uso domestico: utilizzazione di acqua destinata all'uso igienico e potabile, all'innaffiamento di orti e giardini, all'abbeveraggio del bestiame, purché tali usi siano destinati al nucleo familiare e non configurino un'attività economico-produttiva o con finalità di lucro".

AREZZO: "Per uso domestico si intende quello relativo alla utilizzazione dell'acqua da parte del proprietario del fondo (o altro utilizzatore) esclusivamente per i bisogni igienico-potabili della famiglia nonché per l'abbeveraggio del bestiame e innaffiamento di giardini e orti afferenti il medesimo proprietario-utilizzatore e i suoi familiari. Non sono pertanto classificabili come uso domestico le utilizzazioni di acque sotterranee destinate a imprese produttive e a coltivazioni o allevamenti i cui prodotti finali siano oggetto di commercializzazione e di vendita, né gli approvvigionamenti idropotabili a servizio di comunità (attività turistico alberghiere, agriturismo) o gestiti da enti pubblici e consorzi vari di gestione degli acquedotti." Sono inoltre assimilati all'uso domestico i seguenti casi: "fabbricati contigui, formati da massimo cinque unità abitative, approvvigionati per gli usi igienico-potabili da un pozzo o sorgente della stessa proprietà" e "associazioni, comitati, fondazioni o altri enti di carattere privato che, non agendo a scopo di lucro, utilizzano saltuariamente in maniera non residenziale acqua sotterranea, per scopi igienico-potabili, a servizio di strutture ricettive temporanee con finalità di solidarietà sociale".

FIRENZE: per "uso domestico" si intende (estratto dal "Regolamento per le concessioni di beni del demanio idrico di competenza della provincia di Firenze"): "...utilizzazione di acqua sotterranea destinata all'uso igienico e potabile, all'innaffiamento di orti e giardini, all'abbeveraggio del bestiame, purché tali usi siano destinati al nucleo familiare e non configurino un'attività economico-produttiva o con finalità di lucro; le condizioni essenziali per la configurazione

dell'uso domestico sono:

- I. essere proprietario, affittuario, usufruttuario, titolare di diritto di abitazione;
- II: essere persona fisica;
- III. utilizzare per irrigazione di orto e giardino di uso familiare; per uso igienico della abitazione; per uso potabile della abitazione.

Sono assimilati all'uso domestico, purché nel prelievo non sia superata la quantità complessiva di m³ 300 annui e l'utilizzo sia esclusivamente di irrigazione: a) l'irrigazione di orti e giardini di proprietà condominiale a prevalente uso residenziale, b) l'irrigazione di orti e giardini afferenti a più proprietari di immobili residenziali, c) l'irrigazione di orti, giardini, aree a verde pertinenti ad immobili in uso ad associazioni onlus, enti e istituti senza scopo di lucro, ordini religiosi ed enti ecclesiastici. L'acqua deve essere utilizzata esclusivamente per i casi sopra elencati. Sono esclusi dall'uso domestico: il riempimento di piscine, il funzionamento di apparati di climatizzazione...”.

Appare dirimente nelle interpretazioni, peraltro condivise da altre province, il concetto di uso in attività a fine di lucro, ma risulta altresì vero che per situazioni particolari i comportamenti sono poi differenti.

Dall'esame della giurisprudenza (parere legale richiesto in data 2/04) per quanto concerne l'interpretazione dell'art. 93 del R.D. 1775/1933, in sintesi si può ricavare quanto segue: con il termine di “usi domestici” si identificano tutti quegli usi pertinenti alla soddisfazione dei fabbisogni della persona fisica o del nucleo familiare, mentre sono da escludersi i fabbisogni relativi ad attività finalizzate alla produzione di reddito. Nei fabbisogni relativi all'unità familiare possono e debbono ricadere anche l'esigenza di manutenzione e buona conduzione del patrimonio fondiario come unità culturale familiare, indipendentemente dalle dimensioni planimetriche dei terreni irrigati, essendo il discrimine solo ed esclusivamente riconducibile alla diretta produzione di reddito (ad es., irrigazione di coltivazioni i cui prodotti siano destinati alla vendita). È importante sottolineare che, poiché l'art. 93 identifica e discrimina solo gli usi, nel caso di persone giuridiche, dimostrabilmente riconducibili a nucleo familiare, la mera appartenenza del richiedente alla categoria delle persone giuridiche non può essere considerato motivo automatico di esclusione dai benefici dell'art. 3. È fatto salvo, sempre e comunque, il diritto dovere della Pubblica Amministrazione di verificare che gli emungimenti non sottoposti a concessione risultino effettivamente destinati ad uso domestico e che essi (insieme agli usi concessionari) non compromettano l'equilibrio del bilancio idrico di cui all'art. 3 della 36/1994.

10.3.2. Procedimento di concessione per pozzi uso irriguo, uso industriale, uso idropotabile

Il procedimento per il rilascio di concessione è avviato ad iniziativa di parte, con la presentazione della relativa domanda. Le modalità di presentazione della domanda: contenuti ed allegati sono regolamentati da ciascuna Provincia.

Domanda alla Provincia: in linea generale, le domande devono contenere: dati identificativi del richiedente, oggetto della richiesta, individuazione del corpo idrico da cui si richiede il prelievo (superficiale, sotterraneo o sorgente), ubicazione del punto di prelievo (località, estremi catastali e coordinate geografiche UTM o Gauss-Boaga), richiesta di autorizzazione alla ricerca di acque sotterranee nel caso in cui l'opera di presa sia costituita da un pozzo, uso previsto della risorsa; portata di prelievo, espressa in moduli o litri/secondo, indicando, nel caso di portata variabile, il valore massimo e quello medio, volume annuo, espresso in metri cubi, quando risulti coerente con la destinazione d'uso. Alle domande relative ai prelievi da acque sotterranee deve essere allegata la seguente documentazione relativa al progetto di massima delle opere di captazione principali ed accessorie: relazione tecnica generale, illustrante modo e finalità del prelievo e opere relative, quantitativo da derivare, referenze catastali e tutte le caratteristiche della derivazione (opere di captazione e relativa attrezzatura) e della eventuale restituzione dell'acqua, studio idrogeologico generale sull'assetto litostratigrafico e sulle caratteristiche delle falde, descrizione delle modalità di utilizzo previste per le acque derivate, corografia generale con indicata l'ubicazione delle opere, planimetria catastale con intorno significativo, indicante le aree coltivabili cui si destina l'eventuale uso irriguo.

La Provincia verifica la completezza della domanda e degli elaborati tecnici, comunicando al richiedente il termine - non superiore a 40 giorni - per la regolarizzazione e/o l'integrazione dei medesimi e trasmette la domanda di concessione corredata della relativa documentazione alla competente AdB per l'acquisizione del parere, ai fini del controllo sull'equilibrio del bilancio idrico o idrologico (D.L.gs 152/06).

La Provincia richiede la pubblicazione della domanda, mediante apposito avviso, nel Bollettino Ufficiale della Regione Toscana e dispone con le stesse modalità la pubblicazione agli albi pretori della Provincia e del Comune o dei Comuni interessati. Nel caso sia previsto il sopralluogo di cui all'art. 12, nell'ordinanza di pubblicazione ne verrà fissata l'ora e il giorno.

Il responsabile del procedimento individua, in rapporto alla tipologia, alle caratteristiche ed all'ubicazione della derivazione, i pareri da richiedere per la definizione dell'istruttoria ed il rilascio o il diniego

della concessione, fra i quali hanno carattere di obbligatorietà quelli emessi dall' A dB ai sensi dell'art. 8 e dall'Amministrazione Provinciale, in relazione alle competenze sulla sicurezza idraulica e in ordine alla verifica di compatibilità con le previsioni dei Piani settoriali e di tutela predisposti dalla Amministrazione medesima. Qualora ne ricorrano i presupposti sono obbligatoriamente richiesti anche i pareri di altri enti quali: enti parco, consorzi di bonifica, Autorità di Ambito etc. Se il responsabile del procedimento lo ritiene necessario, potranno essere effettuati sopralluoghi per una corretta valutazione delle derivazioni. La concessione viene rilasciata con determinazione dirigenziale in coerenza con il PTC provinciale ed il Piano di Tutela Regionale. Viene stipulato un disciplinare di concessione che prevede le condizioni e le clausole che regolano il rapporto giuridico tra Amministrazione concedente e concessionario.

10.4. Indagini ed attività di supporto alle perforazioni

10.4.1. Indagine a carattere preliminare

- a) Rilevamento idrogeologico.
- b) Raccolta dati di base: stratigrafie da prospezioni geomeccaniche, stratigrafie da pozzi, dati geochimici, dati geofisici.

I rilievi di tipo geologico-idrogeologico assumono carattere ed importanza diversa in relazione al contesto e al tipo e funzione dell'opera in oggetto. In una situazione di pianura, ad esempio, potrà essere privilegiato l'aspetto di raccolta dati esistenti, integrato con indagini in situ dirette o indirette, in relazione anche all'accessibilità e alla logistica dei luoghi. In una situazione collinare-montuosa va ad assumere una maggiore importanza la ricostruzione geologico-strutturale, da effettuare con ricerche bibliografiche, rilievi di dettaglio e a grande scala e con ricostruzioni da foto aerea. Inoltre si rivela fondamentale, in questo caso, l'esame di sorgenti esistenti, con prelievo di campioni per analisi chimiche e, quando utile per la ricostruzione del circuito idrogeologico, isotopiche. Dati di interesse, a seconda dell'assetto locale, possono ottenersi mediante indagini geosismiche (sismica a rifrazione, sismica a riflessione), geoelettriche (SEV, tomografie) e magnetiche. In funzione dell'importanza dell'opera, può accadere che i dati indiretti di questo tipo siano gli unici su cui basarsi per valutare la risorsa.

I dati raccolti da pozzi o sondaggi esistenti possono riguardare stratigrafia, chimismo, livelli di falda e parametri idrodinamici da prove di pompaggio. È fondamentale che tali dati siano attendibili, perché in caso

contrario possono portare a conclusioni pesantemente errate.

c) Valutazione preliminare delle risorse.

La valutazione delle risorse disponibili, anche a carattere preliminare, è di fondamentale importanza, in quanto può fornire indicazioni alla committenza sull'opportunità di proseguire le indagini e di investire risorse nel progetto. Questo sia per quanto riguarda opere di modesta entità (ed impatto) come piccoli pozzi ad uso domestico, sia per quanto riguarda pozzi ad uso irriguo ed industriale.

d) Esame normativa/regime vincolistico esistente.

Lo studio idrogeologico non può prescindere da quanto richiesto dalle normative vigenti e dalle procedure previste a livello comunale, provinciale e regionale. Infatti, oltre alla parte più strettamente tecnica dell'incarico esiste una parte amministrativo-legislativa la cui ottemperanza non è da trascurare. In alcuni casi l'esistenza di vincoli a normative particolari può condizionare in modo determinante lo sviluppo dello studio. Di particolare importanza risulta la valutazione della presenza di vincoli costituiti da aree di rispetto di pozzi ad uso idropotabile. L'ente primario cui fare riferimento per le autorizzazioni è la Provincia.

L'ente primario cui fare riferimento per le autorizzazioni è la Provincia.

Quanto sopra permette di elaborare la relazione idrogeologica preliminare, che dovrà almeno contenere:

⇒ Elementi su cui si basa la previsione di reperimento della risorsa.

L'insieme dei dati ottenuti deve illustrare in modo esauriente e sintetico la situazione idrogeologica locale, con il grado di approfondimento richiesto dall'entità del progetto, definendo quali sono le premesse su cui si basa il progetto di captazione acquifera.

⇒ Cartografia generale, cartografia idrogeologica ed altre eventuali carte tematiche esplicative.

La cartografia allegata alla relazione deve mettere in condizione la committenza e gli uffici competenti di identificare l'area di intervento in modo esauriente, e di chiarire gli aspetti geologico-morfologici ed idrogeologici. Al minimo è da prevedere una corografia, una cartografia di inquadramento geologico, un'identificazione catastale e, man mano che aumenta la complessità del problema, una serie di cartografie specifiche che individuino l'ubicazione di pozzi, sorgenti o sondaggi di riferimento, o delle indagini dirette o indirette eseguite per l'occasione.

⇒ Parametri presumibili, in via preliminare, dell'acquifero da porre in produzione (idraulico-idrogeologici, geochimici).

Spesso le previsioni di reperimento risorsa si basano anche, se non solo, su dati esistenti della stessa area o di aree idrogeologicamente limitrofe. In questo caso si raccolgono e si citano i parametri noti per l'acquifero in oggetto. È fondamentale pesare l'attendibilità di tali dati ai fini di un corretto progetto dell'opera di captazione. È evidente che valori attendibili (livelli statici e dinamici, trasmissività, coeff. di immagazzinamento, parametri chimico-fisici e microbiologici) possono ottenersi solo una volta completata l'opera ed eseguite le prove ed analisi del caso.

⇒ Progetto preliminare dell'opera di captazione

Il progetto del pozzo deve rispecchiare il quadro idrogeologico e logistico in cui l'opera si inserisce. Pur trattandosi di uno schema preliminare, in quanto la perforazione di un pozzo è un "work in progress", che può subire alcune variazioni progettuali man mano che procede la perforazione, esso condiziona in modo determinante il prosieguo delle operazioni. Infatti:

il tipo di perforazione ed il diametro condizionano la profondità raggiungibile ed i diametri della tubazione definitiva; quindi, in ultima analisi, anche la elettropompa e la tubazione di alimentazione;

il progetto deve essere compatibile, tecnicamente ed economicamente, con le condizioni al contorno: in questo senso la metodologia indicata deve essere la più adeguata all'importanza della ricerca, alla logistica e al quadro idrogeologico desunto. Il completamento del pozzo deve essere coerente con le finalità di utilizzo dello stesso e con le esigenze di utilizzo e protezione.

⇒ Valutazione degli effetti ambientali prodotti dalla perforazione.

La redazione di un progetto anche preliminare dell'opera di presa deve tener presente le ricadute ambientali, nel senso di:

1. opere che si rendono necessarie per accedere ai luoghi di perforazione;
2. accorgimenti progettuali necessari ad evitare contaminazioni e mescolamenti tra livelli acquiferi diversi;
3. accorgimenti progettuali necessari ad evitare contaminazione delle acque superficiali da parte dei fluidi di perforazione di risulta con particolare riguardo alla utilizzazione di additivi schiumogeni
4. impatto dell'opera nei confronti dell'acquifero posto in produzione, in relazione agli emungimenti previsti e alle condizioni di ricarica.

