



Provincia di Bergamo
Settore Ambiente

PROTEZIONE E SICUREZZA DEGLI EDIFICI E DELLE FALDE IDRICHE IN PROVINCIA DI BERGAMO

Linee Guida di riferimento per la corretta progettazione e realizzazione di edifici ed opere di varia ingegneria in presenza di falde idriche sotterranee e superficiali

Maggio 2009

PREFAZIONE

La Provincia di Bergamo, profondamente consapevole dell'importanza dell'Agenda 21 locale – A21L e del suo mandato, ha avviato ormai da diversi anni il proprio percorso di Agenda 21.

Nel corso di questi ultimi anni, l'A21L della Provincia ha prodotto numerosi risultati, incentrando, a partire dal 2005, il proprio operato sull'attuazione e il monitoraggio del Piano d'Azione Ambientale – PdAA.

Il PdAA, documento fondamentale nella strategia della Provincia per la sostenibilità, individua i possibili obiettivi di miglioramento ambientale e le azioni necessarie per il suo raggiungimento.

All'interno di tale processo, è stata assegnata particolare rilevanza alla tematica “Risorse Idriche” con l'obiettivo, tra gli altri, di promuovere iniziative di informazione e sensibilizzazione per la tutela quantitativa e qualitativa dell'acqua.

In tale ambito, grazie all'impegno del Gruppo di Lavoro Risorse Idriche, uno dei sei Gruppi tematici sorti con Agenda 21, è stato realizzato il documento “Protezione e sicurezza degli edifici e delle falde idriche in Provincia di Bergamo. Linee Guida di riferimento per la corretta progettazione e realizzazione di edifici ed opere di varia ingegneria in presenza di falde idriche sotterranee e superficiali” che ha il pregio di fornire un quadro nel contempo semplice ed esaustivo dei riferimenti normativi e dei principi generali che governano la progettazione e realizzazione di opere ed edifici in aree con presenza di falde idriche.

Il documento, che affianca le altre pubblicazioni scaturite da Agenda 21, rappresenta quindi un ulteriore contributo alla diffusione dei principi dello sviluppo sostenibile sul territorio bergamasco.

L'Ufficio Agenda21 della Provincia di Bergamo

INDICE

	Pagine
Parte Prima – Principi generali	3
Premessa	3
1. Definizioni	4
2. Quadro normativo	5
2.1 Quadro normativo nazionale	6
2.2 Quadro normativo regionale	7
2.3 Iniziative sul territorio lombardo	10
3. Competenze dei Comuni	17
Parte seconda – Criteri operativi	19
Premessa	19
1. Caratteristiche fisiche tipiche dell'ambiente sotterraneo	20
1.1 Posizione della falda	21
1.2 Altezza della frangia capillare	22
1.3 Analisi chimica e batteriologica	22
1.4 Evoluzione nel tempo dei parametri	23
1.5 Metodi e programmi di indagine	24
2. Progettazione degli ambienti interrati sottofalda	25
2.1 Qualità dell'ambiente interno	26
2.1.1 Ventilazione interna	26
2.1.2 Umidità relativa, temperatura	27
2.1.3 Qualità dell'aria	27
2.2 Monitoraggio	27
3. Modalità costruttive	29
3.1 Costruzioni "bottom - up"	30
3.2 Costruzioni "top - down"	30
3.3 Strutture sottoquota superficiali	31
3.4 Altri tipi di strutture, opere stradali e infrastrutture varie	32
3.5 Aggottamento e allontanamento acque	32
4. Progetto esecutivo: il manto impermeabile	33
4.1 Impermeabilizzazioni: sistemi protettivi e autosigillanti	33
5. Il Radon nelle costruzioni sottoquota	35
6. Strumenti di incentivazione	36
Bibliografia essenziale	37

PARTE PRIMA – PRINCIPI GENERALI

Premessa

Il presente documento si inserisce nel percorso di Agenda 21 Locale della Provincia di Bergamo (con particolare riferimento al Piano d'Azione Ambientale - Azione 2.8.a.) e deriva dalle valutazioni svolte all'interno del Gruppo di Lavoro Risorse Idriche.

Obiettivo del lavoro è l'individuazione di linee guida di riferimento dedicate alle diverse problematiche da considerare nella progettazione e realizzazione di edifici ed opere di varia ingegneria, legate alla presenza di falde idriche sotterranee, sia superficiali che relativamente profonde, nonché in presenza di aree di espansione delle piene dei corsi d'acqua che sono strettamente interconnesse con le falde sotterranee. Lo studio e la ricerca sono finalizzati a:

- a) mettere a disposizione e quindi condividere esperienze, conoscenze acquisite in materia di progettazione geotecnica e di edifici e opere nel sottosuolo. Non disperdere le conoscenze e l'esperienza relative alle strutture esistenti, considerando anche quelle di altre province lombarde;
- b) trasferire i risultati acquisiti e sperimentati in determinate zone per aree più vaste ed utilizzabili da soggetti pubblici e privati. La ricerca può essere punto di riferimento ideale e di partenza per piani di lavoro di professionisti che si occuperanno delle attività in questione;
- c) contribuire in modo efficace, efficiente ed economico alla sicurezza e protezione delle popolazioni residenti (che convivono con realtà ambientali che presentano criticità territoriali);
- d) individuare il metodo per:
 1. dare una gerarchia nelle scelte;
 2. trovare degli indicatori affidabili e durevoli;
 3. creare modelli e simulazioni di sistemi complessi;
 4. coniugare il monitoraggio, l'economia e l'ecologia del territorio.

Come anticipato, il testo si struttura sottoforma di linee guida destinate agli Enti locali ed ai tecnici interessati alla materia con l'intento di essere un testo guida di riferimento per la corretta progettazione e realizzazione di edifici ed opere di varia ingegneria, in presenza di falde idriche sotterranee, sia superficiali che profonde, nonché in presenza di aree di espansione delle piene dei corsi d'acqua che, come detto, sono strettamente interconnesse con le falde sotterranee. Per tali motivazioni, si tratta di un testo che necessita di essere aggiornato con continuità e resta sempre aperto a modifiche e/o integrazioni che derivino dall'esperienza in corso sulla materia a livello locale (per eventuali segnalazioni scrivere a agenda21@provincia.bergamo.it).

1. Definizioni

Innanzitutto occorre precisare che cosa si definisce per falda idrica. Falda "idrica" (o "acquifera") è tutta l'acqua contenuta all'interno delle cavità presenti nel sottosuolo e tra le particelle di roccia o di terreno (sabbia, ghiaia e altro), che vengono definite l'acquifero, cioè il contenitore delle acque di falda. Si tratta principalmente di acqua che deriva da quella parte di precipitazioni (pioggia o neve) che s'infiltra subito negli strati profondi del suolo e non scorre via in superficie, non evapora o non alimenta direttamente i corsi d'acqua. In una sezione verticale del terreno si osserva che l'acqua di falda tende ad occupare gli strati permeabili e ad essere delimitata ai lati e verso il basso da rocce o da terreni impermeabili, come l'argilla, che non le consentono di attraversarla.

In linea generale osserviamo, a partire dalla superficie del piano di campagna, una prima zona, detta zona di aerazione in cui sono presenti soprattutto particelle di terreno e vuoti occupati da aria, una seconda zona, detta frangia capillare che contiene dell'acqua di risalita dalla superficie della falda, dello spessore di alcuni decimetri nei litotipi più grossolani e fino a qualche metro nelle frazioni più fini, infine una terza zona, dove si trova in maniera continua solo acqua di falda insieme alle particelle di terreno, detta zona di saturazione. Il limite superiore di questa zona è quella che si chiama superficie piezometrica o idrostatica. La misura della profondità dell'acqua dalla superficie topografica (piano di campagna) è detta soggiacenza.

Esistono diversi tipi di falde, secondo la loro ubicazione e il rapporto più o meno diretto con gli eventi atmosferici: una falda si dice libera o "freatica" se è delimitata superiormente solo da terreno permeabile e quindi può essere liberamente alimentata dall'acqua meteorica; si dice invece confinata o "in pressione", se il limite superiore è costituito da un corpo impermeabile detto "tetto" che ne impedisce l'innalzamento e non le consente di essere alimentata dalla superficie.

Quando la quota della superficie topografica del terreno si avvicina fino a coincidere con la quota della cosiddetta superficie piezometrica di una falda, si verifica un punto di risorgiva, dove l'acqua affiora spontaneamente al piano di campagna: ciò dà luogo a quello che viene denominato comunemente "fontanile". Situazioni del genere sono frequentissime anche in Provincia di Bergamo, specialmente nelle zone di media pianura, dove l'utilizzo è prevalentemente a scopo irriguo. Il fontanile è composto normalmente da una testa, cavità semicircolare di profondità variabile (2 - 8 m) e da un'asta che fa defluire l'acqua nel corso d'acqua recettore o nel canale irriguo che poi la distribuisce nei campi. Le caratteristiche fondamentali delle acque dei fontanili sono la temperatura costante durante tutto l'arco dell'anno, oscillante tra i 10 -15° C e la regolarità della loro portata.

2. Quadro normativo di riferimento

Nella pratica quotidiana accade spesso di avere a che fare con preventivi, disegni di progetto, capitolati e prescrizioni d'appalto in cui le opere ed il loro contesto sono rappresentate in maniera confusa, soprattutto senza tener conto delle loro condizioni ambientali di utilizzo, del tipo di applicazione, e senza indicazioni di dettaglio sulle modalità di esecuzione delle strutture di fondazione, nonché senza le necessarie specifiche su componenti di varia natura, materiali ed eventuali additivi.

Queste differenze tra le modalità di prescrizione delle opere e le loro reali modalità di costruzione ed utilizzo complica la vita a tutti gli attori del procedimento costruttivo, dal direttore dei lavori al collaudatore e soprattutto al costruttore, e può costare molto, in termini di sicurezza e manutenzione, all'intera comunità locale che, in ultima analisi, è la fruitrice delle strutture medesime.

Quanto detto sopra è particolarmente influente quando gli edifici devono trovare collocazione in ambienti interessati dalla presenza di falde idriche nel sottosuolo ovvero in prossimità di aree di esondazione di corsi d'acqua superficiali.

Per questi motivi da tempo si avvertiva la necessità di raccogliere criteri e indirizzi e tutte le indicazioni e prescrizioni necessarie ad una corretta progettazione ed esecuzione delle opere di varia ingegneria e degli edifici che si trovino nelle situazioni di cui sopra è cenno.