Quest'ultimo punto, di solito, può essere affrontato in modo approfondito, mediante un bilancio idrogeologico attendibile, solo nel caso di area idrogeologicamente ben nota (e in caso di progetti di ricerca importanti e di ampio respiro). Ma già in

fase preliminare è possibile avere un primo quadro che possa quantificare la sostenibilità possibile per l'opera;

5. valutazione dell'effetto dell'emungimento dal punto di vista geotecnico (possibili fenomeni di subsidenza dovuti all'abbassamento del livello di falda con conseguente consolidazione o dovuti alla sottrazione di materiale fine);

Si tratta di valutazioni da effettuare sempre e in particolare in caso di acquiferi freatici o semiconfinati; quest'ultimo caso è il più delicato perché possono non esserci risultati da prove a breve - medio periodo. In casi specifici può essere d'aiuto effettuare prove di laboratorio su campioni (procedimento costoso se deve essere significativo). Allo stesso tempo è bene valutare quale sia il reale effetto del pozzo rispetto alle oscillazioni stagionali;

6. Valutazione delle possibili interazioni dell'opera con il cuneo salino per le opere in prossimità della costa. È necessario valutare bene il modello idrogeologico per vedere quali sono le reali possibilità di contatto fra l'acquifero e il mare. In caso si possa disporre di analisi di pozzi nel medesimo acquifero occorre valutare più parametri e i rapporti ionici, senza limitarsi a uno o due per quanto ritenuti significativi (es. conducibilità e cloruri) perché può essere fuorviante ed essere influenzato da condizioni specifiche (es. contatto e miscelazione con acque termominerali, acque depositate insieme ai sedimenti in tempi recenti, acque che circolano in formazioni particolari come alcuni livelli del Messiniano).

10.4.2. Sopralluoghi con le autorità competenti e la ditta costruttrice

a) Definizione dell'ubicazione precisa della/e perforazione/i. Un sopralluogo è necessario per verificare, congiuntamente alle autorità competenti, il punto preciso dell'esecuzione della perforazione.

b) Definizione di alcuni parametri di progetto. Il confronto con le autorità competenti e con l'impresa perforatrice può portare a una maggiore definizione di alcune caratteristiche del pozzo (profondità prevista, diametri di perforazione, tipo di tubazione definitiva, tipo di completamento della bocca-pozzo), nell'ottica di una migliore riuscita del progetto o del minore impatto ambientale.

c) Eventuali problematiche logistiche non affrontate (o non affrontabili) in fase preliminare. Durante il sopralluogo possono emergere problematiche dovute, ad esempio, all'accessibilità o al piazzamento della complessa attrezzatura di perforazione, che dovranno essere risolte prima di procedere all'inizio dei lavori.

10.4.3. Perforazione completamento del pozzo

a) Assistenza in cantiere e direzione lavori di carattere idrogeologico. L'assistenza geologica in cantiere non deve sostituirsi al lavoro e alle decisioni del capo sonda, bensì lo deve affiancare per quanto possibile per risolvere problemi e situazioni specifiche legati alla litologia attraversata, con l'obiettivo comune di realizzare un'opera valida e compatibile con l'acquifero e con le richieste della Committenza. Scelto quindi in fase progettuale il dimensionamento di aste e scalpelli, la prima assistenza che il geologo può fornire in cantiere è quella sul monitoraggio dei fluidi di perforazione (con l'ovvia eccezione della percussione), in modo che questi siano equilibrati rispetto alle formazioni attraversate. Per esempio, nella perforazione con fanghi bentonitici, un fango troppo pesante e troppo carico di detriti può intasare irreversibilmente una formazione porosa, così come un fango troppo leggero, o l'"acqua chiara", possono provocare il rigonfiamento di formazioni argillose o il crollo di livelli poco cementati. Anche nella perforazione ad aria (per citare i due metodi più diffusi) possono presentarsi problemi legati all'interazione con le formazioni, come la perdita di circolazione in litologie molto fratturate. Diviene quindi indispensabile una buona conoscenza dei livelli da attraversare sia in fase di studio, che in fase esecutiva attraverso l'analisi dei detriti di perforazione per poter segnalare in tempo al capo sonda eventuali variazioni e problematiche connesse. Diretta conseguenza di questo lavoro sarà l'individuazione di livelli permeabili ed impermeabili dove eventualmente mettere in opera tamponi isolanti per impedire il miscelamento delle falde e mantenere le naturali separazioni idrauliche, oppure dove e come eseguire cementazioni. La direzione lavori di carattere idrogeologico diviene quindi assolutamente indispensabile per la buona riuscita della perforazione, la corretta captazione dell'acquifero e la salvaguardia della risorsa idrica, sia quella obiettivo della ricerca, sia quella attraversata e non captata.

b) Redazione stratigrafia nel modo più dettagliato possibile, in relazione anche alle modalità di perforazione (es. percussione, rotazione con circolazione di fanghi, rotazione con circolazione inversa, roto-percussione). La colonna stratigrafica dei terreni attraversati sarà ricostruita con l'analisi dei detriti di perforazione che potranno andare, a seconda dei metodi impiegati, da una ghiaia grossolana ad una sabbia. Nel caso di perforazione con circolazione di fluidi bentonitici si dovrà porre molta attenzione nel recuperare e nel valutare anche la frazione granulare fine (prendendo campioni in modo opportuno anche alla bocca del pozzo e non solo al vibrovaglio), in modo da poterne tenere conto nel dimensionamento della luce dei filtri. I cam-

pioni andranno presi con cadenza regolare (con spaziature ragionevoli) in caso di formazioni omogenee e ogni qual volta si incontrino variazioni litologiche o irregolarità di perforazione segnalate dalla batteria di perforazione o dalla strumentazione dell'impianto.

c) Valutazione caratteristiche degli acquiferi intercettati durante la perforazione (anche questo dipende dalle metodologie stesse di perforazione). Le caratteristiche degli acquiferi attraversati potranno essere individuate in maniera diretta con le prove di strato in avanzamento (molto delicate ed onerose da destinare solo ad opere di un certo impegno e quando le circostanze lo richiedano) oppure in maniera indiretta attraverso l'osservazione della diluizione del fango e/o le perdite di circolazione oppure, per la perforazione ad aria, attraverso la valutazione dell'acqua che arriva in superficie. Utili informazioni possono essere desunte anche dai tempi di avanzamento a parità di sforzo della rotary o della testina rotante, e dei colpi della pompa così come dallo sforzo di rotazione. Da tenere in conto anche la possibilità di eseguire delle prove granulometriche in cantiere quando le circostanze lo consentano.

d) Conclusione perforazione. La conclusione della perforazione avverrà quando dai dati raccolti nelle fasi precedenti si ricaverà che è stato (o non è stato) raggiunto l'obiettivo di progetto. In caso di mancato raggiungimento dell'obiettivo, sarà opportuno valutare attentamente la possibilità di approfondire ulteriormente la perforazione, ricordando che è molto meno oneroso (ovviamente se ci sono i presupposti geologici ed idrogeologici) approfondire il perforo che far spostare il cantiere. Da tenere in considerazione anche lo smaltimento dei fanghi di perforazione e dei detriti, le cui voci dovrebbero essere sempre inserite nei capitolati. In base ai risultati, si procederà al successivo punto e).

e) Definizione degli elementi progettuali che concorrono al completamento del pozzo.

⇒ tipo e diametro tubazione definitiva (anche se di solito non si ha una grande possibilità di scelta in questa fase, e spesso è già stabilito in partenza, dato che il tutto resta condizionato dal diametro di perforazione, dalla profondità e dalla tecnica adottata)

⇒ tipo di filtri e loro posizione: essenziale in questo caso la determinazione in fase di perforazione della presenza di materiale sottile nell'acquifero, in questo caso una luce troppo ampia costringe a lunghe operazioni di spurgo e in caso di limo alla sigillatura del tratto filtrante o all'abbandono del pozzo. Tenere presente che spesso un filtraggio inadeguato, insufficiente o errato può portare a perdite di carico eccessive e tali da rendere antieconomico l'uso dell'opera eseguita, fino a dichiarare abortivo un pozzo produttivo.

- ⇒ tipo di drenaggio: anche in questo caso è determinante l'osservazione in perforazione e, quando possibile, la granulometria dell'acquifero attraversato, in quanto il dreno deve avere rapporti dimensionali ben determinati rispetto alla granulometria dell'acquifero. In caso di pozzi in roccia sarebbe opportuno utilizzare filtri appositamente costruiti (a ponte, microfresati, a spirale ecc.) piuttosto che realizzati in opera con fiamma ossidrica o altro, per poter avere migliori condizioni idrodinamiche e garanzie di tenuta e durata. Caso particolare può essere rappresentato dai pozzi a sterro di grande diametro, dove la posa del drenaggio può essere prevista solo se la realizzazione del perforo e la successiva posa in opera del rivestimento avvengono in fasi separate e non per trascinamento.
- ⇒ tamponi isolanti: il numero e l'estensione dipenderanno dalle osservazioni fatte sui livelli attraversati durante la perforazione. Evitare l'utilizzo di argilla naturale o di risulta (a grossi pezzi) in caso di tamponi profondi o di intercapedine stretta per non incorrere nell'effetto ponte, preferendo i pellets tipo Compactonit.
- ⇒ cementazione superficiale (modalità e strato interessato) da realizzare comunque anche in caso di livelli superficiali permeabili, per non provocare una zona di infiltrazione preferenziale nell'intercapedine fra perforo e rivestimento. Utilizzare cementi appositi o additivi che ne limitino il ritiro per evitare la fessurazione che di fatto renderebbe l'operazione inefficace. Anche per i pozzi a sterro di grande diametro può essere prevista una cementazione superficiale realizzando uno scavo in superficie intorno al rivestimento per una profondità adeguata e colmandolo con boiaccia di cemento; in questo caso sarà opportuno prevedere la posa sul fondo dello scavo di materiale adeguato (es. sabbia) che impedisca la percolazione del cemento nell'intercapedine fra rivestimento e perforo.
- ⇒ completamento boccapozzo: la boccapozzo dovrebbe essere sempre munita di testa stagna, altrimenti le operazioni precedenti di cementazione e tamponamento servono a ben poco. La testa stagna, disponibile anche per pozzi in PVC, deve essere provvista di flangia, controflangia, guarnizione, alloggiamento filettato per tubazione di eduazione, foro filettato per passaggio cavi elettrici con pressacavo in gomma per l'impermeabilizzazione, foro filettato con tappo per il passaggio della sonda di livello. Questo provvedimento è senz'altro più sicuro rispetto a mantenere la boccapozzo più alta dal piano di campagna, in quanto talvolta è difficile stabilire una corretta altezza della tubazione rispetto al piano di campagna e si corre il rischio di avere

tratti di tubazione troppo lunghi fuori dal terreno con le conseguenti complicazioni logistiche (ad es., per la manutenzione o sostituzione di pompe all'interno di casotti). Inoltre deve essere tassativo che la bocca del pozzo deve essere chiusa per impedire qualsiasi tipo di intrusione dalla superficie.

- f) Completamento del pozzo in base a quanto definito al punto precedente:

⇒ tubaggio – posizionamento filtri: disporre i filtri in corrispondenza degli acquiferi (cosa ovvia in teoria, un po' meno in pratica), tenendo conto che le barre delle tubazioni sono standard; evitare per quanto possibile di far eseguire troppi tagli nelle tubazioni in ferro, mentre per le tubazioni in PVC filettate questa operazione è alquanto difficoltosa.

⇒ realizzazione dreno – eventuali tamponi isolanti: il dreno va messo in opera in maniera uniforme, controllandone il livello nell'intercapedine con un testimone per essere sicuri che non ci siano ponti; analoghe operazioni vanno eseguite per i tamponi; ai fini di un'efficace separazione dei sistemi acquiferi e per la preservazione delle condizioni di protezione naturale è utile prevedere, in presenza di spessori significativi, metrici, di strati acquiclude di separazione degli strati acquiferi, la realizzazione di un tampone impermeabile, corrispondente, nell'intercapedine tra perforo e rivestimento. In presenza di episodi di inquinamento o per esigenze particolari di studio e verifica della produttività, gli strati acquiferi, ancorché captati contemporaneamente dal pozzo, possono essere separati tramite chiusura interna dei tratti filtranti del pozzo.

⇒ Sviluppo - spurgo - assestamento del dreno - prime valutazioni grossolane della portata dell'acquifero posto in produzione: lo spurgo del pozzo deve essere effettuato mediante *air lift* in circolazione sia inversa che diretta, per tutto il tempo necessario perché l'acqua sia chiara e priva di materiale in sospensione (ricordando che nella modalità "diretta" questo non si raggiunge sempre per la forte energia di sollecitazione dell'acquifero); durante queste operazioni il dreno può subire degli assestamenti per compattazione e/o per riequilibrio delle pareti del perforo; in questo caso se l'assestamento è consistente si può giungere a strappare i tamponi eventualmente messi in opera prima di queste operazioni. Durante le operazioni di spurgo si può avere un'idea grossolana sulla produttività del pozzo, osservando la portata in una canaletta e dividendola per 2 o 3 secondo le modalità di spurgo.

⇒ realizzazione cementazione tratto iniziale: la cementazione del tratto iniziale potrà essere realizzata versando semplicemente boiaccia di cemento ed additivi nell'intercapedine qualora il tratto sia di

pochi metri e sopra falda, altrimenti si dovrà impiegare una cementatrice con pompa ed iniettare la boiaccia partendo dal basso fino ad arrivare a giorno o al livello stabilito. Per le cementazioni profonde diviene assolutamente indispensabile ricorrere ad apposite specifiche attrezzature (cementatrici, sistemi con tappo e valvola di fondo, sistema a due tappi, etc.)

g) Prove di emungimento con pompa sommersa (non definitiva).

h) Valutazioni idrochimiche: prelievo campioni di acqua per le analisi. Il prelievo di campioni potrà avvenire semplicemente dalla tubazione di eduazione, avendo cura di far scorrere l'acqua per un tempo sufficiente a mettere in produzione la falda superando l'effetto serbatoio del pozzo. In alcuni casi può essere necessario ricorrere a campionatori profondi qualora si vogliano avere informazioni su gas che posso passare in assoluzione.

i) Valutazioni idrogeologiche. In base ai risultati delle prove di portata, devono essere definiti trasmissività, permeabilità, immagazzinamento-esaurimento (in funzione anche di possibili altri punti attendibili di monitoraggio della piezometrica riferita all'acquifero posto in produzione).

l) Valutazioni (eventuali) di carattere geologico-paleogeografico. Nel caso di perforazioni che rivestano particolare interesse scientifico, è auspicabile (ove possibile) l'utilizzazione dei dati raccolti dal punto di vista geologico e paleogeografico, mediante un esame dei *cuttings* finalizzato anche al reperimento di dati sedimentologici e paleontologici; parimenti, risulterebbe utile la conservazione dei campioni per successiva consultazioni ed esami.