Vi è da tenere in evidenza, su questi temi, la Direttiva 12/12/2006, n. 2006/118/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio U.E., sulla Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento, anche se l'applicazione degli indirizzi e delle misure in essa contenute non tocca ai soggetti direttamente coinvolti (chiamiamoli "gli utenti finali"), bensì è compito precipuo degli Stati membri, ai quali spetta di emanare provvedimenti legislativi e/o regolamentari sugli importanti e delicati argomenti di che trattasi. Notevole è, ad esempio, la considerazione 15a, premessa ai deliberati, che specifica fra l'altro le misure per prevenire o limitare le immissioni di inquinanti nelle falde sotterranee: le quali misure "possono altresì includere la fissazione da parte degli Stati membri di zone di salvaguardia... per la protezione degli approvvigionamenti di acque potabili." Tali zone - precisa il testo della direttiva - possono estendersi anche all'intero territorio dello Stato membro.

Sono anche regolamentate alcune esclusioni come ad esempio al paragrafo 3°, lett. b) dell'art. 6, dove si dice che gli Stati membri possono escludere dalle misure di cui al paragrafo 1°, le immissioni di inquinanti che sono il risultato delle attività intese a mitigare gli effetti "di inondazioni e siccità e ai fini della gestione delle acque", precisando che tali attività comprendono "l'escavazione, il dragaggio, il

trasferimento e il deposito di sedimenti in acqua superficiale".

Da questi propositi, nell'ambito delle iniziative del Piano di Azione ambientale capitolo ACQUA di Agenda 21 della Provincia di Bergamo, azione 2.8.a, nascono queste "Linee Guida di riferimento" dedicate alle diverse problematiche legate alla presenza di falde superficiali e sotterranee da considerare nella progettazione e realizzazione di opere ed edifici.

2.1 Quadro normativo nazionale

Fondamentali per i nostri scopi sono le recenti nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con D.M. 14 gennaio 2008 e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, entrate in vigore dal 5 marzo 2008.

Il testo normativo é molto cambiato rispetto a quello precedente, approvato con D. M. 14 settembre 2005; i capitoli in cui è suddiviso ora il nuovo testo sono i seguenti:

1. Oggetto;
2. Sicurezza e prestazioni attese;
3. Azioni sulle costruzioni;
4. Costruzioni civili e industriali;
5. Ponti;
6. Progettazione geotecnica;
7. Progettazione per azioni sismiche;
8. Costruzioni esistenti;
9. Collaudo statico;
10. Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo;
11. Materiali e prodotti per uso strutturale;
12. Riferimenti tecnici.

Per un approccio più specifico al tema in riferimento, si ritiene che gli argomenti da tenere in evidenza e da approfondire siano quelli di cui ai punti 2, 3, 6, 7 e 11.

Sotto l'aspetto idrico, sono poi da considerarsi basilari le norme già contenute nel D.Lgs. 152/99, Testo Unico sulle Acque, oggi abrogato e sostituito dal D.Lgs. 152/06, Norme in Materia Ambientale; in particolare per gli obiettivi di qualità, per la tutela delle aree soggette a prevenzione e risanamento e per la disciplina degli scarichi nel sottosuolo.

Nell'architettura della Legge-quadro, le Regioni dovevano:

- entro il 31 dicembre 2001 assicurare la classificazione della qualità dei corsi d'acqua;
- entro il 31 dicembre 2008 conseguire caratteristiche qualitative almeno "sufficienti" secondo i criteri indicati nell'allegato 1 al T.U.;
- entro il 31 dicembre 2016 conseguire il raggiungimento dello stato "buono".

Per quanto concerne infine l'aspetto geologico, sono da segnalare le norme contenute nella Legge 4 agosto 1984, n. 464, sulla Difesa del suolo, con le quali viene fatto obbligo di comunicare al Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo (APAT) le informazioni relative a studi e indagini nel sottosuolo nazionale per scopi di ricerca idrica o per opere di ingegneria civile. Tali informazioni riguardano in particolare le indagini a mezzo di perforazioni e rilievi geofisici spinti a profondità uguali o maggiori di 30 metri dal piano di campagna e, nel caso di gallerie, uguali o maggiori a 200 metri di lunghezza.

Ai sensi della suddetta Legge (art. 2) il Servizio Geologico ha la facoltà di "eseguire gli opportuni sopralluoghi per avere diretta cognizione dei fenomeni naturali osservabili nel corso dell'esecuzione degli studi e delle indagini", per questi motivi si devono preventivamente comunicare le indagini con gli studi da eseguire e successivamente (entro 30 giorni dalla fine) la conclusione delle stesse, riportando altresì i "risultati geologici e geofisici acquisiti". Infatti la Legge è stata promulgata principalmente al fine di raccogliere e conservare elementi di conoscenza sulla struttura geologica, idrogeologica e geofisica del sottosuolo nazionale.

2.2 Quadro normativo regionale

Sempre in termini di quadro normativo esistente, successivamente all'emanazione del predetto "Testo Unico sulle Acque" del 1999, oggi abrogato e sostituito dalle "Norme in Materia Ambientale" del 2006, gli elementi da tenere in considerazione nel delineare il quadro della situazione a livello regionale sono i seguenti:

- la Deliberazione della G. Regionale 29 marzo 2006, n. 8/2244, *Approvazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque, ai sensi dell'art. 44 del D. Lgs. 152/99 e dell'art. 55, comma 19 della L. R. 26/2003*, con particolare riferimento ai seguenti punti:
 - ✓ Titolo I, Capo II, art.5, Contenuti del PTUA: per le acque sotterranee è stata inserita la rappresentazione cartografica della geometria e delle caratteristiche litostratigrafiche e

idrogeologiche delle singole zone e la suddivisione del territorio in zone acquifere omogenee;

- ✓ Titolo II, Capo II, Stato delle acque: classificazione dei corpi idrici sotterranei, riserve di acque sotterranee;
 - ✓ Titolo III, Capo I, Aree sensibili, vulnerabili e di salvaguardia. Capo V, Tutela ambientale dei corpi idrici;
 - ✓ Titolo IV, Capo II, Qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei, art. 47 Gestione dei prelievi e tutela delle falde.
- Il Documento redatto nel 2006 dalla Regione Lombardia – D.G. Territorio e Urbanistica, dal titolo: *Criteri ed Indirizzi per la Definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'Art. 57 della L. R. 11 marzo 2005, N. 12*, in particolare per quanto riguarda i Piani Stralcio di Bacino e i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (PTCP). In base alle predette norme tutti i Comuni devono dotarsi di idonee cartografie di dettaglio, dette "Carte di Sintesi", estese a tutto il territorio comunale, con la rappresentazione delle aree *omogenee* dal punto di vista della pericolosità / vulnerabilità idraulica e idrogeologica e gli elenchi delle tipologie di aree vulnerabili, pericolose ed instabili quali ad esempio:
 - ✓ aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii debolmente inclinati;
 - ✓ aree ad elevata vulnerabilità degli acquiferi definite nell'ambito dello studio o nei piani di tutela di cui al D.Lgs. 258/2000; l'acquifero da indagare é quello sfruttato ad uso idropotabile e quello superficiale nel caso di potenziale connessione o necessità di tutela;
 - ✓ aree con emergenze idriche (fontanili, sorgenti, aree precedentemente escavate);
 - ✓ aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese;
 - ✓ altre aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico (carsismo, inghiottitoi, doline, faglie e fratture);
 - ✓ aree vulnerabili dal punto di vista idraulico quali quelle ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20 - 50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua;
 - ✓ aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minor frequenza (con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità e altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche;

- ✓ aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici, tenendo conto di tratti di sponda in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti, anche a causa della presenza di depositi di materiale in alveo;
- ✓ aree soggette ad esondazioni lacuali;
- ✓ aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali;
- ✓ aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da opere di difesa;
- ✓ aree adiacenti a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per la realizzazione di interventi di manutenzione e di difesa;
- ✓ aree di possibile ristagno, torbose e paludose;
- ✓ aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante;
- ✓ aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali;
- ✓ altre aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche.

Sulla cartografia di sintesi devono essere individuate da ciascun Comune le opere realizzate per la mitigazione del rischio, evidenziandone la relativa area di influenza e segnalando quelle opere per le quali la corretta e periodica manutenzione risulta determinante per la loro funzionalità.

Ogni Comune deve dotarsi inoltre di una *Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano* e di *Norme geologiche di attuazione*.

- Il Regolamento Regionale 24 marzo 2006, n. 2, *Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee,.... in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lett. c) della Legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26*, con particolare riferimento all'articolo 5 ("Perforazioni finalizzate al controllo degli acquiferi"), che prescrive le procedure da adottarsi nel caso di realizzazione e gestione di manufatti per il controllo piezometrico della falda, ovvero nel caso di abbassamento della stessa ai fini dell'esecuzione di opere. In questi casi devono essere comunicati alla Provincia, competente al rilascio dell'autorizzazione, i seguenti dati: l'ubicazione, le caratteristiche costruttive, la stratigrafia dei manufatti e, ove richiesto, i dati periodicamente rilevati. Inoltre per l'esecuzione di opere, anche:
 - ✓ la relazione tecnica generale,
 - ✓ il progetto di massima della perforazione,
 - ✓ la cartografia idonea (corografia in scala 1:10.000 e planimetria catastale).

2.3 Iniziative sul territorio lombardo

In provincia di Bergamo è stato di recente approvato il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), che tra l'altro prevede, nel caso di strutture di tipo commerciale, qualora l'insediamento ricada in prossimità di aree urbane, di valutare con particolare attenzione anche l'inquinamento e in generale la qualità della vita degli abitanti vicini; in caso di incompatibilità dovranno mitigarsi gli effetti negativi, con interventi di arredo urbano, sistemazione a verde pubblico, prevedere l'interramento almeno dei parcheggi, il tutto con l'intento di favorire l'insediamento nel contesto esistente, anche attraverso una progettazione architettonica di qualità.

Il comma 111 dell'art. 3 della legge 1/2000 prevede, poi, specifiche competenze provinciali in materia di rilascio di autorizzazioni e concessioni per lo scavo di pozzi ed attingimenti, di cui al T.U. approvato con R.D. 1775/33, nonché di piccole derivazioni, delimitazioni delle aree di rispetto delle captazioni potabili, pulizia delle acque e controllo sulle costruzioni in zone sismiche; aspetti, questi, che potranno trovare indirizzi e contenuti nei piani attuativi del PTCP.