10.4.4. Relazione finale (anche per richiesta concessione)

La relazione finale dovrà contenere:

1) Descrizione lavori

Tipo di perforazione adottata: sistema di circolazione dei fluidi (o tipologia della sonda per la percussione), scalpelli e diametri, tipo di fluido utilizzato, vasche, vibrovaglio, controlli effettuati sui fluidi, parametri dei fluidi tubazione: materiali, spessori, lunghezza, tipo di giunzioni; filtri: tipologia, luci, materiali, tipo di giunzioni con la tubazione; dreno: materiali, granulometria, modalità e profondità di messa in opera, modalità di controllo delle quote; tamponi: materiali, modalità e profondità di messa in opera, modalità di controllo delle quote; cementazione: materiali, densità, additivi, modalità di cementazione, modalità di controllo delle quote.

2) Stratigrafia terreno attraversato - schema definitivo dell'opera di captazione.

Ricostruzione stratigrafica dei livelli tramite l'analisi dei detriti di perforazione, analisi dei dati di perforazione e del comportamento della sonda; per pozzi profondi valutazione del ritardo dell'arrivo in superficie dei detriti.

Redazione di uno schema dei livelli attraversati con a fianco lo schema del pozzo per una visione d'insieme dell'opera in rapporto ai terreni attraversati.

3) Sintesi dati prove di emungimento e dati derivati.

In questa sezione si riporteranno i dati misurati, le modalità di misura, le problematiche, la tempistica; si specificheranno poi le basi teoriche adottate e le finalità delle stesse, specificando se possibile, le approssimazioni in funzione della finalità dell'opera; si riporteranno infine i diagrammi di sintesi derivati dai dati raccolti e dalle loro elaborazioni.

4) Sintesi analisi chimico-fisiche e batteriologiche e dati derivati.

Questa sezione, se possibile, non dovrà limitarsi a riportare solo le tabelle dei dati analitici, ma dovrà esplicitare le ragioni e la finalità dei parametri scelti e darne, per quanto possibile, un'interpretazione idrogeologica ed idrogeochimica.

5) Valutazioni portate di esercizio previste in relazione ai parametri dedotti per l'acquifero e alle caratteristiche dell'opera realizzata.

Sulla base dei dati raccolti ed elaborati si dovrà stabilire la portata di esercizio dell'opera di captazione in funzione dei parametri dell'acquifero e delle finalità e modalità di utilizzo del pozzo. In sostanza, non sarà possibile far pompare un pozzo alla massima portata della falda per tempi lunghi o molto lunghi o addirittura in continuo, in quanto si arriverebbe con facilità a fenomeni di sovrasfuttamento, con danni qualitativi e quantitativi molto probabili all'acquifero. In questo caso si analizzeranno soluzioni tipo l'accumulo con pompaggio intermittente o la realizzazione di altre opere di captazione. Allo stesso modo si potranno utilizzare portate alte, in regime di non equilibrio, per pozzi che funzionano ad intermittenza o per brevi periodi (in questo caso diviene fondamentale l'analisi della curva di risalita). In questi casi è tassativo impedire che il livello dinamico arrivi a scoprire l'acquifero, per evitare fenomeni di consolidamento con conseguente irreparabile danneggiamento dell'opera.

La gestione dei residui di perforazione può risultare problematica se sottovalutata. In linea generale i residui solidi possono essere considerati inerti se non contaminati da additivi particolari, mentre i fluidi di perforazione (denominati "fanghi") possono essere considerati rifiuto speciale, anche se costituiti da sola

bentonite, in quanto fluidi e non impalabili e pertanto devono essere avviati a discarica autorizzata con costo aggiuntivo che deve essere previsto nel capitolato perché può assumere un valore rilevante come onere a seconda dei volumi e quindi della profondità.

10.4.5. Determinazione dei parametri idraulici (prove di emungimento)

1. Prova preliminare per una valutazione del *range* di portata sia dell'opera, che effettiva della pompa, in modo da poterle regolare alle portate desiderate nel caso che non si disponga di un misuratore istantaneo della portata emunta.
2. Prova a gradini per la costruzione della curva caratteristica del pozzo; modulare la portata in modo da eseguire non meno di quattro gradini, in modo che se per qualsiasi ragione un gradino non è utilizzabile, la prova non salta.
3. Prova di lunga durata per definire i parametri idrodinamici dell'acquifero; per una valutazione ottimale sarebbe necessario controllare l'andamento naturale del livello di falda (pozzo e piezometri) da alcuni giorni prima ad alcuni giorni dopo la realizzazione della prova per avere valori corretti. Occorre valutare, nell'analisi dei livelli, tutte le possibili cause di variazione degli stessi dovuti a cause esterne, in modo da poterne tenere conto.
4. Prova di risalita; protrarre la prova fino ad un recupero sostanziale del livello, tenendo conto che nell'ultimo tratto potrebbero influire in maniera significativa anche oscillazioni naturali; controllare che la pompa abbia la valvola di fondo, oppure eliminare le misure dei primi minuti.

Per tutte e tre le prove in pompaggio si deve tenere in debito conto dove recapitare l'acqua pompata, che può comportare lo smaltimento di volumi notevoli, in special modo per la prova di lunga durata. Occorre quindi non sottovalutare i volumi della portata istantanea ed i volumi totali; è assolutamente necessario valutare i percorsi dell'acqua emunta, eventuali assorbimenti e interazione con dissesti lungo il tragitto o nelle immediate vicinanze. Sarà poi necessaria una valutazione delle canalizzazioni dei recettori in particolare del reticolo minore e delle possibili influenze su un evento di piena (in special modo per le prove di lunga durata).

Altra problematica relativa alle acque emunte è la presenza di torbidità, specialmente nelle prime fasi; in primo luogo se c'è trascinamento di materiale il pozzo è errato oppure i filtri sono danneggiati; in questo caso, espressamente previsto dal punto L del D.M. 11/03/1988, la prova deve essere sospesa ed il pozzo verificato e ripristinato. Se la torbidità è leggera per sospensione di fini e/o c'è opalescenza con i tempi della prova di portata può non esserci rimedio prati-

co perché i tempi di decantazione sono molto lunghi e occorrerebbero volumi di stoccaggio giganteschi. Dal momento che non si possono scaricare acque torbide nell'idrografia superficiale si può vedere se è possibile allungare il percorso delle acque emunte, oppure scaricare su suolo se le condizioni lo consentono e previa autorizzazione. Si tenga conto che questa problematica si può presentare anche nel caso di perforazione ad aria, dove i reflui della perforazione in caso di acquiferi importanti, possono raramente essere stoccati e in aggiunta si ha anche il trascinamento dei residui di perforazione.

Per i pozzi di grande diametro ci si dovrà accertare che il pompaggio non si limiti a vuotare l'acqua accumulata; si dovranno poi usare metodi adeguati alla bassa produttività e porre molta attenzione al processo di risalita.

10.4.6. Chiusura pozzi

Quando si deve abbandonare vecchi pozzi improduttivi o abbandonati si deve cercare di ripristinare le condizioni preesistenti alla realizzazione dell'opera: non si deve dimenticare che è dalla corretta progettazione ed esecuzione della chiusura di un pozzo, obbligatoriamente fondata su una conoscenza dettagliata dell'opera e del contesto geologico ed idrogeologico ed antropico locale dell'area in cui essa è inserita, che dipende la tutela della risorsa sia nell'immediato che nei secoli a venire.

È dunque necessario allegare alla domanda di chiusura di un pozzo, un adeguato progetto delle operazioni tecniche da realizzare.

Specifiche tecniche relative alla chiusura di pozzi sono trattate in Chiesa G., "Specifiche tecniche per la chiusura di pozzi abbandonati", Acque Sotterranee, Fasc. 4, dicembre 2001.

10.5. Sorgenti

Il funzionamento di un acquifero avviene secondo le principali fasi di alimentazione, deflusso e discarica. La sorgente (*spring*) rappresenta una via attraverso cui avviene la fase di discarica della falda acquifera. La sorgente può essere definita perciò come un punto della superficie terrestre ove viene alla luce, in modo del tutto naturale, una portata apprezzabile di acqua sotterranea. Una sorgente costituisce in genere una fonte di approvvigionamento idrico che si può utilizzare per le diverse esigenze delle attività umane, senza che si alteri il delicato equilibrio idrologico della falda acquifera che la alimenta e questo perché si tratta di acque che vengono a giorno naturalmente, cioè che non sono estratte artificialmente dal suolo. Le sorgenti agiscono come scolmatori o sbocchi dai

quali fuoriesce l'acqua che si era precedentemente infiltrata nel sottosuolo. L'esistenza di una sorgente e il suo regime di funzionamento sono determinati dalle condizioni geologiche e morfologiche dell'acquifero e delle formazioni geologiche che costituiscono l'acquifero e lo delimitano spazialmente. L'accurata conoscenza di tali condizioni è indispensabile per la valutazione circa le possibilità di captazione delle acque della sorgente, della realizzazione delle opere atte a consentire tale captazione, per la gestione di tali acque e per la protezione da fenomeni di inquinamento e deterioramento della risorsa idrica.

10.5.1. Caratterizzazione delle sorgenti

Le sorgenti possono essere classificate secondo:

1. La portata (Meinzer, 1923):

GRUPPO	PORTATA MEDIA PLURIENNALE
Primo	> 2800 (l/s)
Secondo	Tra 280 e 2800 (l/s)
Terzo	Tra 28 e 280 (l/s)
Quarto	Tra 6,3 e 28 (l/s)
Quinto	Tra 40 e 400 (l/m)
Sesto	Tra 4 e 40 (l/m)
Settimo	Tra 0,5 e 4 (l/m)
Ottavo	< 0,5 (l/m)

2. Indice di variabilità R:

$$R(\%) = [(Q_{\max} - Q_{\min}) / Q_{\text{med}}] \times 100$$

Q_{\max} : portata massima misurata nell'anno idrologico;

Q_{\min} : portata minima misurata nell'anno idrologico;

Q_{med} : portata media misurata nell'anno idrologico.

$R < 25\%$: sorgente costante

$25\% < R < 100\%$: sorgente subvariabile

$R > 100\%$: sorgente variabile

3. Il regime:

Perenne: eroga acqua tutto l'anno;

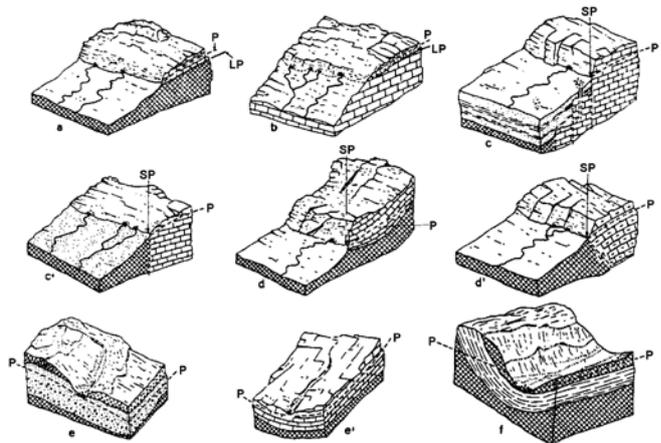
Semiperenne: eroga acqua quasi tutto l'anno;

Temporaneo:

- Periodiche (funziona in ben definiti periodi dell'anno);
- Irregolari (funziona in periodi dell'anno non definibili);
- Effimere (funziona in brevissimi periodi).

4. Le caratteristiche di emergenza delle acque (Civita 1972):

classe		sottoclasse
1. sorgenti per limite di permeabilità	a b	sorgenti per limite di permeabilità definito. sorgenti per limite di permeabilità indefinito.
2. sorgenti per soglia di permeabilità	c,c' d,d'	sorgenti per soglia di permeabilità sovrainposta. sorgenti per soglia di permeabilità sottoposta.
3. sorgenti per affioramento della superficie piezometrica.	e,e' f	sorgenti per affioramento della piezometrica di falde o reti idriche libere. sorgenti per affioramento della piezometrica di falde o reti idriche in pressione.



Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti, secondo Civita (1972).

P = piezometrica; LP = limite di permeabilità; SP = soglia di permeabilità.

Regime idrologico e curve di esaurimento

Il regime idrologico di una sorgente è un indicatore della capacità di laminazione di un acquifero. Il regime idrologico di una sorgente è definito dalla distribuzione temporale della portata da essa erogata in funzione della distribuzione temporale delle precipitazioni che si infiltrano nel bacino idrogeologico che la alimenta. Con questi dati si può rappresentare graficamente la curva di efflusso, che è data dall'andamento delle portate nel corso dell'anno idrologico in relazione all'andamento delle precipitazioni.

L'analisi della curva di efflusso (Castany, 1968) permette la valutazione delle risorse dinamiche e delle riserve (regolatrici e permanenti) attraverso l'individuazione dell'inizio e della fine del periodo di esaurimento coincidenti con la portata massima (portata di esaurimento Q_0) e la portata minima (Q_t) registrata dopo un tempo t , durante il quale la portata diminuisce progressivamente. La curva di esaurimento è quella che rappresenta l'interpolazione delle misure di portata durante il periodo di esaurimento.

I modelli matematici concettuali più utilizzati che interpretano l'esaurimento di una sorgente sono:

- Modello esponenziale di Maillet (1905)
 $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$
- Modello iperbolico di Tison (1960)
 $Q_t = Q_0/[1 + (\alpha t)^2]$
- Modello iperbolico di Drogue (1972)
 $Q_t = Q_0/[1 + (\alpha t)]^m$

dove α = coefficiente di esaurimento e $m = 1/2, 3/2, 2, 3, 5$.

Al fine della valutazione delle riserve permanenti è necessaria una conoscenza della geometria dell'acquifero (volume) e del suo coefficiente di immagazzinamento.