A questo fine il PTCP si è proposto alcuni obiettivi specifici, tra i quali:

- garantire la compatibilità dei processi di trasformazione e di uso del suolo con la necessaria salvaguardia delle risorse (in particolare della risorsa "suolo agricolo", che costituisce l'elemento in genere più facilmente aggredibile);
- individuare tutte le provvidenze necessarie per la difesa dal rischio idrogeologico e idraulico, la tutela delle qualità dell'aria e delle acque di superficie e sotterranee considerate pregiudiziali ad ogni intervento sia di destinazione sia di trasformazione del suolo;
- e inoltre: promuovere la formazione di Piani locali per lo sviluppo sostenibile, "Agende 21 locali", di Comunità Montane, Comuni e loro Associazioni.

Il PTCP prosegue inoltre con le seguenti considerazioni:

"Già l'ambito meridionale della Provincia è naturalmente diviso in tre fasce verticali dalla presenza di chiari e precisi confini fisici determinati dalle aste fluviali dell'Adda Brembo, Serio e Oglio, le quali si configurano non solo come elemento di identificazione e perimetrazione di spazi fisici, ma determinano vere e proprie situazioni diversificate sotto il profilo geologico, idrologico, idraulico, pedologico, paesistico e ambientale".

"In questo senso basta segnalare quali e diverse caratterizzazioni presenta il territorio dell'Isola, tra l'Adda e il Brembo, rispetto alle zone in sponda sinistra dello stesso Brembo e non solo per le diverse significative condizioni urbanizzative delle aree stesse ma anche per le condizioni e caratteri pedologici

dei suoli, per diversa presenza di elementi di naturalità e per significative diversificazioni in rapporto alla vocazione agricola".

La Relazione di Piano passa poi ad elencare e descrivere dettagliatamente il patrimonio idrico della Provincia di Bergamo, con le caratteristiche idrologiche di ogni corpo d'acqua, e precisamente: i *fiumi Brembo, Serio, Adda, Oglio, Cherio*, i *corsi d'acqua artificiali: rogge e canali*, il *lago d'Iseo o Sebino* e il *lago d'Endine*.

Nello stesso capitolo, è fatto cenno anche ai *laghi artificiali della pianura*. Nella pianura bergamasca e in quella dell'Oglio in Val Camonica vi è un discreto numero di laghetti artificiali. Sono cave di ghiaia e sabbia, in attività o dismesse, situate nei depositi fluviali e riempite dalle acque sotterranee della falda freatica. Solo dove la falda è molto profonda le cave rimangono all'asciutto. Dove l'attività estrattiva è cessata rimangono laghetti come attorno a Treviglio (Treviza, Mulazzana, e Santissimo). La tendenza è quella di sfruttare in vario modo questi specchi d'acqua: vi si attua la piscicoltura, oppure la pesca sportiva.

Nel successivo paragrafo, a pag. 44, intitolato *Le acque sotterranee*, la descrizione continua con: "*le falde idriche della pianura*".

La pianura bergamasca, costruita nella sua parte più superficiale dai sedimenti del Brembo, del Serio e dell'Oglio rappresenta un ottimo serbatoio di acque sotterranee largamente sfruttate sia a scopo idropotabile che per irrigazione (quindi da salvaguardare- n.d.r.). La superficie superiore della falda freatica, - la cosiddetta «tavola d'acqua» - al di sotto della quale tutti i pori e le fratture sono riempiti d'acqua, al nord si trova a profondità variabile mentre al sud, al confine con la provincia di Cremona, viene a giorno nella zona delle risorgive, caratterizzata dalla presenza di fontanili.

Lo schema delle unità idrogeologiche mostra dall'alto una successione di depositi alluvionali ghiaiosi inferiormente cementati (conglomerati) che giacciono su limi e argille, intercalati con strati di sabbia e di ghiaie sciolte. Questa formazione, sottostante ai depositi alluvionali, costituisce la «base» dell'acquifero superiore e a sua volta contiene, nei livelli permeabili, consistenti riserve idriche.

Le sorgenti. *Nell'ambito dei sistemi idrologici caratteristici del territorio bergamasco (bacini del fiume Serio, fiume Brembo, fiume Cherio, e altri minori), le sorgenti permettono di quantificare il deflusso sotterraneo naturale medio, cioè quella frazione della precipitazione efficace (quantità d'acqua fornita dalle precipitazioni che rimane disponibile sulla superficie del suolo, dopo sottrazione delle perdite per evapotraspirazione reale) che, infiltratasi nel sottosuolo, ritorna in superficie dopo un percorso più o meno lungo e complicato.*

I fontanili della pianura bergamasca. *La zona delle risorgive padana raggiunge la massima estensione*

tra le province di Bergamo e Cremona, con una larghezza di circa 30 Km. I primi studi dettagliati sono opera del Goltara che, in una delle sue carte, segna ben 174 fontanili nella provincia di Bergamo. L'abbassamento della falda freatica derivante da eccessivi emungimenti, ha fatto sì che il limite settentrionale della fascia delle risorgive, nella zona di Caravaggio e di Romano di Lombardia, si sia spostato verso sud di 5-9 Km, secondo le diverse longitudini che si considerano. Solo in qualche punto, come a sud di Treviglio, non si sono avuti cambiamenti degni di nota.

Venuti meno molti degli utilizzi produttivi dell'acqua dei fontanili, oggidi resta il loro valore storico ed ambientale essendo altrettanti ecosistemi con flora e fauna caratteristiche. Qualche iniziativa conservativa è stata presa dalla Regione Lombardia con l'istituzione della riserva naturale del fontanile Brancaleone (alla cui testa purtroppo perviene una roggia inquinata) in comune di Caravaggio. Nel milanese, le riserve delle «sorgenti della Muzzetta» in comune di Rodano, e «del fontanile Nuovo», in comune di Bareggio, e a ovest di Milano il «parco dei fontanili» sono altrettanti esempi di salvaguardia di un patrimonio naturale e culturale che ben esprime la civiltà lombarda dei secoli passati.

Più avanti, a pag. 64 della Relazione generale, si affronta il problema delle *Aree prevalentemente inedificate*, nelle quali la compatibilità degli interventi di trasformazione territoriale è condizionata da approfondimenti e studi di dettaglio di carattere idrogeologico ed idraulico che accertino la propensione dell'area all'intervento proposto; per queste aree le Norme danno indicazione degli studi di approfondimento da condurre da parte dei Comuni.

Per gli *ambiti urbani*, che per particolari condizioni geomorfologiche e idrogeologiche richiedono una verifica delle condizioni al contorno e una specifica attenzione negli interventi di modificazione edilizia di nuova costruzione, le Norme precisano che gli aumenti di volumetrie, le nuove edificazioni e le infrastrutturazioni dovranno essere subordinati alla predisposizione di specifiche indagini di carattere geologico, idrogeologico, idraulico e geotecnico rapportate ad adeguato intorno dell'area oggetto di intervento.

Criticità in ambito di pianura. La Tav. E.1 del PTCP delimita i perimetri delle aree di criticità in ambito di pianura soggette a rischi conseguenti a:

- fattori naturali di vulnerabilità idrogeologica;
- fattori di eventi esondativi dei corsi d'acqua naturali;
- fattori dovuti ad elevata densità dei pozzi di captazione;
- fattori dovuti ad inquinamenti e alla presenza di cave e discariche.

Il PTCP individua nella Tav. E.1 i seguenti ambiti, per i quali le Norme dettano le indicazioni comportamentali:

- *Ambiti di pianura* nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica: si tratta di ambiti sui quali si rileva la presenza di valori bassi di profondità della falda rispetto al piano campagna e la mancanza, o il limitato spessore, dello strato di impermeabilità superficiale.

- *Ambiti di pianura* nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono mantenere come soglia minimale le condizioni geologiche ed idrauliche esistenti: si tratta di ambiti con presenza della coltre superficiale di contenuta potenzialità ma con falda profonda rispetto al piano campagna e caratterizzati da una elevata densità di pozzi che vengono a costituire zone di connessione per le acque contenute in strati acquiferi, determinando il miscelamento e quindi la variazione dell'originaria composizione idrochimica della falda determinando una elevata vulnerabilità idrologica.

- *Ambiti di pianura* nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono garantire il mantenimento delle condizioni geologiche ed idrauliche esistenti: si tratta di ambiti caratterizzati dalla presenza di una sufficiente o spessa coltre superficiale impermeabile e di buona profondità della falda rispetto al piano campagna nonché di aree interessate da fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee di particolare rilevanza e discariche e da siti contaminati per degrado del territorio (discariche, attività estrattive, laghetti di cava, ecc.).

- *Aree* interessate da *fontanili*, per i quali si dovrà verificare e garantire l'equilibrio idraulico e naturalistico: sono caratterizzate dall'affioramento delle acque di falda e costituiscono zona di particolare vulnerabilità e di rimarchevole caratterizzazione di valenza ambientale.

Per quanto riguarda le *aree* interessate da fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee, dovranno essere impedito tutte le attività che possano potenzialmente aggravare la situazione in atto, mentre dovranno essere promosse le azioni necessarie al recupero delle aree compromesse.

La Tav. E1 individua anche la *linea del limite superiore dell'ambito dei fontanili*. Per l'elevato grado di vulnerabilità della falda, oltre che l'elevato grado di naturalità, le Norme vietano lo scarico di materiali di qualsiasi natura anche quando non venisse rilevata la presenza di acqua. Dovranno inoltre essere favoriti ed adottati gli interventi finalizzati alla salvaguardia delle falde più profonde. Specificatamente per i singoli fontanili deve essere inoltre incentivata ed effettuata la periodica manutenzione, volta ad assicurare la massima efficienza della erogazione delle polle e del deflusso delle acque, con spurgo

delle masse vegetali e dei detriti accumulatisi sia nella testa che nell'asta.

L'elemento che viene presentato con particolare rilievo dalla Provincia di Milano, nell'ambito del proprio territorio, é la presenza di siti contaminati sia nel suolo che nel sottosuolo; e ciò è dovuto a due ordini di motivi: il protrarsi nel tempo di un uso improprio delle falde sovrapposte, che ha comportato a livello locale un eccessivo sfruttamento della prima falda senza una precisa diversificazione degli usi, e la presenza di particolari attività antropiche che nel tempo hanno favorito la veicolazione di sostanze inquinanti anche nelle falde di profondità.

Inoltre, a partire dagli anni '90, con la chiusura dei grandi insediamenti industriali, si é assistito ad un innalzamento della prima falda freatica, che ha creato interferenze con strutture sotterranee (linee metropolitane, piani interrati, fondazioni di edifici) e ha messo in circolo sostanze inquinanti precedentemente confinate negli strati insaturi del sottosuolo.