10.5.2. *Procedimenti concessori ed autorizzativi*

La regolamentazione delle sorgenti nelle varie province toscane, ad esclusione di quella di Firenze, segue l'iter previsto per i pozzi. Di seguito viene riportato un estratto delle definizioni di sorgenti dei regolamenti provinciali (ove presente):

FIRENZE. Si definiscono "acque sorgive" le manifestazioni sorgentizie, concentrate o diffuse, che costituiscono affioramenti naturali della circolazione idrica sotterranea; ai fini del procedimento di concessione di derivazione, sono equiparate alle acque superficiali.

SIENA. Per "acque sotterranee" si intendono le manifestazioni della circolazione idrica terrestre ubicate nel sottosuolo a livello sia ipodermico sia profondo. Le manifestazioni sorgentizie, concentrate o diffuse, si considerano appartenenti a tale fattispecie in quanto affioramenti della circolazione idrica sotterranea. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

GROSSETO. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

LIVORNO. Per "acque sotterranee" si intendono le manifestazioni della circolazione idrica terrestre ubicate nel sottosuolo a livello sia ipodermico sia profondo, comprese le manifestazioni sorgentizie concentrate o diffuse, in quanto affioramenti della circolazione idrica sotterranea. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

PISTOIA. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

MASSA-CARRARA. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

PISA. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

PRATO. Per "acque sotterranee" si intendono i corpi idrici ubicati nel sottosuolo a livello sia ipodermico sia profondo, comprese le manifestazioni sorgive concentrate o diffuse, in quanto affioramenti della circolazione idrica sotterranea. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

AREZZO. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

LUCCA. Sono soggette a concessione ad esclusione dell'uso domestico.

10.5.3. *Metodologie di sfruttamento delle sorgenti*

I metodi di captazione delle acque sorgenti sono molteplici e la scelta dell'uno o dell'altro dipende da numerosi fattori condizionanti che non sono soltanto di carattere geologico, idrologico o idrogeologico, ma anche di carattere topografico e logistico. Ogni opera di presa costituisce quindi un caso particolare, dal momento che le condizioni di ciascuna scaturigine variano notevolmente anche per sorgenti relativamente vicine e geneticamente simili; esiste, però, un certo numero di regole generali che vanno sempre seguite in qualunque progetto di captazione e, d'altra parte, è possibile illustrare i tipi di opere più razionali ed efficaci, indicando quale di esse sembra più idonea in relazione ai tipi principali di sorgente.

In generale, l'opera di presa deve raggiungere la sorgente geologica, intendendo con questo termine il punto dove l'acqua scaturisce effettivamente dalla roccia acquifera in posto; esso è quasi sempre mascherato o ricoperto da materiali di tipo detritico attraverso i quali l'acqua si disperde, venendo a giorno solo in parte più a valle (sorgente reale). L'opera, inoltre, deve impegnare l'acquifero abbastanza in profondità in maniera da prevenire ogni inquinamento; per lo stesso scopo, essa dovrà essere sempre circondata da una zona di protezione sufficientemente vasta e sistemata in modo da impedire contaminazioni da parte delle acque selvagge o altra fonte di inquinamento. Nelle opere di scavo si sconsiglia, in genere, l'uso di esplosivi che potrebbero danneggiare irreparabilmente i condotti sorgivi, in particolare per quanto riguarda le sorgenti minerali o termo-minerali. Anzi, in quest'ultimi casi è necessario non modificare alcun equilibrio naturale ricorrendo preferibilmente a dei semplici bottini di presa, specialmente se esistono più polle vicine a diversa mineralizzazione: infatti, poiché le differenze fisico-chimiche tra polla e polla sono generalmente legate a diverse percentuali di mescolamento tra acque a circuito parzialmente

o totalmente diverso, non è difficile modificarne in modo irreversibile le caratteristiche.

La captazione viene sempre racchiusa da un manufatto costruito con materiali stagni, che contiene la vasca di carico, dalla quale partono le opere di derivazione; tale vasca è spesso preceduta da una vasca di calma e di sedimentazione, nella quale l'acqua arriva direttamente dalle scaturigini e vi abbandona le eventuali sospensioni solide che trascina. Tra le opere di presa in uso, si possono distinguere quelle dirette, che captano la sorgente geologica senza modificarla, limitandosi a mettere a giorno le diverse polle; e quelle indirette (o in falda), che, prescindendo in tutto o in parte dalla posizione dell'emergenza, vanno a interessare la falda idrica che la alimenta. Le opere dirette si usano, in genere, per sorgenti ben individuate e di piccola e media entità, o quando le condizioni topografiche, idrogeologiche o precisi vincoli di quota impediscono un intervento diretto sulla falda che provochi il suo abbassamento. In tutti i rimanenti casi, e specialmente quando si intende migliorare la portata o regolarizzarla, si fa uso dei metodi indiretti di captazione.

Captazioni dirette

a) Bottini di presa

Tra le opere dirette, le più comuni sono i bottini di presa che si incassano nella roccia acquifera; con questo termine si intende un'opera in grado di captare una sorgente senza modificare in modo sostanziale gli equilibri idrogeologici naturali, sia per quanto riguarda le condizioni di emergenza che per quanto concerne il regime idrologico. In pratica, si tratta di una semplice protezione igienica che viene posta in corrispondenza della polla sorgiva, previa pulizia dell'area circostante, rimozione della coltre di alterazione e messa a giorno della roccia acquifera. L'eventuale coltre detritica non deve essere necessariamente eliminata, a meno che non possa essere motivo di inquinamento o sia di spessore così modesto da condizionare in modo marginale il costo complessivo dell'opera.

Questo tipo di captazione, di basso costo, è realizzabile soltanto quando: l'affioramento delle acque è concentrato, dato che qualsiasi polla al di fuori dell'opera risulta automaticamente non captata; non si rende necessario regolarizzare la portata, dato che l'opera non consente alcuna modifica del regime sorgivo naturale e che quindi risulterà efficace soltanto se anche le portate di magra sono sufficienti a soddisfare i fabbisogni.

Ciò non significa, però, che l'opera è sempre sostituibile con altre che consentano una gestione più elastica della risorsa; infatti, quando l'affioramento sorgivo è legato ad equilibri molto delicati (come, ad esempio, quelli relativi alle piccole sorgenti intramontane dei

massicci carbonatici, le cui acque circolano su limiti di permeabilità indefiniti), la realizzazione di un bottino di presa può rappresentare una delle poche soluzioni che consente di non modificarli.

b) Drenaggi

Altro sistema di presa diretta molto usato è quello dei drenaggi, che consentono una captazione totale delle acque nel caso di scaturigini multiple ravvicinate; essi sono costituiti da uno scavo nel cui fondo si costruisce una canaletta appoggiata a monte, in corrispondenza delle scaturigini, sulla quale si raccoglie l'acqua che oltrepassa le feritoie di una muratura a pietrame.

Captazioni indirette

Opere orizzontali

Le gallerie drenanti (es. Galleria Nuova a Santa Fiora sul Monte Amiata) sono scavi in sotterraneo di forma allungata che impegnano in tutto o in parte la zona di saturazione di un acquifero alimentante una sorgente; queste opere vengono infatti generalmente impostate e realizzate a quota più bassa di qualche metro rispetto al punto di emergenza idrica. Il loro sviluppo planimetrico, la lunghezza, la sezione e la pendenza sono tali da permettere di raccogliere e di portare a giorno per gravità una determinata quantità d'acqua sotterranea, pari comunque o maggiore della portata sorgiva naturale.

La forma planimetrica dello scavo varia a seconda della struttura idrogeologica interessata, mentre quella della sezione è generalmente legata al tipo litologico della formazione impegnata e alle sue caratteristiche meccaniche. Lo scavo può essere unico, più o meno rettilineo, con un ramo unico ascendente (detto anche galleria di approccio) che si biforca in due rami disposti normalmente alle linee di flusso della falda interessata.

Per quanto riguarda la portata, di norma, si verifica un certo aumento per il periodo strettamente necessario allo svuotamento dello spessore di acquifero compreso tra la superficie piezometrica riferita alla quota di sfioro sorgivo naturale e quella imposta dalla galleria; poi si torna al regime naturale. Ciò è ovvio, perché la captazione non cambia nessuna delle condizioni di alimentazione e di circolazione idrica sotterranea esistenti nel bacino di alimentazione della sorgente.

Le gallerie drenanti vengono pure utilizzate per deprimere la piezometrica e consentire la coltivazione di miniere tramite sbancamenti a cielo aperto. Ma non sempre la captazione di acque sotterranee mediante gallerie rappresenta una precisa scelta, come negli esempi fin qui illustrati; in molti casi, infatti, il drenaggio delle falde viene effettuato tramite gallerie (ferroviarie, stradali, ecc.) progettate per fini chiaramente diversi (ad esempio, la galleria autostradale del Gran Sasso).

Per trincea drenante si intende uno scavo a cielo aperto più o meno lungo, della profondità di qualche

metro, eseguito pressoché perpendicolarmente alle direzioni preferenziali di flusso delle acque sotterranee e finalizzato alla captazione di sorgenti o al drenaggio di falde poco profonde; tali opere vengono usate specialmente quando l'area sorgiva è ampia e comprende numerose polle più o meno localizzate che scaturiscono dalla copertura, mentre la piezometrica si mantiene ovunque a piccola profondità.

Si tratta di un'opera relativamente semplice ed economica, anche se non sempre completamente efficace, che viene realizzata effettuando uno scavo a sezione trapezia relativamente poco profondo (6 ÷ 8 m al massimo) ad andamento planimetrico sovente irregolare, poiché segue l'andamento ipsometrico e collega i vari punti di scaturigine. Al fondo dello scavo viene sistemata una canaletta o una tubazione di grande diametro opportunamente finestrata, che viene quindi circondata da un vespaio di materiale arido o ghiaia; lo scavo viene successivamente rinterrato e opportunamente protetto in superficie. La trincea così costruita opera una depressione della piezometrica: le acque sotterranee fluiscono attraverso la canaletta o le tubazioni verso il solito apparato di vasche, dal quale hanno origine le opere di derivazione.

I pozzi orizzontali possono considerarsi un'opera di presa orizzontale speciale: si tratta di opere di captazione costituite da veri e propri pozzi di piccolo diametro (generalmente dell'ordine dei 100 ÷ 200 mm), a sviluppo pressoché orizzontale, con i quali si raggiunge l'acquifero dopo aver superato, di norma, lo spessore impermeabile che costituisce la soglia di permeabilità. Detti fori, in pratica, sono sostitutivi delle gallerie drenanti; è infatti sufficiente perforarne un certo numero, eventualmente disponendoli a ventaglio, per captare in tutto o in parte la portata sorgiva. Rispetto alle gallerie presentano l'inconveniente di non essere ispezionabili e di poter raggiungere lunghezze massime dell'ordine dei 100 m; inoltre, non si prestano né all'emungimento di grandi portate né per opere di captazione in acquiferi caratterizzati da falde in rete le cui acque circolano prevalentemente lungo vie preferenziali. In compenso offrono il vantaggio della sostanziale economicità dell'intervento e della relativa rapidità di esecuzione; inoltre, possono essere perforati e condizionati anche in presenza di opere di captazione in esercizio, senza dover necessariamente sospendere l'erogazione dell'acqua (infatti, a foro ultimato, è sempre possibile evitare che esso liberi acqua chiudendo con un tappo o con una saracinesca).

Opere verticali

Tra le opere di presa verticali, le più usate sono quelle costituite da pozzi singoli o da batterie di pozzi contigui e possono essere utilizzati anche per la captazione di sorgenti. Dette opere vengono infatti utilizzate, per esempio, quando:

- le sorgenti sgorgano all'interno di centri abitati;
- la morfologia della soglia di permeabilità è piatta (per cui diventa difficile, se non impossibile, costruire gallerie o altri tipi di captazioni a quota anche leggermente più bassa di quella sorgiva);
- si deve captare parzialmente sia una singola polla che un fronte acquifero molto ampio;
- la costruzione di una galleria o altro tipo di opera più costosa non consentirebbe di captare ugualmente in modo globale la risorsa.

Per opere di presa di tipo misto, si intendono quelle opere di captazione di sorgenti e falde che, per motivi geologici, idrogeologici, geomorfologici, ecc. o per motivi legati alle esigenze dell'utenza, hanno uno sviluppo sia orizzontale che verticale ovvero nascono dall'accoppiamento o dall'accorpamento di due o più opere di captazione elementari. Per esempio, si possono ritenere opere miste quelle costituite da *pozzi con dreni radiali*. Questi consistono di uno scavo verticale di grande diametro (di solito, 3 ÷ 5 m), interamente rivestito, dal quale partono delle perforazioni orizzontali drenanti distribuite a raggiera in corrispondenza dei livelli acquiferi; questi raggi sono di piccolo diametro (4 ÷ 10 pollici, circa 10 ÷ 25 cm), possono arrivare fino a 40÷50 m di lunghezza e sono costituiti da tubi forati infissi nel terreno oppure da perforazioni riempite con tubi forati. Il loro uso può essere consigliato in acquiferi poco profondi e poco permeabili (sabbie fini) e quando non si vuole abbassare troppo il livello piezometrico, ad esempio negli acquiferi costieri con problemi di intrusione salina.

La classica opera di captazione mista è rappresentata dalle gallerie drenanti con pozzi; queste, in genere, rispondono all'esigenza di seguire un particolare livello o vena acquifera onde sfruttarla al meglio, oppure, nel caso di opere drenanti una serie stratificata, per captare l'acqua eventualmente presente in un acquifero secondario sovrastante il livello in cui si addentra la galleria.

Scelta dell'opera di presa in relazione al tipo di sorgente

La captazione di una *sorgente per limite di permeabilità indefinito* è sempre legata alla mancanza di un substrato impermeabile geometricamente definito a sostegno della falda o rete acquifera alimentante, il che significa che l'opera non può essere fondata sul livello impermeabile e che non è quasi mai possibile tentare di incrementare le portate deprimendo la quota di sfioro. Le sorgenti di questo tipo, tipiche delle zone calcaree e scistoso-cristalline, hanno quasi sempre portate non molto elevate ed elevati indici di variabilità in dipendenza di alimentazioni di tipo pluviale e dell'assenza di un vero serbatoio a monte; esse vengono generalmente captate mediante bottini di presa o semplici drenaggi.