La Provincia ha istituito "servizi consultivi", tra cui il cosiddetto "Victoria", ideato al fine di costituire uno strumento propedeutico alla definizione dell'elenco delle sostanze potenzialmente presenti in un sito oggetto d'indagine, in relazione alle attività produttive in atto o pregresse, o viceversa, conoscendo le sostanze che causano problemi ambientali nel suolo e nel sottosuolo. Il servizio può essere assunto come base per la costituzione di un monitoraggio ambientale.

La Provincia di Milano, al fine di permettere a tutti gli operatori del settore, sia pubblici che privati, di uniformare le proprie scelte operative ispirandole ai medesimi standard tecnici, ha altresì predisposto una serie di Linee Guida riguardanti i seguenti temi:

- Dispositivi di confinamento e messa in sicurezza permanente;
- Monitoraggio delle barriere idrauliche;
- Determinazione dei valori del fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati;
- Controllo e monitoraggio di interventi di bonifica "in situ";
- Collaudo di scavi per interventi di bonifica;
- Rilevamento topografico e batimetrico delle aree di cava.

I suddetti documenti sono pubblicati nel sito web della Provincia www.provincia.milano.it, dal quale sono altresì scaricabili.

Anche la Provincia di Brescia, come la nostra Provincia, ha predisposto a sua volta, nel quadro del proprio Piano Territoriale di Coordinamento, alcune Norme Tecniche di particolare interesse per

l'argomento in trattazione: ad esempio, al Capo II, art. 43, si dettano direttive in ordine alle zone ad alta vulnerabilità della falda, nelle quali cioè la combinazione di soggiacenza e composizione geologica del terreno segnalano un vulnerabilità alta e molto alta, con l'obiettivo di evitare le possibili contaminazioni della falda idrica, anche solo superficiali, da inquinamenti derivanti da impianti ed attività urbane. Nel caso di tali realizzazioni, alle infrastrutture stradali e zone industriali, nonché alle relative superfici pavimentate pertinenziali, dovrà essere assicurata la raccolta e la depurazione delle acque di prima pioggia. Le fognature miste e nere dovranno essere poi realizzate con tecnologie che escludano l'eventualità di possibili perdite, così come le superfici carrabili dovranno essere accuratamente impermeabilizzate, e questo in deroga al principio prevalente - in condizioni normali - della loro permeabilità, ai fini, come noto, della riduzione delle portate di scorrimento superficiale. In tutti gli altri casi, il PTCP raccomanda esplicitamente - nelle norme di attuazione dei PGT (o PRG) - la previsione di adeguate superfici permeabili nei lotti di nuova edificazione.

All'art. 41 vengono definite le fasce di rispetto, che sono quelle che delimitano un'area di almeno 10 m dalle sponde di fiumi, laghi, stagni e lagune. L'obiettivo è quello di assicurare il mantenimento ed il ripristino della vegetazione spontanea nella fascia immediatamente adiacente ai corpi idrici oltre a quello di stabilizzazione delle sponde da contemperarsi con le esigenze di funzionalità degli alvei: per il rispetto di tale obbligo le norme prescrivono la predisposizione da parte dei Comuni di uno studio sul reticolo idrografico minore in attuazione dell'art. 3 della L. R. 1/2000. Viene comunque prescritto esplicitamente il divieto di copertura dei corsi d'acqua, a meno che non sia imposta da ragioni di tutela della "pubblica necessità".

All'art. 125 vengono definite le "zone a prevalente non trasformabilità a scopo edilizio", tra le quali si elencano:

- fontanili attivi;
- aree palustri delle torbiere;
- zona B-PR, aree soggette a rischio inondazione molto elevato in pianura;
- fasce fluviali: A e B, derivanti dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI);
- pozzi, sorgenti, fontanili ERSAL, fiumi, fossi, emergenze della falda.

L'obiettivo è quello di preservare le suddette aree dall'edificazione in quanto "incongrua al loro stato e vocazione". E' consentita solo la manutenzione, la ristrutturazione e piccoli ampliamenti dell'esistente, nonchè la sola realizzazione di infrastrutture, quando previste da programmazione concertata tra il Comune interessato e la Provincia.

La Provincia di Como, per parte sua, ha avuto come riferimento di legge per la programmazione delle opere di acquedotto, fognatura e depurazione, fino al 2006, il Piano Regionale di Risanamento delle Acque (P.R.R.A.), approvato dalla Regione Lombardia nel 2002. Esso si basava su principi di risanamento delle risorse idriche in funzione dei potenziali utilizzi umani di tali risorse (potabile, balneabile, ricreativo, industriale, ecc.) e aveva come obiettivo il progressivo miglioramento della qualità delle acque di torrenti, fiumi, laghi e sotterranee fino al raggiungimento di una classe di qualità sufficiente a garantire l'utilizzo potabile, con il ricorso a minimi interventi: da parte della Provincia sono stati individuati su questa base, in modo vincolante, i bacini di depurazione, la localizzazione (a livello comunale) ed il recapito dei depuratori.

La Provincia ha anche collaborato nel corso del 2004 con la Regione Lombardia per la redazione del Piano di Tutela delle Acque, lo strumento di pianificazione in materia di risanamento e protezione delle risorse idriche. A partire dall'approvazione della parte tecnica del piano (il cosiddetto Programma di Tutela e Uso delle Acque - PTUA), avvenuta nel 2006, il piano di Tutela ha sostituito la precedente pianificazione regionale. Nell'ambito della Provincia di Como il Piano di Tutela, insieme al Piano d'Ambito (previsto dalla legge "Galli"), in corso di predisposizione da parte dell'Autorità dell'Ambito territoriale ottimale (AATO), saranno la base di riferimento per la pianificazione territoriale in materia di acque (divieti e limiti allo scarico delle acque reflue, misure di tutela degli ecosistemi acquatici, organizzazione dei servizi idrici, ecc.).

I documenti di cui sopra, in particolare il Piano di Tutela, ad oggi non sono visionabili sul sito web della Provincia di Como, bensì possono essere consultati direttamente presso la sede della Provincia stessa, Sett. Ecologia e Ambiente - Serv. Acque.

La Provincia di Lecco, di recente istituzione, in parte su territorio della provincia di Como e in parte di quella di Bergamo, non ha ancora organizzato un proprio settore che si occupi specificamente di Agenda 21.

Tuttavia nel quadro delle attività ambientali e nell'ambito delle proprie azioni ecocompatibili, ha stabilito - fra l'altro - che per presentare domanda di autorizzazione alla ricerca di acque minerali e termali occorre presentare, oltre alla domanda di concessione, un programma di coltivazione generale e un programma per il primo biennio; uno studio di dettaglio del bacino idrogeologico, corredato da un rilievo idrologico e litologico comprendente la ricostruzione della falda nei suoi elementi idrogeologici, nei suoi elementi tettonico-strutturali, nonché dei dati relativi alle perforazioni e alle eventuali campagne geognostiche eseguite, unitamente ai certificati dei definitivi accertamenti fisici, chimico-

fisici, chimici e microbiologici, nonché le relazioni delle ricerche farmacologiche e cliniche.

Per completare la disamina del territorio pedemontano della nostra Regione, veniamo ora alla Provincia di Varese.

In questo territorio provinciale, per le perforazioni finalizzate al controllo piezometrico della falda e della qualità dell'acqua o all'abbassamento della falda stessa (piezometri), ai sensi dell'art. 5 del citato Regolamento regionale n. 2, deve essere presentata da parte del soggetto interessato idonea comunicazione corredata da breve relazione tecnica, secondo moduli pubblicati sul sito web della Provincia, con la prescrizione che comunque il richiedente, prima di procedere alla perforazione, dovrà attendere 30 giorni, decorsi i quali senza l'espressione di parere contrario da parte della Provincia, anche in mancanza di esplicita risposta positiva, potrà procedere all'esecuzione dei lavori. Prima di iniziare la perforazione, con almeno 10 giorni di anticipo, il richiedente deve presentare la denuncia di inizio lavori, comunicando: data d'inizio dell'escavazione, nominativi del Direttore dei lavori e dell'Impresa esecutrice. A lavoro eseguito è necessario poi presentare la denuncia di fine lavori corredata da Relazione tecnica finale.

Di quanto sopra dovrà essere data comunicazione anche al Servizio Geologico d'Italia (ai sensi della citata Legge n. 464/1984), in particolare per quanto concerne: pozzi, sondaggi meccanici, indagini geognostiche, piezometri, scavi in galleria >200 m, sondaggi elettrici verticali - S.E.V.- e indagini geofisiche; il tutto corredata da apposita cartografia e con dettagliata relazione circa i risultati acquisiti.

3. Competenze dei Comuni

Essenziale è il ruolo rivestito dai Comuni nel quadro di tutta la normativa in materia di costruzione di edifici e infrastrutture e di salvaguardia del patrimonio naturalistico, e ad essi sono attribuite numerose competenze: prima fra tutte l'emissione dei **permessi** di costruire.

I Comuni inoltre provvedono a:

1. effettuare i **controlli** durante l'attività costruttiva;
2. rilasciare la **licenza d'uso** o di **agibilità** dell'opera come eseguita;
3. applicare gli **oneri di urbanizzazione** e l'eventuale riduzione degli stessi, secondo modalità e criteri definiti dalla Regione, nel caso di riconoscimento dell'ecocompatibilità del progetto in rapporto all'ambiente sia sotterraneo che superficiale.

In ogni territorio comunale il cittadino deve rispettare tutti gli ecosistemi, evitando di scaricare rifiuti

inquinanti di qualsiasi natura sia in acque superficiali che in falde sotterranee. Ad esempio, tra le zone di particolare pregio, prendiamo il caso dei fontanili. Purtroppo oggi in gran numero, le teste e le aste sono abbandonate o interrate o addirittura interessate da scarichi inquinanti e riempite di rifiuti di vario genere: in tali situazioni i **Comuni** possono e devono, non solo segnalare quei fontanili che, nell'ambito del proprio territorio, hanno necessità di essere recuperati, ma anche collaborare per il loro ripristino ambientale: per quelli ricadenti nei Parchi Agricoli o Regionali, presentando specifica richiesta di intervento di recupero al Parco; per quelli esterni ai parchi, al Settore competente (Progetti Speciali / Ecologia / Ambiente) dell'Amministrazione Provinciale in cui ricadono. Per sottolineare ulteriormente l'importanza dei fontanili nell'ambito del bilancio idrogeologico di ciascuna zona, si evidenzia che gli stessi, su segnalazione della **Provincia** competente, possono essere dichiarati con Legge Regionale "Riserve Naturali".

Diventa quindi necessaria una collaborazione interdisciplinare tra tutti gli specialisti di settore. In questo campo le competenze dei Comuni sono numerose: oggi sono molto importanti ad esempio gli **impianti di percolazione** per la gestione sostenibile delle acque **pluviali**. I Comuni devono attenersi ad alcune regole di carattere ambientale-urbanistico e tecnologico, quali:

- percolare solo acque pluviali provenienti da superfici con carico inquinante tollerabile;
- ricorrere alla percolazione solo se esiste la sicurezza che l'acqua infiltrata nel suolo non possa giungere, attraverso dreni locali, alla rete di canalizzazione sotterranea esistente oppure ai lotti situati più a valle del punto di introduzione nel suolo;
- rispettare **distanze minime** rispetto agli edifici;
- rispettare un dislivello **minimo** tra il *piano di campagna* e la quota massima della *falda freatica* pari ad almeno 1 m (calcolando la media aritmetica dei livelli massimi della falda negli ultimi 10 anni). Qualora non fosse possibile garantire questa distanza minima, si deve verificare se viene assicurata una sufficiente **protezione** della falda mediante gli strati di copertura;
- assicurare il **rinverdimento** del suolo prima di attivare i processi di percolazione;
- chiarire alla popolazione che le superfici destinate alla percolazione delle acque di pioggia non sono adatte per piante colturali e che l'accesso e l'uso di tali superfici sono generalmente possibili solo in forma limitata.

In tutti gli impianti di percolazione nel sottosuolo si deve ridurre al minimo l'afflusso di eventuali sostanze nocive, in modo tale da escludere pericoli per le **falde** acquifere sotterranee.

PARTE SECONDA – CRITERI OPERATIVI

Premessa

Lo scopo principale di questa seconda parte del documento è quello di fornire criteri operativi per aggiornare i regolamenti edilizi, alla luce delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni e degli altri provvedimenti legislativi citati nella prima parte, nonché di fornire elementi per una corretta progettazione esecutiva. Il testo ha l'obiettivo di orientare le scelte dei Comuni bergamaschi, degli enti ed amministrazioni pubbliche nonché dei sistemi imprenditoriali nella predisposizione e nella gestione degli adempimenti di competenza di ciascun soggetto, in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa nazionale e regionale e coerentemente con le linee d'azione adottate nelle altre realtà lombarde.

Gli interventi suggeriti appartengono a due categorie di applicabilità:

- 1) **interventi che dovrebbero essere resi obbligatori**: ossia interventi necessariamente prescrittivi, stabiliti in aderenza alla normativa applicabile (nazionale e regionale) che costituiscono i requisiti minimi per la sicurezza delle costruzioni e per la valorizzazione e salvaguardia delle acque sotterranee;
- 2) **interventi che dovrebbero essere consigliati**: ovvero interventi che non sono prescritti dalla normativa cogente, ma potrebbero essere suggeriti dalle procedure di buona tecnica.

Il punto di partenza è infatti sempre il requisito normativo, che deve essere applicato in modo corretto, anche attraverso un sistema di controlli in corso d'opera da parte del Comune, al fine di rendere uniforme il comportamento degli operatori e garantire la concorrenza.

Occorre tuttavia sottolineare l'importanza degli interventi *consigliati*: si tenga conto infatti del ruolo di indirizzo delle Linee Guida, che non vogliono essere un semplice supporto all'interpretazione dei requisiti legislativi, ma uno strumento per stimolare gli operatori e gli amministratori a riflettere su scelte più ecocompatibili.

Per quanto riguarda i contenuti specifici delle pagine che seguono, sono da considerarsi comunque *prioritari* gli interventi relativi:

- alle caratteristiche dell'involucro edilizio e delle strutture di fondazione, con particolare riferimento all'impermeabilizzazione;
- all'utilizzo di impianti tecnologici ad alta efficienza;

- alla protezione delle opere e delle infrastrutture dagli effetti dannosi dell'azione dell'acqua nonché alla tutela e salvaguardia della risorsa idrica.

Nel capitolo 5 sono infine forniti alcuni elementi non strettamente legati alle falde idriche e agli edifici, ma finalizzati a migliorare la conoscenza del problema Radon nelle costruzioni.

Si tenga infine presente che, data l'evoluzione continua della normativa in oggetto, nella lettura e nell'applicazione delle pagine che seguono, è necessario tenere opportunamente conto anche dei decreti attuativi e dei dispositivi regolamentari di futura emanazione, rispetto ai quali tutti gli interventi adottati dovranno comunque risultare coerenti.

1. Caratteristiche fisiche tipiche dell'ambiente sotterraneo

Nella descrizione delle problematiche ambientali del sottterraneo, si elencano nel modo più esauriente possibile gli agenti esterni (fisici, chimici, biologici) che dal terreno possono aggredire le strutture interrato ed avere ripercussioni sull'ambiente interno.

Queste problematiche, negli ultimi anni, sono, in particolare nelle aree urbanizzate, sempre più sentite: infatti si assiste ad uno straordinario aumento degli utilizzi di spazi sotterranei per gli scopi più svariati, come ad esempio: ambienti destinati allo stoccaggio e ad attività produttive, a locali tecnologici, ad autorimesse, a locali di uso pubblico quali sottopassi, centri commerciali ed altro.

Richiamando i concetti già espressi nella Parte I del documento (Principi Generali), al paragrafo "Definizioni", si definiscono qui di seguito le caratteristiche dell'"ambiente esterno sotterraneo", ovvero del terreno e di tutti quegli agenti che nel terreno possono avere effetti sull'opera interrato: acque di **falda** e di **percolazione**, agenti **chimici**, ecc.

Anzitutto vi è da precisare quali siano i **dati d'ingresso** per una corretta progettazione di una struttura interrato.

A - nel caso di progettazione ed esecuzione di **nuove opere** devono essere acquisiti, con diverso approfondimento e dettaglio a seconda che si tratti di progettazione *preliminare*, *definitiva* o *esecutiva*, i seguenti dati:

1. posizione della *piezometrica* della falda e sue variazioni stagionali attuali;

2. possibili *evoluzioni* successive della piezometrica di falda, nel corso della vita utile dell'opera in sotterraneo;
3. altezza della *frangia capillare*;
4. presenza di *agenti aggressivi* nell'acqua di falda o nel terreno;
5. comportamento sotto i previsti carichi, soprattutto sismici, delle diverse parti della costruzione interrata allo scopo di individuare eventuali punti critici per la continuità dell'*impermeabilizzazione*;
6. necessità di protezione della falda, in considerazione delle sue peculiarità, da eventuali possibili *inquinamenti esterni* provenienti dalla costruzione.

B - nel caso di progettazione ed esecuzione di lavori "confortativi" per la riabilitazione e il risanamento di disfunzioni di **opere esistenti**, occorre acquisire, oltre alle indagini sopra menzionate, anche i seguenti dati:

7. rilievi descrittivi lo *stato di servizio* delle strutture esistenti, in quanto indizio del comportamento del terreno e/o dell'aggressività della falda;
8. entità del trasporto nell'acqua emunta, in caso di pompaggio di acque d'infiltrazione dalla falda all'interno della struttura, di *materiale fino* proveniente dal terreno e relative conseguenze statiche strutturali, principalmente sulla *capacità portante* delle fondazioni dirette.

1.1 Posizione della falda

Nella maggior parte dei casi la costruzione di opere ed edifici interrati interessa la sola falda più superficiale (*falda freatica*). Meno frequentemente costruzioni di rilevante profondità in situazioni stratigrafiche complesse possono interessare più falde, con superfici piezometriche diverse.

Per definire la posizione della superficie piezometrica si usano appositi strumenti detti *piezometri*. La misurazione avviene tramite il rilievo diretto della quota z relativa al punto in cui il piezometro è installato o la misura della pressione u nel punto stesso. Alcuni tipi consentono il rilievo di z , altri il rilievo di u .

I principali tipi che rilevano la quota z sono:

- i piezometri a *tubo aperto* (o "tubi Norton");
- le Celle di *Casagrande*.

Quelli che rilevano invece la pressione u , i più adatti per terreni a grana fine, sono:

- i piezometri "*elettropneumatici*";

- i piezometri "a cella vibrante".

Le misure nei piezometri devono essere ripetute nel tempo con *frequenza* e *durata* sufficiente per definire le variazioni di quota piezometrica dovute a diversi fattori, quali:

1. variazione stagionale della piovosità nella zona di alimentazione della falda;
2. variazioni cicliche negli eventuali attingimenti civili o industriali;
3. singoli eventi di pioggia di particolare intensità e durata;
4. singoli eventi di esondazione dei corsi d'acqua nella zona di alimentazione.

E' importante che non si trascuri l'acquisizione dei dati piezometrici durante i tempi intercorrenti tra la progettazione esecutiva e la realizzazione dell'opera.

Una corretta e documentata definizione della **quota piezometrica massima di progetto** è di estrema importanza per quelle opere che presentino ridotti gradi di sicurezza nella verifica dell'equilibrio alle *sottospinte*.

1.2 Altezza della frangia capillare

L'altezza della frangia capillare dipende dalla dimensione dei *pori* del terreno e quindi dalle dimensioni dei suoi granuli. Nei terreni a grana *fine* l'altezza della frangia può raggiungere alcuni metri, mentre in quelli a grana *grossolana* si riduce a pochi centimetri: il **grado di saturazione** della fascia varia dal 100% ad un minimo proprio di ogni specifica condizione ambientale.

Per determinare l'altezza della frangia si può operare in base alla determinazione della *granulometria* del terreno e/o in base alla misura del suo grado di *saturazione*. Col primo metodo occorre definire la **curva granulometrica** del terreno fino al diametro dei grani inferiore a D10 (corrispondente al 10% di passante), col secondo metodo occorre disporre di numerosi campioni indisturbati di alta qualità, distribuiti lungo tutta l'altezza della fascia capillare.

>>>**N.B.**

I) Una struttura in calcestruzzo **non** impermeabilizzata può assorbire acqua dalla frangia capillare a diretto contatto, e **deteriorarsi** anche gravemente.

II) La frangia capillare **non** comporta l'instaurarsi di pressioni neutre *positive* sulle strutture a contatto.

1.3 Analisi chimica e batteriologica

I campioni di acqua da sottoporre alle analisi di laboratorio per determinare natura e quantità degli

elementi disciolti (gas compresi) o di eventuale flora batterica devono essere prelevati mediante appositi campionatori per liquidi, introdotti entro **fori di sondaggio, piezometri** a tubo aperto od eventuali **pozzi** di attingimento presenti.