Le sorgenti per limite di permeabilità definito sono invece sempre facilmente captabili con molteplici soluzioni tecniche; tra queste, quella più efficace appare costituita da una galleria drenante che segue verso monte e lateralmente il limite definito di permeabilità, impegnando il substrato impermeabile con la platea e parte dei piedritti. Soluzioni meno onerose, in funzione dell'entità delle manifestazioni sorgive, possono essere fornite da bottini di presa o da drenaggi: queste opere possono risultare abbastanza efficienti, anche se non migliorano certo il rendimento naturale delle scaturigini e possono a volte essere poco sicure dal punto di vista igienico. Anche le trincee drenanti possono venire impiegate con successo, in particolare quando l'acquifero è costituito da roccia incoerente o quando la sorgente geologica è mascherata da una copertura troppo spessa per poterla asportare completamente.

Le sorgenti per soglia di permeabilità comprendono la quasi totalità delle grandi scaturigini dell'Appennino, in particolare, e di quasi tutti i sistemi montuosi a tettonica più o meno complessa e recente. Nel caso delle sorgenti per soglia sovrainposta, le opere di presa più indicate sono quelle in falda. Si possono distinguere due casi generali:

- nel primo, immediatamente a valle delle scaturigini, l'acquifero si trova a profondità subito elevata rispetto al p.c., comunque tali da rendere inadeguata una captazione con pozzi. Le soluzioni ottimali per la captazione sono quelle della galleria drenante che superi la soglia di permeabilità o di una trincea drenante in corrispondenza della soglia stessa;
- nel secondo, l'acquifero rimane a breve profondità nella zona sorgiva: pur rimanendo valida la soluzione della trincea drenante e, talora, quella della galleria, l'opera che sembra adattarsi in maniera ottimale è una captazione per pozzi.

La galleria drenante sembra essere il tipo d'opera che meglio si presta per la captazione delle sorgenti per soglia sottoposta. Nei frequenti casi in cui la topografia della zona lo permette, è ottimale costruire un cunicolo di approccio che attraversi la soglia di permeabilità ad una quota più bassa di quella delle emergenze naturali, addentrandosi nell'acquifero; spesso il cunicolo di approccio basta a captare le quantità prefissate d'acqua, calcolate in base all'ammontare delle riserve regolatrici medie, altrimenti l'opera viene dotata di braccia trasversali di lunghezza sufficiente. Nel caso di sorgenti di questo tipo con portate non abbastanza grandi da rendere conveniente un'opera costosa come una galleria, è possibile spillare il serbatoio acquifero mediante uno o più pozzi orizzontali

o poco inclinati, perforati attraverso la soglia di permeabilità.

Le sorgenti per affioramento della superficie piezometrica rivestono particolare importanza soprattutto per il loro significato idrogeologico che trascende largamente il fenomeno localizzato: esse testimoniano, cioè, dell'esistenza di una falda o rete acquifera il cui sfruttamento può essere condotto anche a prescindere dalle manifestazioni sorgive stesse. In condizioni normali, una sorgente per affioramento della piezometrica di una falda libera viene captata per pozzi o per trincea drenante a seconda della situazione logistica della zona e del tipo litologico dell'acquifero; si preferiscono i pozzi nel caso di un acquifero lapideo, mentre le trincee sono più indicate per terreni sciolti o semicoerenti. Nel caso delle sorgenti per affioramento della piezometrica di falda o rete in pressione, il tipo di opera più idoneo è il pozzo di captazione.

10.6. Problematiche ambientali

10.6.1. Aspetti generali

La realizzazione di un pozzo per acqua può rappresentare una significativa perturbazione del contesto idrogeologico del sottosuolo sotto il profilo quantitativo come qualitativo e sia in riferimento a condizioni dinamiche, durante lo sfruttamento, sia statiche dovute alla realizzazione stessa del pozzo.

In condizioni dinamiche gli emungimenti dal pozzo determinano l'abbassamento dei carichi piezometrici ed anche importanti variazioni delle direzioni di deflusso. In conseguenza della depressurizzazione possono originarsi problematiche di tipo geotecnico, dovute alla consolidazione di orizzonti coesivi confinanti od interclusi, od anche di tipo idrochimico, legate al travaso di acque provenienti da corpi idrici confinanti, di natura e caratteristiche diverse, in alcuni casi dovute a circuiti più isolati e di qualità scadente. Un caso del tutto particolare è rappresentato a quest'ultimo proposito dall'ingressione del cuneo salino nelle falde di acqua dolce degli acquiferi costieri.

Nella buona pratica tali situazioni di rischio e potenziale crisi, potrebbero essere già state individuate dagli strumenti di pianificazione urbanistica e settoriali ed in quei contesti, analizzati su di una scala rappresentativa. Le prescrizioni di questi strumenti di governo del territorio potranno così meglio circostanziare e mirare le indagini idrogeologiche sul singolo pozzo. Esse potranno limitarsi, ad esempio, ad una precisa verifica delle ipotesi di governo, tramite

la quantificazione di indicatori di processo acquisiti da un monitoraggio dedicato ante e post operam.

Capita peraltro spesso anche il caso in cui una valutazione idrogeologica di fattibilità o compatibilità ambientale dello sfruttamento della risorsa idrica sia demandata, per intero, al livello del singolo intervento, rendendola certo meno significativa per le inevitabili limitazioni di risorse, e tempi di esecuzione dell'indagine. Ben raramente, infatti, la verifica dell'ammissibilità di uno sfruttamento, sia sotto il profilo quantitativo che qualitativo, può essere valutata alla scala della singola opera.

Per definire condizioni e limiti allo sfruttamento della risorsa si deve disporre di studi e bilanci più generali, mentre alla scala della singola opera si possono prescrivere, a seconda dei casi, più utili strumenti di monitoraggio. Al livello del singolo pozzo, inoltre, è da considerare un'ulteriore problematica, spesso sottovalutata, relativa alla continuità di orizzonti acquicliudi.

10.6.2. Separazione delle Falde

Attraverso il pozzo possono miscelarsi acque di diversa origine e qualità, che in condizioni naturali sarebbero rimaste separate.

Mentre nel caso dei sondaggi geognostici, con l'abbandono del perforo non rivestito, è possibile con la cementazione ed anche con la naturale tendenza alla chiusura dei terreni incoerenti o coesivi, ricostruire la barriera impermeabile, nella realizzazione di un pozzo per acqua la messa in comunicazione di falde sovrapposte può risultare permanente a seguito del completamento del perforo (posa in opera della tubazione di rivestimento definitivo e del dreno artificiale). Di regola il dreno artificiale dovrebbe venir installato solo in corrispondenza dei tratti filtranti della tubazione; argilla pellettizzata auto espandente (*compactonit*) o cementazione con malta antiritiro dovrebbero invece essere utilizzati nell'intercapedine fra tubazione cieca e perforo.

Soprattutto per le captazioni destinate al consumo umano più facilmente vulnerabili, la buona pratica di isolare comunque, anche se poi captate nella stessa colonna, falde naturalmente separate da orizzonti acquicliudi consente comunque l'eventuale successiva sigillatura di uno o più degli orizzonti emunti, qualora la sua/loro qualità dovesse degradarsi, senza dover demolire e ricostruire ex-novo il pozzo. Tale schema costruttivo permette inoltre, mediante l'uso di *pakers* di campionare ed emungere, in regime ridotto, ciascuna falda separatamente per poterne determinare la qualità.

Sotto il profilo normativo, esistono indicazioni generali date dalla Delibera C.I.T.A.I. del 04/02/1977

(ex L. 319/1977) riportate nelle norme tecniche generali per la regolamentazione dell'installazione e dell'esercizio degli impianti di acquedotto e che a proposito delle opere di captazione da falde recitano:

“Le perforazioni saranno eseguite in modo da evitare la comunicazione tra falde diverse, provvedendo tra l'altro alla cementazione delle falde non interessate alla utilizzazione”.

Perché l'enunciazione di principio potesse tradursi in norma applicabile, è purtroppo però sempre mancata, fino ad oggi, una definizione univoca di che cosa si intende per separazione di falde da parte delle Autorità competenti. Si tratta di una questione tecnica che, a fronte di una modesta complessità concettuale e scientifica, ha notevoli ricadute pratiche. Eppure a tutt'oggi, la formalizzazione istituzionale della materia è del tutto assente con l'unica eccezione della Regione Piemonte, forse non a caso, viste le problematiche in cui è incorsa con l'emergenza atrazina dal finire degli anni '80.

Vale la pena riportare in estrema sintesi i contenuti di successivi atti legislativi e regolamentari con i quali la Regione Piemonte si è misurata, in concreto, per la definizione di giusti indirizzi per la tutela della risorsa idrica sotterranea.

La L.R.P. 22/1996 riconosce che il divieto di comunicazione tra falde diverse deve intendersi, almeno, riferito alla falda freatica e la/le falde in pressione o confinate.

- Per falde freatiche o con superficie libera si intendono quelle falde che sono in equilibrio idraulico con il reticolato idrografico di superficie.
- Per falde in pressione o confinate si intendono quelle falde separate dalle acque superficiali da strati impermeabili e la cui superficie piezometrica si colloca ad una quota superiore a quella del tetto dell'acquifero.
- Per la tutela e la protezione della qualità delle acque sotterranee è vietata la costruzione di opere che consentano la comunicazione tra le falde in pressione e la falda freatica.

Per quanto incompleta, in quanto non considera la possibilità che il pozzo ponga in comunicazione due falde profonde distinte, la L.R.P. 22/1996 ha comunque il merito di trasformare quella che era una mera indicazione (Delibera C.I.T.A.I. del 1977) in un espresso “divieto”.

La definizione si è fatta più articolata con una successiva e recente modifica data dalla L.R.P. 6/2003:

– Per falda freatica, superficiale o libera, si intende la falda più vicina alla superficie del suolo alimentata direttamente dalle acque di infiltrazione superficiali ed in diretta connessione con il reticolo idrografico.

– Per falde profonde si intendono quelle poste al di sotto della falda freatica ove presente e cioè le falde confinate, le falde semiconfinate e le falde ospitate nelle porzioni inferiori dell’acquifero indifferenziato. caratterizzate da una bassa velocità di deflusso, da elevati tempi di ricambio e da una differente qualità idrochimica rispetto a quelle ospitate nelle porzioni più superficiali del medesimo.

...

– Per la tutela e la protezione della qualità delle acque sotterranee è vietata la costruzione di opere che consentano la comunicazione tra le falde profonde e la falda freatica.

– La Giunta regionale definisce i criteri tecnici per l’identificazione della base dell’acquifero superficiale corredati da apposita cartografia, cui fare riferimento per l’applicazione delle disposizioni della presente legge.

Tra le due definizioni normative si collocano esperienze e studi significativi sulla conoscenza della risorsa idrica sotterranea. La Provincia di Torino si è impegnata in una definizione più compiuta della falda profonda, cioè della risorsa da proteggere, attraverso l’acquisizione di conoscenze idrochimiche, isotopiche ed idrogeologiche giungendo, in ogni caso, alla predisposizione di uno strumento di impiego operativo rappresentato dalla Carta della Base dell’Acquifero Superficiale.

Su questi presupposti non sorprende lo sforzo fatto dalla Regione Piemonte anche nel normare l’attuale delicato passaggio del riconoscimento delle concessioni preferenziali mutate dal DPR 238/1999 e L. 36/1994. Anche in presenza di opere già realizzate, infatti, con il Regolamento 4R/2001 si riserva la possibilità di intervenire tramite:

- individuazione d’ufficio delle istanze che contemplano prelievi da pozzi potenzialmente intercettanti le falde in pressione;
- richiesta di integrazioni tecniche con le verifiche ed i provvedimenti del caso incluso un possibile “ricondizionamento” dei pozzi

Non è azzardato prevedere che la questione della separazione dei circuiti idrogeologici, sarà in futuro chiamata sempre più spesso in causa, considerati i benefici ambientali, sia per i sistemi idrici superficiali per gli aspetti quantitativi, sia per quelli profondi per quelli qualitativi, a fronte di sempre più esigenti standard

ambientali (Direttive Europee WFD 2000/60/CE e più recente GWDD 2006/118/CE).

I benefici attesi dall’abbandono o ricondizionamento di pozzi inidonei possono esplicarsi in vario modo, con situazioni che variano in dipendenza di condizioni idrogeologiche e piezometriche caratteristiche delle zone rispettivamente di ricarica o scarica (risorgiva). Nelle zone di ricarica dove il livello piezometrico delle falde superiori è maggiore delle falde profonde, con la separazione delle falde si evita la drenanza artificiale indotta da pozzo, verso falde profonde possibilmente più permeabili e trasmissive, con i seguenti risultati:

- ricostituzione dell’originario grado di protezione dell’acquifero profondo nei confronti degli inquinamenti superficiali;
- mantenimento di risorse idriche superficiali funzionali al ravvenamento dei corsi d’acqua delle zone umide e degli ambienti ecologici connessi.

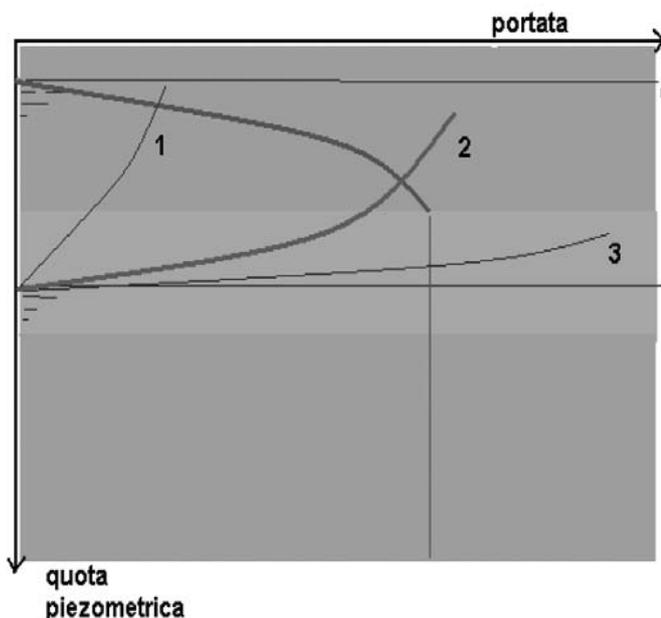
Anche per un singolo pozzo, infatti, i volumi in gioco, possono risultare non trascurabili, considerando che una falda freatica interamente messa all’asciutto da un livello piezometrico più basso del suo letto da parte di una falda sottostante, beninteso di maggiore trasmissività, può drenare verso l’acquifero profondo una portata pari al massimo abbassamento ottenibile.