Nel caso si debba valutare la presenza di **flora batterica**, occorre prelevare dal perforo, subito prima del prelievo di campionamento, un volume d'acqua pari ad almeno 3 volte quello interno del campionario. Tutti gli attrezzi impiegati dovranno inoltre essere *sterili*.

Gli ambienti nei quali è più elevato il rischio di rinvenire concentrazioni nocive di *agenti aggressivi* sono:

1. i siti *industriali* dismessi;
2. i terreni adiacenti a *discariche*.

1.4 Evoluzione nel tempo dei parametri

L'evoluzione nel tempo della **quota piezometrica** dipende sia da cause naturali che da cause antropiche, oltre che da variazioni cicliche annuali.

Le cause **naturali** agiscono generalmente su scale temporali molto più lunghe della *vita utile* della maggior parte delle opere ed edifici sottoquota.

E' tuttavia necessario tener presente che è prevedibile una accelerazione rispetto al passato delle *variazioni meteorologiche* nel corso di questo secolo XXI, e che quindi per le opere interrate, essendone meno agevoli l'abbattimento e la ricostruzione, occorre considerare una *durata* di utilizzazione nella forma originaria sensibilmente maggiore.

Le cause **antropiche** sono comunque quelle che agiscono più sensibilmente sull'evoluzione della quota piezometrica: esse sono principalmente dovute agli *atingimenti* di acque dagli strati acquiferi per usi **industriali e/o civili**.

>>N.B.

Si devono valutare con particolare attenzione le *evoluzioni* degli usi che comportano una **diminuzione** dei **prelievi**, quali ad esempio:

- I)** la **deindustrializzazione** del territorio urbano o periurbano, con incremento delle attività terziarie o della funzione abitativa;
- II)** le variazioni *qualitative* delle attività industriali, da settori ad **alto fabbisogno idrico** (es. siderurgia) a settori con fabbisogno **scarso** o **nullo** (es. elettronica);
- III)** le variazioni nelle attività **agricole** e/o nelle modalità d'irrigazione;

IV) l'aumento in profondità degli **atingimenti idropotabili** a causa dell'inquinamento delle falde meno profonde.

Un utile termine di riferimento per l'evoluzione delle situazioni può essere anche dato, ad esempio, dall'osservazione di **pozzi** in muratura di antica costruzione.

Soprattutto in prossimità di linee ferroviarie esistenti, occorre poi monitorare i *potenziali elettrici* che causano **correnti vaganti** nel sottosuolo, a motivo del *pericolo di corrosione* dalle stesse indotto nei riguardi del ferro d'armatura dei calcestruzzi.

>> Un dato indispensabile è, infine, la valutazione previsionale delle **variazioni** della **quota piezometrica** provocate dalla futura presenza dell'**opera progettata**.

1.5 Metodi e programmi di indagine

Prima di effettuare le indagini occorre definire: a) l'ubicazione planimetrica e il tipo di piezometri da installare, b) la profondità delle perforazioni esplorative, c) la frequenza delle letture piezometriche, d) le specifiche tecniche dettagliate (capitolato tecnico) per l'esecuzione delle indagini e la documentazione dei dati raccolti.

A titolo orientativo, per situazioni medie, quando si debba dar corso ad una progettazione **esecutiva**, si può indicare la previsione di una verticale di indagine ogni 500 mq di impronta della costruzione.

Si riassumono nel seguente elenco i parametri più importanti con i relativi metodi di **monitoraggio**:

N.	Parametro	Metodo d'indagine	Motivo di rilevanza
1	Quota di falda	Monitoraggio piezometrico	Altezza di impermeabilizzazione Valutazione delle sottospinte
2	Frangia capillare	Analisi granulometrica	Altezza da impermeabilizzare
3	Cloruri e Acidi	Analisi chimica	Aggressività sul calcestruzzo e su alcune guaine
4	Solfati e ossidi	Analisi chimica	Aggressività sul calcestruzzo
5	Radon	Misure radioattività	Nocivo negli interni abitati
6	Temperatura	Monitoraggio termometrico	Aumenta l'aggressività di altri agenti
7	Correnti vaganti	Misura potenziali elettrici	Aggressività sulle armature

2. Progettazione degli ambienti interrati sottofalda

Gli ambienti interni delle strutture interrate possono assolvere a diverse funzioni e non sono da considerare come unità separate rispetto agli ambienti fuori terra.

Essi dovrebbero essere progettati per rispondere a specifiche finalità di utilizzo e a determinati requisiti, i quali sono da considerare parte *integrante* dei dati di progetto del sotterraneo.

Le seguenti tabelle specificano le destinazioni d'uso e alcuni requisiti da considerare in fase di progettazione:

Destinazione d'uso: Residenziale/commerciale	Destinazione d'uso: Magazzino/deposito
Presenza d'acqua: Inaccettabile	Presenza d'acqua: Accettabile solo per rimessaggio di natanti o similari e per le aree predisposte alla loro veicolazione
Presenza di umidità: Inaccettabile se non per zone di passaggio e servizio normalmente non fruite	Presenza di umidità: Accettabile solo per merci scarsamente igroscopiche e con idonee attenzioni per gli impianti di illuminazione ed emergenza
Salubrità ambientale: Ovunque si pensi al soggiorno dell'uomo si deve tenere in massima considerazione la salubrità ambientale sia per la sua permanenza che per la sua percezione	Salubrità ambientale: Qualsiasi materiale stoccato in ambiente asciutto denota la più ampia durabilità e vendibilità, sia come funzionalità che come aspetto
Destinazione d'uso: Parcheggio veicoli	Destinazione d'uso: Cavedi tecnici e sottoservizi
Presenza d'acqua: Accettabile solo in caso di impianti compatibili ad immersioni continue od occasionali oppure per ambiti di aerazione e fuga	Presenza d'acqua: Accettabile solo per impianti compatibili ad immersioni o zone di aerazione e fuga
Presenza di umidità: Accettabile in funzione dell'impiantistica presente e comunque con grossi limiti di durabilità per quanto contenuto	Presenza di umidità: Accettabile in funzione dell'impiantistica presente e comunque con notevoli limiti di durabilità per quanto contenuto

Salubrità ambientale: Assenza di acqua ed umidità sono gli elementi necessari per la posa e gestione di impianti elettrici ed elettronici	Salubrità ambientale: Assenza di acqua ed umidità sono gli elementi necessari per la posa e gestione di impianti elettrici ed elettronici
---	---

2.1 Qualità dell'ambiente interno

La progettazione delle finiture *interne*, al di là di quella della struttura e dell'"involucro" esterno, è assai importante per garantire la qualità richiesta ai fini del corretto "comfort" abitativo per le persone che vi devono essere presenti per attività di vario tipo.

Si elencano qui di seguito i principali riferimenti **normativi** che regolano la progettazione degli ambienti interrati, soprattutto ai fini qualitativi:

- Regolamento Edilizio del Comune di appartenenza;
- Regolamento d'Igiene del Comune: in particolare se vi si svolge attività lavorativa occorre specifica deroga all'art. 8 del D.P.R.303/56 da parte dell'A.S.L. di competenza;
- D.M. 19/08/1996 "Regola tecnica prevenzione incendi per locali d'intrattenimento e di pubblico spettacolo" e D.M. 9/05/2007 "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio";
- D.P.R. 19/03/1956 n. 303 Norme generali per l'igiene del lavoro.

2.1.1 Ventilazione interna

Nei locali ad *uso abitazione* le norme vigenti (Legge 10/91) impongono che il ricambio d'aria sia almeno pari a **0,5** volumi/ora. A maggior ragione deve essere rispettata questa norma nel caso di ambienti *interrati* dove devono soggiornare delle persone: e ciò al fine del miglior controllo possibile del livello di umidità interna e conseguentemente il livello di inquinamento ambientale. Altre norme di riferimento sono **UNI 10350, UNI 10344 e UNI 10339**, oltre al **D.P.C.M. 02/2008**.

Nei *garages e parcheggi* di veicoli la ventilazione naturale o forzata serve per evitare concentrazioni d'anidride carbonica e altri gas di combustione che possono essere nocivi o pericolosi per l'innesco di fiamme. Per questi ambienti sotterranei, che sono in fase di grande sviluppo, si deve tener conto oltre che della salubrità, anche della **sicurezza**: norma di riferimento è il **D.M. 01/02/1986**, da correlare con le leggi sulla prevenzione incendi, soprattutto per quanto concerne la corretta evacuazione dei fumi.

2.1.2 Umidità relativa, temperatura

Nei locali sottoquota il controllo termo-igrometrico è assai più difficile e complesso che negli ambienti di superficie: il caso più frequente di degrado è il raggiungimento del "punto di rugiada" con il conseguente formarsi di umidità e muffe sulla superficie delle pareti e dei pavimenti. Il metodo di coibentazione più efficiente in questi casi è il cosiddetto *cappotto interno*, che consente di avere una temperatura maggiore sull'interno delle pareti. Per i pavimenti si deve utilizzare il cosiddetto *vespaio aerato*, quando non si è in presenza di falda; quando il sottterraneo si trovi in falda permanente occorre una **struttura** sottostante al pavimento che sia **impermeabile** all'acqua e al vapore.

Con applicabilità dal 1° gennaio 2010, i valori limite della *transmittanza termica* sono stati portati, con l'ultimo **D.M. 18/03/2008**, a:

- 0,59 W/mqK per i pavimenti e 0,56 W/mqK per le strutture verticali, in zona climatica **A**;
- 0,26 W/mqK e 0,27 W/mqK analogamente, in zona climatica **F**.

2.1.3 Qualità dell'aria

Per evitare possibili contaminazioni dell'aria interna agli ambienti abitati sottoquota, con una buona **ventilazione** si devono ridurre il più possibile le emissioni di:

- VOC, sostanze organiche volatili;
- RADON, sostanza radioattiva naturale (si veda più oltre, § 5);

le cui concentrazioni possono causare danni all'organismo, recando patologie a chi vi soggiorna conosciute come "Sick Building Syndrome" (sindrome da edificio malato).

2.2 Monitoraggio

Un'*analisi protratta nel tempo* è sempre necessaria per la valutazione dell'andamento dei vari elementi e delle situazioni concorrenti al buon fine dell'opera.

In fase progettuale, l'*analisi* è necessaria principalmente per le valutazioni e le decisioni sui seguenti aspetti:

1. tipologia dell'edificio richiesto dalla committenza;
2. tipologia e conformazione del terreno;
3. presenza di acqua sotterranea di falda analizzata per comportamento;
4. necessità di opere provvisoriale;
5. scelta strutturale idonea all'ambito operativo;

6. esigenze costruttive in riferimento agli scavi ed all'emungimento.

Progettate ed eseguite tutte le opere relative all'ambiente sottoquota, sarà ancora necessario monitorare, questa volta dall'interno, la rispondenza alle finalità richieste, secondo due categorie principali.

A - Per la funzionalità dell'**involucro**, occorrerà la messa in atto soprattutto delle seguenti valutazioni:

1. verifiche **strutturali**: mediante *sclerometro* e *ultrasuoni*;
2. prove **colorimetriche**: alla carbonatazione con la *fenoftaleina* in soluzione idroalcolica e ai cloruri con l'*argento nitrato*;
3. verifica dei "copriferri" e di eventuali corpi metallici estranei nei calcestruzzi: con demolizioni controllate o analisi mediante *pacometro* (sonda a impulsi elettromagnetici);
4. contenuto di **umidità** del calcestruzzo: con lettura mediante *igrometri*.

B - Per la funzionalità dell'**ambiente**, sarà inoltre necessario procedere con le seguenti verifiche:

1. temperatura superficiale dei calcestruzzi o delle finiture interne mediante **termometri a contatto**;
2. temperatura dell'aria mediante **termometri ambientali**;
3. tasso di umidità e mappatura del suo gradiente, mediante **igrometri**;
4. contenuto in **gas** (radon, anidride carbonica, composti organici volatili, ecc.) e loro *concentrazioni* all'interno, mediante **dosimetri** specifici.

Infine per il *controllo* e la *protezione* contro l'inquinamento dell'**acqua di falda** sarà indispensabile, dopo aver rilevato, sia in fase progettuale che esecutiva, tutte le opportune informazioni dalle relazioni *geologiche* e dal rilievo conoscitivo dell'andamento dei *livelli di acqua* nel terreno in momenti differenti dell'anno, reperire e monitorare le informazioni utili:

1. continuando a mantenere in funzione i piezometri "spia" a suo tempo installati in zone strategiche del cantiere, o dove siano stati riscontrati punti di massimo livello di falda;
2. facendo riferimento ad Enti e Aziende di acquedotti e/o d'irrigazione - bonifica, ovunque siano disponibili.

>>N.B.

Il **monitoraggio** del tipo sopra descritto é estremamente opportuno in situazioni molto diffuse nella provincia di **Bergamo**, dove esiste un'ampia fascia di terreni *pedemontani* altamente urbanizzati;

infatti i terreni pedemontani sono fortemente **drenanti** e sensibili agli eventi meteorici con periodici e improvvisi innalzamenti delle falde acquifere, e sono dotati di avvallamenti dove si possono configurare **invasi** di acque sotterranee.

3. Modalità costruttive

Per le modalità costruttive ci si riferisce a strutture *sottoquota* di **nuova realizzazione**. In particolare, alle strutture portanti dell'edificio o dell'opera e quindi agli aspetti di natura **statica**, sia in fase di "realizzazione" che in fase di "servizio".

Sia in fase di progettazione che di esecuzione si dovranno considerare problemi originati da possibili *cedimenti* e *sollevamenti* del terreno e si dovrà verificare il rischio di **galleggiamento** dell'intera struttura per effetto della **sottospinta** della falda. Quindi la struttura deve essere progettata al fine di resistere ai carichi idraulici **orizzontali** e **dal basso** che si sommano alle spinte del terreno ed ai carichi **verticali** determinati da **peso proprio** e **sovraccarichi**.

Una struttura si dice *profonda* quando è estesa in profondità per un'altezza superiore a **due** piani ed è immersa, in tutto o in parte, nella **falda** in modo continuo o si prevede che lo possa essere in futuro, nell'arco della vita "utile" della costruzione.

Si definisce invece *superficiale* quando è composta da **uno** o **due** piani sotterranei e può essere immersa, in tutto o in parte, nella falda oppure non è in contatto in alcun modo con la stessa, ma solo con acque **percolanti** e/o **correnti** superficiali o naturalmente trattenute dal terreno.

Le costruzioni definite **profonde** si suddividono, per quanto concerne il metodo costruttivo, in due tipi:

- metodo "Bottom-up";
- metodo "Top-down".

Entambi i metodi sono caratterizzati dal fatto che la realizzazione dell'opera avviene entro uno scavo a pareti laterali **verticali**, la cui stabilità è assicurata da strutture idonee, che possono essere "paratie", "diaframmi", "palancolate" o altre, solitamente rinforzate da *tiranti* e/o *puntoni*. Altra caratteristica comune è che le pareti laterali della struttura sottoquota sono costituite dalle stesse opere che sono servite come "presidio" dello scavo, con l'integrazione di un'opportuna struttura di impermeabilizzazione.

Le verifiche statiche, che devono tenere particolarmente conto delle **sottospinte idrauliche**, sia in fase provvisoria che definitiva, risultano gravose specialmente nelle fasi provvisionali per la mancanza del

peso *stabilizzante* delle strutture in elevazione: occorre quindi mantenere attivo il **drenaggio** dell'acqua di **falda** al fine di ridurre il più possibile la sottospinta, finché l'opera non sia in grado di contrastarla completamente. Il progetto delle strutture di "contenimento" e di "servizio" dovrà quindi tenere opportuno conto dimensionale per il collocamento dei mezzi per il **contenimento/abbattimento** provvisorio della falda acquifera.

3.1 Costruzioni "bottom-up"

Con questo sistema si procede prima ad eseguire i **diaframmi** di sostegno perimetrali, e quindi lo **scavo** completo fino alla quota d'imposta delle fondazioni. Successivamente si provvede alla realizzazione di tutte le **strutture interne**, procedendo dal basso ("bottom") verso l'alto ("up").

Le opere di sostegno perimetrali, in questi casi, devono quindi sostenere per intero le **spinte del terreno** e la **falda** deve rimanere *depressa* fino al termine dell'esecuzione dello scavo e della nuova costruzione interrata.

Non vi sono comunque particolari problemi per la posa di una struttura di **impermeabilizzazione**: il sistema più semplice ed efficace è quello *esterno/rovescio*.

In sintesi, le fasi esecutive sono le seguenti:

1. **paratia** verticale lungo il perimetro dello scavo, con **trave** di collegamento in sommità;
2. **scavo** all'*interno* della paratia fino alle diverse quote dei **tiranti** e **puntoni**, alternativamente all'esecuzione e alla "messa in forza" degli stessi;
3. eventuale **impermeabilizzazione** e realizzazione di strutture di **fondo**;
4. spiccato **strutture** dell'opera dalla platea fino al piano di campagna con impermeabilizzazione a tergo, se prevista;
5. eventuale rimozione dei **puntoni**, se provvisori, ed eventuale *disattivazione* dei **tiranti**.

N.B.>> La disattivazione è **consigliabile** per controllare fin dalla fase esecutiva il comportamento della costruzione sottoquota e del terreno circostante.

3.2 Costruzioni "top-down"

Con questo metodo si procede invece ad eseguire le **opere di sostegno** perimetrali realizzando *contemporaneamente* le **strutture interne** man mano che si scava, cominciando dal piano di campagna ("top") e procedendo nella costruzione verso il basso ("down").

Gli elementi orizzontali della struttura portante definitiva costituiscono quindi i **vincoli temporanei e definitivi** per i sostegni perimetrali.

Questo sistema ovviamente consente anche di procedere dal piano di campagna nello stesso tempo sia con la costruzione della parte interrata sottofalda, verso il basso, che con la costruzione della struttura superficiale fuori terra, verso l'alto.

In sintesi la sequenza delle fasi costruttive "top-down" è la seguente:

1. **paratia** lungo l'intero perimetro di scavo, con **trave** di collegamento;
2. elementi **verticali** a sostegno con relativa **soletta** di copertura del sotterraneo, con funzione anche di *puntone*;
3. **scavo** al di sotto della soletta di copertura, per tutta altezza del secondo piano interrato con realizzazione nuova **soletta**;
4. pareti **perimetrali** in sottomurazione, con eventuale completamento elementi verticali interni, e così via, analogamente alle fasi precedenti, per tutti i piani sotterranei progettati.

3.3 Strutture sottoquota superficiali

Si precisa che i metodi sopra descritti sono gli **unici** applicabili costruttivamente in presenza di falda acquifera, sia sotterranea che superficiale, e con i normali vincoli urbanistici presenti nella maggior parte dei casi.

Gli altri sistemi, denominati genericamente di "tipo superficiale" e "**all'aperto**", non vengono qui descritti in dettaglio, ma anch'essi possono interferire con falda sotterranea o superficiale: le loro modalità costruttive comunque non presentano particolarità di rilievo. Possono essere però impiegati solo ed unicamente quando sia possibile **abbattere** il livello della **falda acquifera** in maniera permanente fino ad una quota *inferiore* al fondo dello scavo.

Si riassumono brevemente nel seguente elenco *limitazioni e vantaggi* dei metodi sopra citati:

Elemento di raffronto	"ALL'APERTO"	"BOTTOM-UP"	"TOP-DOWN"
Profondità	Limitata a motivo delle scarpate di scavo	Nessuna limitazione	Nessuna limitazione
Interferenza con la falda in terreni permeabili	Limiti da necessità abbattimento falda su area più vasta	Limiti dipendenti solo da tecnologia sistema abbattimento falda	Necessità di <i>tampone</i> di fondo in caso di battente >1 m

Protezione della struttura dalla falda	Libertà di scelta	Scelta condizionata da tipo paratie, presenza di contropareti, ecc.	Complessità nelle operazioni di impermeabilizzazione
--	-------------------	---	--

3.4 Altri tipi di strutture, opere stradali e infrastrutture varie

Per questi tipi di strutture si adottano metodi per lo più del tipo di quelli denominati "all'aperto", salvo che per certi particolari tratti di **galleria** per linee metropolitane e/o per infrastrutture viarie in genere (gallerie stradali, miste stradali - ferroviarie, per vie navigabili, ecc.). In tali casi, (che nulla hanno a che vedere con le gallerie "di montagna" per attraversamento/ valico o a "mezza costa"), si opera a mezzo di strumentazioni sofisticate per perforazione in sotterraneo "**a scudo**", con successivo allargamento della sezione fino alle dimensioni di progetto e relativa impermeabilizzazione della struttura portante.

Questi metodi consentono di operare anche a quote al di sotto della falda, senza eccessivi abbattimenti di livello, anche quando si debbano *sottopassare* corsi d'acqua di varia natura, non esclusi fiumi o torrenti di una certa dimensione.

3.5 Aggotamento e allontanamento acque

Nel corso della realizzazione dell'opera sottoquota si dovranno tenere in particolare conto le operazioni di **emungimento** delle acque di fondo scavo, che sono sia quelle **meteoriche** che quelle, soprattutto, provenienti dalla **falda acquifera**.