A questo proposito si cita un recente ed innovativo progetto¹³ relativo ad un corso d’acqua dello stato di Washington negli Stati Uniti, che punta alla ricostituzione della falda superficiale connessa al corso d’acqua attraverso il ricondizionamento di 12 vecchi pozzi che sembrano drenare in modo significativo verso il sottostante acquifero regionale dei basalti del Fiume Columbia. I 12 pozzi individuati saranno ricondizionati attraverso l’estrazione della tubazione esistente di 6” e contemporanea introduzione di una tubazione di diametro inferiore di 4” con realizzazione di opportuni e profondi setti in cemento (*deep grout seals*). I benefici ambientali attesi riguardano soprattutto il ripristino di sorgenti, portate estive più consistenti e fresche nel corso d’acqua e dei sistemi vegetazionali e di habitat ripari.

Da un punto di vista idraulico si può osservare che il drenaggio della falda superficiale sarà incrementato quanto maggiore sarà la differenza in termini di trasmissività delle due unità acquifere. Nella figura sotto riportata sono rappresentate due falde separate da un livello acquicludo all’interno del diagramma della curva caratteristica portate-abbassamenti. A fronte della curva indicata in rosso, che rappresenta le portate drenate dall’acquifero superiore in funzione degli abbassamenti indotti, le tre curve in celeste riguardano curve caratteristiche “inverse” di falde con diversa trasmissività: 1 - bassa, 2 - media, 3 - alta.

¹³ <http://www.nwcouncil.org/fw/budget/innovate/proposal.asp?id=968>

Osservando le diverse intersezioni delle curve rossa e celesti che rappresentano necessariamente, a portata costante, l'altezza piezometrica d'equilibrio, si può notare come l'altezza piezometrica sia governata dallo strato più trasmissivo e come nel caso 1 le portate drenabili siano impedito, di fatto, dal rapido innalzamento nello strato meno trasmissivo.



Nelle zone di emergenza o risorgiva dove, viceversa si osservano livelli piezometrici delle falde in pressione che possono eccedere i livelli piezometrici delle falde superficiali se non, più raramente, la superficie stessa del piano campagna, le comunicazioni tra la falda superficiale e la falda profonda sono limitate dalle condizioni idrauliche, almeno in condizioni statiche. Ma anche in questi casi condizioni piezometriche dinamiche e più in generale gli stati di forte stress idrico possono mutare radicalmente la situazione riportandola al caso precedente, rendendo possibile nuovamente la drenanza artificialmente indotta.

Non è casuale, forse, l'interesse in tema di separazione delle falde da parte di una Regione come il Piemonte, dove le pianure presentano tipicamente le caratteristiche di aree di risorgiva.

La problematica della regolamentazione della separazione delle falde verte, in ultimo, sulla discriminante tra situazioni multistrato e multifalda.

Due approcci che possono opportunamente integrarsi consistono da un lato nella rappresentazione cartografica, per situazioni locali di interesse, degli orizzonti geometrici di separazione e, dall'altro, in riferimenti, più generali ed univoci, applicabili an-

che in situazioni isolate che fissano i requisiti minimi di un orizzonte di protezione che è preferibile mantenere come tale.

Il primo approccio, va mirato a situazioni note e/o di elevata criticità. Per i corpi idrici significativi della Toscana, che ospitano, ad esempio sistemi acquiferi notoriamente multifalda come nel caso del Valdarno Inferiore (es. zona di Mortaiolo, con prima falda confinata a 40 m e falde profonde > 100 m), gli orizzonti di separazione di questi sistemi potrebbero essere ricostruiti così come gli ambiti geografici corrispondenti entro i quali la separazione è ritenuta significativa. Per disporre di questo tipo di rappresentazioni, in forma di superfici a curve isobate, occorre disporre di ricostruzioni geometriche in parte già avviate, ma anche come visto per la Provincia di Torino, anche di sforzi ulteriori per la raccolta di informazioni e criteri di tipo stratigrafico, idrogeologico ed idrochimico.

Il secondo approccio, più generale e basato su conoscenze più strettamente locali, limitate in ultima analisi anche alla sola stratigrafia risultata dalla perforazione, può essere applicato in modo diffuso e generale nelle aree non interessate da valutazioni specifiche. La semplice analisi stratigrafica ed idrogeologica può fornire gli elementi per la verifica di una soglia minima del rapporto (b/K) che gli interstrati acquitardi/acquicludi devono possedere per dar luogo ad uno strato di protezione.

Per i fini proposti che sono quelli della definizione di una soglia minima di "resistenza" idraulica oltre la quale si può assumere ragionevole ed opportuno mantenere un tale stato di separazione il parametro b/K che ha le dimensioni di un tempo appare il più idoneo allo scopo; si tratta infatti di un parametro verificabile sia tramite specifiche prove idrauliche, di tipo pozzo-piezometro (drenanza) o per la determinazione della permeabilità in sito di tipo Lefranc, sia infine assumendo opportuni valori cautelativi di letteratura per K per i litotipi riportati dalla stratigrafia.

Tra i possibili riferimenti per una soglia minima di protezione si riportano:

1. il Documento d'Intesa Stato-Regioni relativo alla perimetrazione delle aree di salvaguardia, che indica nell'allegato tecnico un tempo di percorrenza minimo di 40 anni ($\text{porosità efficace} * b/K$) in condizioni di $i = 1$.
2. la Regione Piemonte, ancora con il recente Regolamento 15/R/2006 sulla "Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque destinate al consumo umano (L.R. 29 dicembre 2000, n. 61)." ha sviluppato ulteriormente le indicazioni:

Ai fini del presente reeolamento un acquifero si intende protetto quando i risultati delle indagini nel sottosuolo e le prove idrogeologiche verificano simultaneamente le seguenti condizioni:

- a) vulnerabilità intrinseca bassa;
- b) profondità dal piano campagna del tratto cementato di almeno 50 metri;
- c) tempo di arrivo dalla superficie di almeno 40 anni, in condizioni cautelative (condizioni di saturazione, percorso verticale, gradiente $i = 1$);
- d) livelli di protezione dell'acquifero sufficientemente continui ed estesi arealmente almeno all'isocrona 365 giorni.
- e) adeguato condizionamento del pozzo attraverso la presenza di uno o più tamponi impermeabili, di adeguato spessore, in modo tale da escludere possibili fenomeni di drenaggio da falde soprastanti;
- f) assenza, nell'area compresa dall'isocrona 365 giorni, di pozzi captanti lo stesso acquifero a destinazione diversa da quelli utilizzati a scopo potabile.

È inoltre necessario eseguire sul pozzo oggetto di studio, una specifica prova di emungimento a portata costante di lunga durata (almeno 24 ore), alla massima portata di esercizio, monitorando, attraverso almeno un piezometro adeguatamente impostato alla base dell'acquifero libero e ubicato nelle immediate vicinanze del pozzo, gli effetti dell'emungimento sull'acquifero freatico.

3. La Regione Lombardia che dà la seguente definizione:
 - *acquifero protetto (o confinato, o secondo) o falda protetta: acquifero idraulicamente separato dalla superficie o dalla falda libera soprastante da terreni impermeabili, che può ricevere apporti solo laterali. Ove tale separazione non sia ravvisabile a scala regionale, secondo quanto previsto dalla pianificazione di settore, si deve considerare protetto un acquifero separato dall'acquifero soprastante da uno o più corpi geologici, con una congrua continuità areale, di cui almeno uno abbia uno spessore minimo di 10 metri e una conducibilità idraulica inferiore a 10^{-8} m/s;*

10.6.3. La gestione del cantiere

I materiali di risulta che si originano dalla perforazione di un pozzo per acqua devono essere opportunamente gestiti per prevenire possibili effetti negativi

sull'ambiente. In relazione alla loro consistenza, è prassi distinguere i materiali di risulta in "fanghi di perforazione" (non palabili) e "detriti di perforazione" (palabili); in entrambi i casi si tratta di rifiuti speciali non pericolosi, salvo il caso in cui siano contaminati in misura tale da renderli pericolosi, come può verificarsi nel caso di perforazioni che interessino siti inquinati. È da escludere, almeno nella realizzazione di pozzi per acqua, l'utilizzo di additivi che presentino caratteristiche di pericolosità per l'ambiente e per l'uomo.

La gestione di tali rifiuti deve avvenire secondo quanto disposto dalla parte IV del D.Lgs. 152/2006, per cui i principali adempimenti a carico del produttore del rifiuto sono i seguenti:

- ✓ *Classificazione del rifiuto:* si tratta di attribuire il codice CER appropriato, riportato all'allegato D degli allegati alla parte IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., scelto sulla base del processo produttivo che genera il rifiuto. Di seguito è riportata la parte dell'allegato D pertinente la classificazione dei rifiuti che possono originarsi nelle attività di perforazione:
 - 01 Rifiuti derivanti da prospezione, estrazione da miniera o cava, nonché dal trattamento fisico o chimico di minerali;*
 - 01 05 fanghi di perforazione ed altri rifiuti di perforazione;*
 - 01 05 04 fanghi e rifiuti di perforazione di pozzi per acque dolci;*
 - 01 05 05 * fanghi e rifiuti di perforazione contenenti oli*
 - 01 05 06 * fanghi di perforazione ed altri rifiuti di perforazione contenenti sostanze pericolose;*
 - 01 05 07 fanghi e rifiuti di perforazione contenenti barite, diversi da quelli delle voci 01 05 05 e 01 05 06;*
 - 01 05 08 fanghi e rifiuti di perforazione contenenti cloruri, diversi da quelli delle voci 01 05 05 e 01 05 06*
 - 01 05 99 rifiuti non specificati altrimenti;*
- ✓ *Trasporto del rifiuto:* deve essere effettuato da soggetto iscritto all'Albo Nazionale Gestori Ambientali ai sensi dell'art. 212 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. o, in alternativa, dal produttore del rifiuto non pericoloso stesso, previa presentazione di Comunicazione all'Albo Gestori secondo quanto previsto al comma 8 dello stesso articolo.
- ✓ *Corretto smaltimento/recupero del rifiuto avviandolo a impianto autorizzato a ricevere tale tipologia di rifiuto:* Le attività di recupero ammesse per fanghi e detriti di perforazione sono individuate al sub-allegato 1 all'allegato 1 del DM 05/02/1998 e s.m.i., che si riporta di seguito:

7.14 Tipologia: detriti di perforazione [01 05 07] [01 05 04] [17 05 04].

7.14.1 Provenienza: attività di trivellazione pali di fondazione su terreno vergine; ricerca e coltivazione idrocarburi su terra e in mare; ricerca e coltivazione geotermica; perforazioni per ricerche e coltivazioni minerarie in generale; perforazioni geognostiche di grande profondità; perforazioni per pozzi d'acqua.

7.14.2 Caratteristiche del rifiuto: detriti con presenza di acqua/bentonite, di acqua/bentonite/barite, di olio/organo-smectiti/barite contenenti idrocarburi in concentrazioni inferiori a 1000 mg/kg sul secco, IPA <10 ppm.

7.14.3 Attività di recupero:

- a) cementifici [R5].
- b) utilizzo per recuperi ambientali, previa eventuale desalinizzazione (il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto) [R10].
- c) utilizzo per copertura di discariche per RSU; la percentuale di rifiuto utilizzabile in miscela con la materia prima non dovrà essere superiore al 30% in peso (il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto)[R5].

7.14.4 Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti:

- a) cemento nelle forme usualmente commercializzate.

7.15 Tipologia: fanghi di perforazione [01 05 07] [01 05 04].

7.15.1 Provenienza: attività di trivellazione pali di fondazione su terreno vergine; ricerca e coltivazione idrocarburi su terra e in mare; ricerca e coltivazione geotermica; perforazioni per ricerche e coltivazioni minerarie in generale; perforazioni geognostiche di grande profondità; perforazioni per pozzi d'acqua.

7.15.2 Caratteristiche del rifiuto: fango a base di acqua/bentonite, di acqua/bentonite/barite, di olio/organo-smectiti/barite con eventuale presenza di terriccio, contenenti idrocarburi in concentrazioni inferiori a 1000 mg/Kg sul secco, IPA <10 ppm.

7.15.3 Attività di recupero:

- a) industria dei laterizi nell'impasto e industria di produzione dell'argilla espansa, previa eventuale disidratazione e desalinizzazione [R5];
- b) produzione di aggregati artificiali mediante processo termico di sinterizzazione [R5].
- c) cementifici [R5].
- d) utilizzo per recuperi ambientali previa eventua-

le disidratazione e desalinizzazione (il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto ad esclusione del parametro COD) [R10].

- e) utilizzo per copertura di discariche per RSU; la percentuale di rifiuto utilizzabile in miscela con la materia prima non dovrà essere superiore al 30% in peso (il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto ad esclusione del parametro COD)[R5]:

7.15.4 Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti:

- a) laterizi e argilla espansa nelle forme usualmente commercializzate.
- b) aggregati artificiali nelle forme usualmente commercializzate
- c) cemento nelle forme usualmente commercializzate [R5].

Per intraprendere le attività di recupero rifiuti previste dal D.M. 05/02/1998 è sufficiente seguire la procedura semplificata prevista dagli artt. 215-216 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., presentando una "comunicazione d'inizio attività" alla provincia territorialmente competente. L'attività di recupero può essere intrapresa decorsi 90 giorni dalla presentazione della comunicazione, secondo le modalità tecnico-operative previste dal DM 05/02/1998 e ottemperando alle eventuali prescrizioni rilasciate dalla Provincia.

Qualora l'attività di recupero non rientri fra quelle previste dal D.M. 05/02/1998, il rilascio dell'autorizzazione seguirà la procedura ordinaria prevista dall'art. 208 del D.Lgs. 152/2006.

Una possibile semplificazione degli adempimenti connessi alla gestione dei materiali di risulta può essere costituita dalla possibilità di utilizzare i detriti di perforazione per la realizzazione di opere di cantiere quali per esempio il ripristino morfologico dell'area d'intervento a fine lavori, ovviamente nel caso in cui nella perforazione non siano stati utilizzati additivi. In tal caso, mancando l'intenzione, l'atto o l'obbligo del produttore di disfarsi del materiale di risulta, cade la condizione soggettiva necessaria per definire il materiale di risulta "rifiuto" e assoggettarlo alla relativa disciplina. È da precisare che questa eventualità presuppone che la descrizione delle modalità di utilizzo del materiale di risulta della perforazione dovrà necessariamente far parte del progetto dell'opera di captazione da presentare all'Autorità Competente, che ne dovrà valutare l'ammissibilità. In caso contrario si rischia la contestazione di attività di smaltimento incontrollato di rifiuto.

Una ulteriore necessità alla quale si deve far

fronte durante la realizzazione di un pozzo per acqua è quella di rilasciare, di solito verso il reticolo idrico superficiale, le acque che si originano sia durante la perforazione che nelle successive fasi di sviluppo e spurgo del pozzo. Il rilascio di queste acque all'ambiente, specie nei casi in cui nella perforazione vengano utilizzati additivi, non è esente da implicazioni ambientali, in molti casi sottovalutate dagli addetti ai lavori; in particolare, si può riscontrare elevata torbidità determinata dalla presenza residuale di particelle argillose o elevati contenuti di materiali sedimentabili, connessi ad una inefficace o inesistente decantazione dei fluidi di perforazione; all'utilizzo degli schiumogeni è invece connessa la presenza di tensioattivi nei fluidi di perforazione, per cui il loro utilizzo dovrebbe essere accompagnato da un attento controllo dei dosaggi in corso d'opera. In tutti i casi suddetti si possono riscontrare impatti significativi sui corpi idrici recettori, che possono andare dall'aumento di torbidità delle acque alla comparsa di schiume lungo l'asta fluviale, specie quando un flusso delle acque turbolento favorisce la loro formazione.

Per quanto concerne l'inquadramento normativo di tali rilasci, ad una prima valutazione l'immissione in corpo idrico recettore di acque provenienti da cantieri per la realizzazione di pozzi per acqua sembrerebbe poter rientrare nella disciplina delle "acque di restituzione" contenuta nell'art. 114 del D.Lgs. 152/2006.

In particolare il comma 1 recita:

"Le Regioni, previo parere del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, adottano apposita disciplina in materia di restituzione delle acque utilizzate per la produzione idroelettrica, per scopi irrigui e in impianti di potabilizzazione, nonché delle acque derivanti da sondaggi o perforazioni diversi da quelli relativi alla ricerca ed estrazione di idrocarburi, al fine di garantire il mantenimento o il raggiungimento degli obiettivi di qualità di cui al titolo II della parte terza del presente decreto".

La Regione Toscana ha già adottato una prima disciplina in materia di "acque di restituzione" nell'ambito della L.R. 20/2006, provvedendo fra l'altro, all'art. 2, anche a darne una puntuale definizione, che il legislatore aveva colpevolmente tralasciato nel D.Lgs. 152/2006:

c) acque di restituzione: acque utilizzate per la produzione idroelettrica, per scopi irrigui e in impianti di potabilizzazione, nonché acque derivanti da sondaggi e perforazioni diversi da quelli relativi alla ricerca ed estrazione di idrocarburi, a condizione che siano:

1) prelevate a seguito di concessioni e permessi di cui al Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 (Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici);

2) restituite allo stesso corpo idrico di provenienza o a quello al quale sarebbero state naturalmente destinate.

La condizione riportata al punto 2 della definizione introduce un primo elemento di incertezza sull'effettiva configurabilità delle acque di perforazione dei pozzi fra le "acque di restituzione", in quanto queste non vengono normalmente restituite al corpo idrico di provenienza (la falda), ma al reticolo idrico superficiale che non costituisce necessariamente la loro naturale destinazione, tanto più se la perforazione avviene con uso di additivi.

All'art. 11 della L.R. 20/2006 sono riportate le "Disposizioni per il rilascio di acque di restituzione"; in particolare il comma 1 recita:

"Ai fini della tutela delle acque, del mantenimento e del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione previste dal piano di tutela, il rilascio nei corpi idrici di acque di restituzione è soggetto alle condizioni poste nel disciplinare di concessione che autorizza il prelievo delle acque successivamente restituite, ai sensi dell'articolo 12-bis, comma 1, del R.D. n. 1775/1933".

Il comma 6 dello stesso articolo contiene una specifica disposizione per le acque sotterranee:

b) la restituzione di acque sotterranee effettuata tramite perforazioni, di qualunque tipo, deve evitare comunque che le acque contenute nelle falde idriche attraversate, diverse da quella di provenienza, entrino in contatto con le acque restituite;

La disciplina delle acque di restituzione risulterebbe quindi pertinente a reimmissioni in falda di acque precedentemente prelevate (per esempio per gli impianti provvisti di pompe di calore). L'art. 11 della L.R. 20/2006 rimanda inoltre per molti aspetti ad un successivo regolamento attuativo che attende ancora di essere emanato e che auspichiamo fornisca elementi chiarificatori e definitivi in tal senso.

In mancanza di una chiara configurabilità delle acque di perforazione nell'ambito delle "acque di restituzione" non resta che richiamare come la giurisprudenza corrente inquadri questa tipologia di reflui come "acque reflue industriali", soggette pertanto al rilascio di autorizzazione allo scarico da parte dell'Amm.ne Prov.le territorialmente competente. A tale proposito la sentenza della Corte di Cassazione n° 39854 del 01/12/2006 (Presidente: Papa E. Estensore: Squassoni C. Imputato: P.M. in proc. Cocito), di cui si riporta di seguito la massima, fornisce una chiara indicazione degli orientamenti giurisprudenziali in merito.

"I reflui di attività di perforazione, nella specie per la realizzazione di un pozzo artesiano, costituiscono acque reflue industriali, in quanto non provenienti dal metabolismo umano e da attività domestiche, per

cui il loro sversamento richiede il preventivo rilascio dell'autorizzazione, in difetto della quale si configura il reato di cui all'art. 59 del D.Lgs. n. 152 del 1999”.

11. Pianificazione

11.1. Normativa di riferimento, enti competenti

La redazione di atti di governo del territorio da parte dei Comuni prevede la preventiva verifica della pericolosità geologica, idraulica e sismica in attuazione e rispetto delle previsioni pianificatorie più generali, a livello cioè di bacino (PAI), a scala regionale (PIT) e provinciale (PTC).

Gli studi idrogeologici di dettaglio, condizionando gli aspetti geomorfologici, geotecnici, idraulici e sismici, concorrono incisivamente all'individuazione di tale pericolosità.

Il nuovo regolamento regionale (DPGR 26R/2007) in attuazione delle direttive tecniche in materia di indagini geologiche di cui all'articolo 62 della L.R. 1/2005, è apparso, sin dalla prima stesura, poco puntuale riguardo la definizione ed il grado di approfondimento di aspetti imprescindibili da curare nell'ambito di uno studio idrogeologico di supporto alla pianificazione. Infatti, da questo punto di vista, la norma presenta una genericità prescrittiva (vedi *B.6 Elementi per la valutazione degli aspetti idrogeologici*; *C.4 Aree con problematiche idrogeologiche*; *2.2 Elaborati cartografici*) che di fatto rimanda al singolo professionista la valutazione e la risoluzione delle diverse problematiche; ciò si riflette inevitabilmente sull'impossibilità di imporre alle Pubbliche Amministrazioni, attraverso lo strumento normativo, quegli approfondimenti, che, seppur onerosi, risultano necessari alla formulazione di un idoneo quadro conoscitivo. Ad esempio, nessuna indicazione viene fornita dalle norme per la stesura della *carta idrogeologica*, a fronte di quanto era perlomeno elencato nella vecchia DGR 94/1984.

In sintesi, il rischio applicativo di questa norma è che possa essere ottemperata in modo esaustivo anche attraverso studi idrogeologici di taglio riduttivo, non adeguati pertanto a fornire un efficace quadro conoscitivo.

Poiché siamo solo alle fasi iniziali dell'applicazione del regolamento, abbiamo analizzato i passi salienti dell'articolato, allo scopo di mettere in evidenza il tipo di disposizione e darne un'interpretazione che consenta di mettere a punto uno standard di lavoro omogeneo e adattabile all'intero territorio regionale. Prima di esaminare i capitoli dedicati all'idrogeologia, già al punto B.3 si osserva:

B.3 “Elementi per la valutazione degli aspetti geo-

morfologici”: “*Nelle zone di versante sono in particolare approfonditi gli aspetti relativi ai fenomeni franosi. Per ogni frana è possibilmente evidenziata la zona di distacco, la zona di scorrimento (visibile o ipotizzata) e la zona di accumulo (se presente).*”

Nello studio dei movimenti franosi non può essere dimenticato che la maggior parte di questi è legata alla presenza dell'acqua: variazione delle pressioni interstiziali sotto i detriti, evoluzione delle falde in relazione agli eventi meteorici, meccanismi di formazione di orizzonti acquiferi sospesi all'interno del corpo di frana, in grado di rimobilizzare in tutto o in parte il corpo stesso.

L'aspetto idrogeologico è quindi da approfondire: in molti casi non è possibile spiegare il cinematisimo di una frana, aspetto richiesto specificamente nel regolamento, senza conoscere le caratteristiche idrogeologiche al contorno.

“*Nelle zone di pianura sono in particolare approfonditi gli aspetti legati alle forme di erosione e di accumulo fluviale, lacustre, marino, eolico. Per quanto riguarda l'ambiente fluviale, sono evidenziati anche gli elementi antropici quali le opere di difesa idraulica, in quanto elementi in interazione diretta con la dinamica d'alveo.*”

Per soddisfare quanto richiesto per le zone di pianura è necessaria una ricostruzione geometrica degli acquiferi, la ricostruzione degli scambi fiume - falda superficiale, la conoscenza delle oscillazioni di lungo periodo delle piezometriche nonché degli effetti indotti dagli emungimenti, e così via.

Al punto B.6 “Elementi per la valutazione degli aspetti idrogeologici”:

Con particolare riferimento alle unità territoriali organiche elementari (UTOE) potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, la ricostruzione dell'assetto idrogeologico (assetto strutturale e stratigrafico) è finalizzata alla individuazione dei corpi idrici sotterranei, alla definizione della loro configurazione, degli schemi della circolazione idrica sotterranea, delle eventuali interconnessioni tra acquiferi limitrofi e acque superficiali.

A tal fine possono essere utilizzati gli elementi presenti nel PIT, negli atti di pianificazione regionale nonché i dati e gli elementi elaborati dalle Amministrazioni provinciali nell'ambito delle specifiche competenze.

La ricostruzione è effettuata in maniera commisurata al grado di approfondimento ritenuto necessario ed alle caratteristiche idrogeologiche della parte di territorio studiata.

Sono inoltre indicati gli eventuali disequilibri in atto anche conseguenti ad azioni antropiche sulla risorsa (subsidenza, modifiche morfologiche quali

scavi o sbancamenti), nonché le potenziali situazioni di criticità (acquiferi di subalveo, zone di ricarica degli acquiferi).”

Per le UTOE anche parzialmente interessate da previsioni urbanistiche si richiede la ricostruzione geometrica dei corpi idrici sotterranei e della circolazione idrica anche attraverso la raccolta dei dati dai PIT, PTC ed altri lavori.

Gli approfondimenti devono servire ad individuare le criticità esistenti o potenziali, come ad esempio l’impatto di certe scelte urbanistiche sulla risorsa acqua.

Lo studio e la valutazione degli elementi idrogeologici deve portare ad evidenziare o a riconoscere le situazioni di criticità su cui porre particolare attenzione, in modo da evitare squilibri idrogeologici (vedi punto successivo, C.4)

C.4 “Aree con problematiche idrogeologiche”:

Sono evidenziate le aree che presentano situazioni sulle quali porre attenzione al fine di non generare squilibri idrogeologici.

Particolare attenzione è posta anche alla individuazione delle aree in cui la risorsa idrica è esposta o presenta un basso grado di protezione (falda libera in materiali permeabili e prossima al piano campagna; aree di affioramento di terreni litoidi molto fratturati; aree interessate da acquiferi in materiali carbonatici a carsismo sviluppato).

Per tali aree, che non necessariamente e univocamente possono essere associate ad una determinata classe di pericolosità, sono comunque fornite indicazioni sugli eventuali condizionamenti alla trasformabilità, da disciplinare in maniera specifica nel regolamento urbanistico in funzione delle destinazioni previste.”

Particolare attenzione deve essere posta all’individuazione delle aree in cui la risorsa idrica è esposta o presenta un basso grado di protezione ma ad esempio anche a quelle aree dove una spessa copertura impermeabile protegge la risorsa (inutile quindi parlare di coperture impermeabilizzanti ridotte), ma genera intenso scorrimento superficiale portando, su area vasta, ad una diminuzione dei tempi di corrivazione, con tutti i problemi che ne conseguono: la trasformabilità di queste aree, ottima per ubicazione di attività potenzialmente inquinanti, non potrà prescindere dalla realizzazione di un’opportuna rete scolante.

11.2. Elaborati delle indagini per il Piano Strutturale comunale e relative varianti

Cartografie

La relazione è corredata per i territori interessati dai

seguenti elaborati cartografici:

- Carta geologica
- Carta litologico-tecnica
- Carta geomorfologica
- Carta delle aree allagabili
- Carta della dinamica costiera
- Carta idrogeologica
- Carta delle Aree a pericolosità geomorfologica
- Carta della Aree a pericolosità idraulica
- Carta delle Aree con problematiche idrogeologiche
- Carta delle Aree con problematiche di dinamica costiera

Fra le cartografie da elaborare, sono evidenziate la *carta idrogeologica* e la *carta delle aree con problematiche idrogeologiche*. Per la DGR 94/1984 i contenuti della carta idrogeologica dovevano essere:

3.5.4. “CARTA IDROGEOLOGICA”

Nelle zone di pianura andrà sviluppato l’aspetto idrogeologico per definire le caratteristiche dell’acquifero, la quota e l’ampiezza delle escursioni della falda freatica, la presenza di terreni saturi, le condizioni di drenaggio superficiale, la possibilità di inondazioni. Le informazioni relative all’ubicazione dei pozzi, all’andamento della superficie piezometrica e alle linee di flusso, alle aree di possibile inondazione e alle aree soggette a ristagno, andranno indicate su apposita cartografia”.

Nel nuovo regolamento i contenuti delle cartografie non sono specificati: di fatto, è ragionevole supporre che la carta idrogeologica dovrà contenere tutte quelle informazioni di base necessarie per le valutazioni idrogeologiche e per individuare, ove presenti, le aree con problematiche idrogeologiche (vedi par. 2.6).

Per quanto concerne poi il Regolamento urbanistico, per l’aspetto idrogeologico non si individuano specifiche fattibilità ma si richiede che indagini e studi diano indicazioni per le limitazioni alla trasformabilità. In esso sono inoltre disciplinate in maniera specifica le eventuali situazioni connesse a problematiche idrogeologiche.