Le acque meteoriche non danno particolari problemi: basterà un opportuno sistema di **drenaggio** con canalette laterali e pompe di emergenza.

Le acque di falda invece hanno la necessità di essere trattate con specifiche opere di **aggottamento**, progettate "ad hoc" in conseguenza delle risultanze dell'indagine **idrogeologica**. Tali opere devono essere previste e calcolate secondo le **portate** da emungere e la tipologia del terreno da emungere, che, in base alla sua **permeabilità**, può abbisognare di un **drenaggio superficiale** o di un **aggottamento profondo**.

N.B.>> E' molto importante prevedere lo *smantellamento* del sistema di aggotamento solo e unicamente dopo aver **ultimato** la costruzione della struttura, impermeabilizzata o meno, finché la stessa possa gravarsi del carico delle pressioni **idrostatiche**, nonché controbilanciare con il proprio peso la **sottospinta** della falda.

Quando si opera in terreni permeabili drenanti a *bassa porosità*, gli **aggottamenti** per l'abbassamento della superficie **piezometrica** della falda si possono eseguire mediante "**pozzi piezometrici**" dotati di pompe ad immersione.

Operando in terreni a più *alta porosità*, il sistema di aggottamento più indicato è quello a rete denominata "**well-point**": tale sistema, benché di costo più elevato del precedente, consente di ottenere la massima precisione di emungimento senza eccessivi ed inutili abbassamenti della superficie di falda. Esso è assai raccomandabile perchè è il sistema più ecocompatibile, in quanto operante con il *minor consumo energetico* sul lungo periodo.

4. Progetto esecutivo: il manto impermeabile

Definita la **quota della falda** di progetto, conosciamo il livello massimo raggiungibile dall'acqua in pressione.

Per definire la quota del manto impermeabilizzante si devono considerare entrambi gli aspetti: **falda e percolazione**. Infatti l'impermeabilizzazione è ovviamente una barriera che evita l'ingresso di tutta l'acqua esterna. Ma non solo: essa deve anche essere pensata quale *protezione* della falda acquifera stessa, evitando la fuoriuscita, dalla struttura sottoquota *verso* il terreno, di eventuali sostanze inquinanti pericolose per l'ambiente in cui è inserita.

Dobbiamo sottolineare come l'**ambiente interrato** sia, per definizione, un sistema confinato, con tempi di allontanamento e resistenza al passaggio dell'acqua dipendenti da molti fattori, spesso difficilmente controllabili.

Queste considerazioni ci portano a dover considerare il manto **impermeabile** per gli interrati come una sorta di pelle protettiva che deve evitare non solo la permeazione dell'acqua *verso* gli interrati e il suo contatto con il *cemento armato*, ma anche *verso* l'esterno dell'edificio.

L'acqua è il miglior solvente in natura e trasporta ormai frequentemente aggressivi chimici sia negli eventi meteorici (piogge acide...) che nei suoi flussi nel terreno (sostanze chimiche derivanti da impianti industriali, uso agricolo...) con conseguente possibilità di *degrado* della parte esterna delle strutture. Le strutture interrate soffrono anch'esse di questi problemi pur risultando meno visibili rispetto a quelle in elevazione e conseguentemente non essendo facilmente percepite come deteriorabili/deteriorate.

4.1 Impermeabilizzazioni: sistemi protettivi ed autosigillanti

Il manto **impermeabile** deve, ovviamente, in primo luogo isolare la struttura dall'esterno,

posizionandosi, quindi, prima dei getti orizzontali, tra quelli verticali ed il terreno o l'opera provvisoria.

Può essere di varie tipologie; in sostanza le più usate commercialmente sono le seguenti:

- membrane **prefabbricate non aderenti**;
- membrane **prefabbricate in adesione** completa;
- membrane **non prefabbricate** da applicare "in situ";
- membrane **idroespansive**.

Nella realizzazione di **impermeabilizzazioni** interrato, per definizione non più ispezionabili, il manto protettivo deve presentare caratteristiche congruenti con la vita **utile** dell'opera ed avere proprietà che ne massimizzino l'affidabilità. L'impermeabilizzazione, infatti, viene posata in un ambito certamente difficile, in presenza di fango, acque meteoriche, ferri d'armatura, chiodi... Un manto impermeabile pre-getto deve essere calpestabile, avere **caratteristiche meccaniche** di resistenza a trazione ed urto. La resistenza di un manto deve comprendere quindi la sua pedonabilità, la capacità, cioè, di resistere alla presenza di ferri e chiodi che, se calpestati, possono infingersi nel manto stesso, causandone il mancato funzionamento. Ottenere in queste condizioni la **tenuta idraulica**, nel caso di impermeabilizzazioni interrato, è un problema di grande difficoltà, non essendo i manti applicati ispezionabili successivamente, quindi meno che meno riparabili a posteriori.

I sistemi a base **bentonitica**, che fanno parte delle membrane **idroespansive**, sfruttando il principio della **bentonite di sodio** naturale e la sua enorme espandibilità (dal secco fino a **30** volte in volume), sono impermeabilizzazioni assai durabili ed affidabili nel tempo. La **bentonite di sodio** è un tipo di argilla (montmorillonite) che ha durabilità prevedibile molto elevata, trattandosi di un tipo di **terreno** naturale e non di un prodotto artificiale di sintesi. La sua capacità igroscopica è tale da recuperare vuoti e cavità al suo intorno sigillando la superficie esterna dei getti in cemento armato e tutti i suoi piccoli danneggiamenti.

Il manto impermeabile bentonitico, infatti, non avendo *trasmigrazione interfacciale*, in caso di danneggiamento non permette il passaggio di acqua tra impermeabilizzazione e struttura, come viceversa può avvenire per gli altri tipi di membrane o guaine.

Per riassumere, i **sistemi protettivi** dal punto di vista delle modalità costruttive, indipendentemente dal tipo di membrana o guaina impiegato, sono essenzialmente tre:

- la protezione "**a sacchetto**", dove l'involucro è tutto esterno (in inglese "tanking", serbatoio,

contenitore stagno);

- la protezione "**strutturale integrale**", ovvero la stessa struttura costituisce l'involucro *stagno* con fondo e pareti;
- la protezione "**a cavità drenata**", dove si prevede che l'acqua filtri in modesta quantità per essere raccolta in uno spazio apposito e quindi allontanata.

N.B.>> Nel caso di protezione "strutturale integrale", grande importanza rivestono le guarnizioni "**water stop**", convenzionali in PVC o idroespansive, per la protezione dei **giunti** di costruzione delle strutture in c.a. (norma UNICEMENTO UNI 9858).

5. Il Radon nelle costruzioni sottoquota

Il problema Radon nelle costruzioni non é particolarmente collegato alle opere e agli edifici in presenza di falde acquifere, pur tuttavia nella loro progettazione é necessario valutare attentamente anche questo aspetto, essendo il gas Radon una sostanza radioattiva che si diffonde attraverso le **rocce** e il **terreno**.

Di qui la necessità di prevedere adeguate misure di sicurezza contro le esalazioni di questo gas, che sono pericolose per l'uomo, anche e soprattutto in edifici sottoquota. La radioattività é misurata in "Béquerel" (Bq); per il radon la massima concentrazione ammissibile è di circa 200 Bq/mc.

Il **radon** proviene principalmente dal sottosuolo, ed é presente in tutte quelle rocce e terreni contenenti **uranio**. In quanto gas, può propagarsi molto bene nei terreni incoerenti *ghiaiosi* o rocce *fratturate*, ma trova una barriera quasi impenetrabile negli strati *argillosi* impermeabili.

Inoltre il tenore di radon varia in funzione delle **variazioni** stagionali e giornaliere della **temperatura** e della **pressione** atmosferica.

Il radon penetra essenzialmente all'interno dei locali attraverso il terreno, ma anche attraverso fessure nei pavimenti e nei muri, passaggi di cavi o tubazioni, ecc.

E' necessario quindi utilizzare **materiali specifici** in grado di funzionare correttamente da barriera contro la penetrazione del gas, e consentire una buona *aerazione* con ricambio d'aria all'interno degli edifici.

Per maggiori dettagli sotto l'aspetto igienico-sanitario si rimanda a testi specifici, in particolare al documento dell'ASL di Bergamo "ALL. alla POSISP02 - Gli Ambienti Confinati - Rischi Sanitari: tutela e prevenzione - Promozione della Salute" (versione 24/06/08), nonché alle indagini ed analisi condotte dall'ARPA Lombardia.

6. Strumenti di incentivazione

I **Comuni** possono adottare diversi strumenti di incentivazione per favorire gli interventi *non obbligatori* ai fini della maggior sicurezza di edifici ed opere di varia ingegneria "sottoquota" ed in presenza di falde idriche superficiali, nonché della tutela dei corpi acquiferi stessi.

Alcuni di questi strumenti possono essere di carattere economico, mentre altri intesi nella direzione di subordinare i vincoli sull'edificabilità a particolari azioni per l'ecosostenibilità delle strutture e la protezione dell'ambiente idrico sotterraneo e superficiale.

Si elencano qui di seguito alcuni di questi **incentivi** possibili:

- a) sconto sugli oneri di urbanizzazione;
- b) incentivi volumetrici, con possibilità di modesto aumento di cubatura;
- c) deroghe a vincoli sull'edificabilità;
- d) sconto sull'I.C.I.;
- e) concessione di finanziamenti tramite bandi comunali.

Se in alcuni casi si accompagnasse l'incentivo anche con un *premio* o un riconoscimento annuale per l'edificio che si distingua per il minore impatto ambientale, si potrebbero mettere gli operatori di fronte alla scelta tra soluzione ordinaria e soluzione incentivata, al fine di innescare un processo culturale "virtuoso".

Bibliografia essenziale

- [1] ATE - "*Progettazione Ambienti Interrati e Metodi di Impermeabilizzazione*"- Libreria CLUP. Milano, 2001
- [2] F. Brambilla - "*Approccio metodologico per protezione ambienti interrati*"- Conv. Collegio Ingegneri e Architetti Milano, 2002
- [3] Volteco-Building Technology - "*I Quaderni di Impermeabilità - fasc. n. 1 - 2*", 2° trim. 2006

Il presente documento è stato completato nel maggio 2009.

Elaborazione a cura di Ing. Egidio A. Pessina con il contributo e supporto del Gruppo di Lavoro A21L - Risorse Idriche.
Coordinamento Gruppo di Lavoro A21L – Risorse Idriche dott.ssa Domenica Palamara.