3.4 “Criteri generali per le situazioni connesse a problematiche idrogeologiche”

Nei casi in cui la destinazione prevista possa incrementare una situazione di squilibrio in atto della risorsa idrica o generare situazioni di criticità, la sua attuazione è subordinata alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di eliminazione o mitigazione dello stato di rischio accertato o potenziale, tenuto conto della natura della trasformazione e delle attività ivi previste. L’attuazione può essere anche condizionata al rispetto di specifiche prescrizioni tese a contenere i possibili rischi d’inquinamento.

Si pongono quindi limitazioni ad interventi per problematiche di inquinamento, per problematiche di ingressione salina – con specifico riferimento alle bonifiche, “*interventi interessanti l’entroterra e suscettibili di accentuare fenomeni di salinizzazione e costipamento dei sedimenti anche in relazione a cospicui emungimenti di acque freatiche e alle bonifiche idrauliche*” – per problematiche geotecniche a causa della variazione delle piezometriche in materiali compressibili saturi che possono portare a cedimenti o dissesti, tanto per citarne qualcuna.

12. Attività estrattive

12.1. Normativa di riferimento enti competenti

I geologi si occupano di attività estrattive a pieno titolo da circa venti anni, cioè a partire dall’applicazione della L.R. 36/1980, ed attualmente rappresentano la principale figura professionale che opera in questo settore: dalla prospezione geologico-mineraria alla pianificazione regionale, dalla progettazione di cave e miniere al recupero di siti estrattivi dimessi, dalla direzione lavori alla gestione tecnico amministrativa delle risorse, dalle valutazioni di impatto ambientale alle bonifiche dei siti inquinati.

Il geologo può svolgere dunque funzioni diverse, siano queste di natura tecnico-direttiva che di sorveglianza: sotto il profilo della qualità del processo produttivo, sotto il profilo della sicurezza e igiene del lavoro, ma anche sotto il profilo della protezione del territorio; in particolare, il geologo svolge mansioni di verifica e sorveglianza per l’attuazione delle misure di tutela dell’ambiente secondo le normative e le disposizioni autorizzative che possano riguardare la salvaguardia della risorsa idrica.

Questi compiti rivestono una grande importanza nell’ottica di organizzare un sistema di gestione attento ed incisivo in linea con una politica ambientale avanzata, specchio di scelte imprenditoriali rispettose della qualità della vita che in quanto tali, possono risultare utili all’intera comunità.

In questo campo la normativa cui fare riferimento è la seguente:

L.R. 78/1998 - Testo unico in materia di cave, torbiere, miniere, recupero di aree escavate e riutilizzo dei residui recuperabili.

L.R. 79/1998 - Norme per l’applicazione della valutazione di impatto ambientale.

D.Lgs. 152/2006 - Norme in materia di ambiente.

R.D. 1775/1933 - Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici.

L. 464/1984 - Norme per agevolare l’acquisi-

zione da parte del Servizio geologico della Direzione generale delle miniere del Ministero dell’industria, del commercio e dell’artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale.

I Comuni rilasciano l’autorizzazione per la coltivazione delle aree di cava a seguito dei pareri e delle prescrizioni delle Provincie, della Regione (ASL, ARPAT), dell’AdB e di eventuali consorzi di bonifica o autorità montane che fossero presenti.

Per la messa in opera di piezometri o per l’esecuzione di campagne di prospezione geognostica o geofisica si rientra nell’ambito autorizzativo provinciale e per quanto riguarda la L. 464/1984 nel campo di pertinenza di APAT - Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i Servizi Tecnici Nazionali, cui fanno capo il Servizio Geologico d’Italia e il Servizio di Geologia Applicata e Idrogeologia.

12.2. Indagini idrogeologiche e geochimiche a supporto dei progetti

In linea con la normativa, riveste una particolare importanza la ricostruzione della geometria dei corpi idrici superficiali e sotterranei e, di conseguenza, la conoscenza del sistema idrogeologico con il quale l’attività estrattiva può interferire. Un buon inquadramento idrogeologico rappresenta il punto di riferimento indispensabile su cui tarare il modello di valutazione e il sistema di controllo ambientale.

L’impianto del sistema di controllo (piano di monitoraggio) deve essere dimensionato e organizzato dal punto di vista temporale, per essere in grado di ricostruire la situazione di bianco (ante operam), per monitorare il sistema acquifero durante le varie fasi di avanzamento dei lavori e, a conclusione, per accertare lo stato ambientale dopo aver ultimato la coltivazione e le operazioni sistemazione a verde (post operam). Per questo motivo, le operazioni di indagine e di analisi devono avere inizio con anticipo rispetto all’apertura del cantiere.

Il piano di monitoraggio, essendo finalizzato al controllo ed alla verifica dei cambiamenti provocati su diverse componenti ambientali dall’attuazione del progetto, per poter comprendere i meccanismi di impatto dell’intervento ed il loro eventuale protrarsi nel tempo, è possibile che necessiti di aggiornamenti periodici. Grazie ad un sistema di controllo puntuale, oltre all’evoluzione dei fenomeni monitorati si ha anche la possibilità di verificare l’efficacia delle opere di contenimento e mitigazione adottate e di rilevare fenomeni imprevisti che possono modificare il quadro ambientale in maniera significativa.

Il rilascio dell’autorizzazione, ai sensi della

L.R. 78/1998, viene condizionato all'individuazione di una figura professionale ulteriore, il responsabile del piano di monitoraggio, che può essere lo stesso direttore responsabile o persona diversa che comunque dovrà sempre relazionarsi a questo. Tutte le direttive del responsabile del piano di monitoraggio, a cominciare dall'elenco degli incaricati per le varie fasi di controllo, come pure tutte le relazioni ed i risultati delle analisi effettuate, devono essere inviati agli organismi deputati al controllo (ARPAT e Comune) perché questi possano esercitare tempestivamente le proprie funzioni. Il responsabile del piano di monitoraggio sulla base del programma dei rilievi stabilito, è tenuto alla raccolta puntuale dei risultati conseguiti in ogni fase. Con riferimento ai risultati ottenuti, il responsabile provvede a redigere una Relazione tecnica di monitoraggio, completa dei documenti di analisi e dei relativi certificati, illustrando i risultati ed inviandola, in relazione ai tempi stabiliti, anche in questo caso ad ARPAT e Comune. La relazione oltre ad elencare i dati raccolti, entra in merito al procedere dei lavori e, qualora riguardo ai vari parametri si verificano scostamenti rispetto alle soglie di attenzione previste dalla normativa, propone interventi o procedure di lavoro per la mitigazione o la risoluzione del problema riscontrato. In questo caso il responsabile del piano di monitoraggio, se non coincidente con la figura del direttore responsabile, comunica immediatamente a questo la natura e le modalità degli interventi e delle procedure correttive individuate.

Facendo riferimento al D.Lgs 152/2006, per la determinazione dello stato qualitativo delle acque sotterranee, nell'Allegato 1 sono indicate le modalità di monitoraggio. In particolare, si specifica che relativamente a tutti i corpi idrici sotterranei il controllo dovrà riguardare i parametri di base seguenti:

- tenore di ossigeno
- valore del PH
- conduttività
- nitrati
- ione ammonio

Di caso in caso sarà poi necessario procedere nella ricerca di eventuali altri parametri che potrebbero essere presenti nella falda acquifera in relazione alla peculiarità dell'area di studio e di indagine (a titolo di esempio si riporta qualche caso possibile):

- prossimità del mare;
- cloruri, fluoruri, ferro e manganese (salinità s.l.);
- rifiuti da attività antropica;
- metalli pesanti, solventi;
- inquinamento da idrocarburi o bitumi;
- idrocarburi leggeri e pesanti, olii, idrocarburi;

- presenza di fitofarmaci o colture intensive;
- atrazina, dieldrin, al drin, etc.;
- rifiuti tessili o conciari;
- cromo esavalente, ammine, fenoli;
- industria galvanica;
- cianuri e metalli s.l.

Nell'allegato 5 alla tabella 2, vengono riportate le concentrazioni soglia di contaminazione relativamente alle acque sotterranee. In relazione ai risultati ottenuti dai rilievi e dalle analisi preliminari (per la determinazione del bianco ante operam), il responsabile del piano di monitoraggio in accordo con i professionisti che costituiscono il gruppo di monitoraggio, in relazione a quanto prescritto dalla normativa e di concerto con gli enti di vigilanza, deve definire il campo di variazione da considerare accettabile (% in più o in meno rispetto al valore medio).

Se durante le operazioni di controllo in corso d'opera, per qualcuno dei parametri sottoposti a prova si dovessero riscontrare valori inferiori, ovvero superiori, a quelli considerati nel campo di variazione naturale, viene superata la *soglia di attenzione* e conseguentemente si attiva una *procedura di controllo*. In relazione a questo, il responsabile del piano di monitoraggio entra in merito alla problematica individuata e, nel caso che il superamento del valore di soglia sia da imputarsi direttamente alle attività di coltivazione, nella sua relazione individua i sistemi più consoni di intervento per la modifica delle procedure di lavoro e se necessario, indica le modalità di disinquinamento.

Bibliografia

- ANPA** (2001) - *Linee guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Manuali e linee guida - 4/2001.
- Beretta G. P.** (1992) - *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*. Pitagora Editrice Bologna, Bologna, Italia, 812 pp.
- Carrara E., Rapolla A., Roberti N.** (1992) - *Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici*. Liguori Editore.
- Casadio M., Elmi E.** (2006) - *Manuale del Geologo*. Ed. Pitagora.
- Castany G.** (1985) - *Idrogeologia*. Flaccovio Editore.
- Castany G.** (1968) - *Prospection et methodes de l'hydrogeologie*. Dunod, Paris.
- Celico P.** (1986) - *Prospezioni idrogeologiche voll. I-II*. Liguori Editore.
- Cerbini G., Gorla M.** (2004) - *Idrogeologia Applicata. Principi, metodi e misure*. Edizioni Geo-Graph.
- Cerbini G.** (1992) - *Il manuale delle acque sotterranee*. Edizioni Geo-Graph.
- Chiesa G.** (1991) - *Pozzi per acqua*. Ed. Hoepli.
- Chiesa G.** - *Indagini geofisiche nei pozzi*. Ed. Geo-Graph.
- Chiesa G.** (2001) - *Specifiche tecniche per la chiusura di pozzi abbandonati*. Acque sotterranee, Fasc 4, dicembre 2001.
- Civita M.** (1972) - *Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione*. Memorie e note Ist. Geol. Appl. Napoli, 12, pp. 1-34.
- Civita M.** (1973) - *L'infiltrazione potenziale media annua nel massiccio del Matese (Italia Meridionale)*. Atti 2° Conv. Intern. Acque Sotterr., Palermo, pp. 1-14.
- Civita M.** (1987) - *La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le Carte di Vulnerabilità*. Atti Conv. "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova, pp. 9-18.
- Civita M.** (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & Pratica*. Pitagora Editrice, 325 pp.
- Civita M.** (2005) - *Idrogeologia applicata ed ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.
- Civita M., De Maio M.** (1997) - *SINTACS. Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologia e automazione*. Pitagora Editrice, 191 pp.
- Civita M., De Maio M.** (2000) - *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico - SINTACS R5 - A new parametric system for the assessment and automatic mapping of ground water vulnerability to contamination*, Quaderni e Tecniche di Protezione ambientale, 72, Pitagora, Bologna, 226 pp., 1 CD ROM.
- Civita M., De Maio M., Fiorucci A., Pizzo S., Vigna B.** (2002) *Le opere in sotterraneo e il rapporto con l'ambiente: problematiche idrogeologiche*. Meccanica e Ingegneria delle Rocce (M.I.R.), pp. 73-106.
- Custodio E., LLamas M.R.** (1996) - *Hidrologia Subterranea voll. I-II Segunda edicion*. Edicion Omega S.A. Barcelona.
- Custodio E., LLamas M.R.** (2005) - *Idrologia Sotterranea, voll. I-II*. Flaccovio Editore.
- Daly D., Dassargues A., Drew D., Dunne S., Goldscheider N., Neale S., Popescu I.C., Zwahlen F.** (2002) - *Main concepts of the "European approach" to karst-groundwater-vulnerability assessment and mapping*. Hydrogeology Journal, v. 10, pp. 340-345.
- Doni S., Rossi S.** (2007) - *Analisi degli impatti idrogeologici conseguenti alla realizzazione della galleria Vaglia - tratta appenninica FI-BO TAV*. Acque Sotterranee, n. 106/2007.
- Drogue C.** (1972) - *Drogue, Analyse statistique des hydrogrammes de décrue des sources karstiques*, J. Hydrol. 15 pp. 49-68.
- Federico F.** (1984) - *Il processo di drenaggio da una galleria in avanzamento*. Rivista Italiana di Geotecnica, 4, pp. 191-208.
- Gattinoni P., Scesi L.** (2006) - *Analisi del rischio idrogeologico nelle gallerie in roccia a media profondità*. Gallerie e grandi opere sotterranee, 79, pp. 69-79.
- Maillet E.** (1905) - *Essais d'Hydraulique Souterraine et Fluviale*, Herfmann, Paris.
- Milsom J.** (2003) - *Field Geophysics*. Ed. Wiley.
- Meinzer O.E.** (1923) - *Outline of Ground-Water Hydrology with Definitions*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 494 Washington.
- Norinelli A.** (1996) - *Elementi di Geofisica Applicata*. Patron Editore.
- Picarelli L., Petrazzuoli S.M., Warren C.D.** (2002) - *Interazione tra gallerie e versanti*. Meccanica e Ingegneria delle Rocce (M.I.R.), pp. 219-248.
- Ribacchi R., Graziani A., Boldini D.** (2002) - *Previsione degli afflussi in galleria e influenza sull'ambiente*. Meccanica e Ingegneria delle Rocce (M.I.R.), pp. 143-199.
- Tanzini M.** (2001) - *Gallerie. Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione*. Collana di Geotecnica e Ingegneria Geotecnica. Flaccovio Editore, Palermo.
- Tison G.** (1960) - *Courbe de tarissement, coefficient d'écoulement et perméabilité du bassin*. AIHS Ass. Gener. Helsinki, 1.
- Tunnell G., Pazzagli G.** (2001) - *L'interazione tra opere in sotterraneo e falde idriche. Un recente caso di studio*. AITES-ITA 2001, Progress in tunnelling after 2000, Ed. Teucher P., Colombo A., Patron, 2, pp. 327-334.
- U.S. Army Corps of Engineers** - *Geophysical Exploration for Engineering and Environmental Investigation*.
- Zwahlen F.** (2003) - *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, final report COST Action 620*. European Commission, Directorate-General for Research, EUR20912,183-200.