



GEOLOGIA URBANA DI MILANO  
Palazzo delle Stelline - 15 novembre 2007, Milano

# **IL RUOLO DEL GEOLOGO NEL SISTEMA URBANO**

**Umberto PUPPINI**

Membro del Consiglio Nazionale dei Geologi

---

## IL RUOLO DEL GEOLOGO NEL SISTEMA URBANO

Umberto PUPPINI<sup>1</sup>

### SOMMARIO

Parole chiave: Risorse naturali, rischi, valore, sostenibilità, conformità, sapere esperto, geologia

In linea di principio il sottosuolo urbano può avere un valore potenziale positivo o negativo. Solitamente le caratteristiche qualitative dei terreni naturali e delle falde decidono da quale parte pende la bilancia. La conoscenza a scala di sito, e dunque di dettaglio, delle caratteristiche del sottosuolo è indispensabile anche quando non si ha a che fare con siti contaminati perché nella maggior parte dei casi ha un payback a breve termine. Il Geologo è il professionista che riconosce le caratteristiche del sottosuolo nelle quattro dimensioni (spaziali e temporale) ed ha il potenziale per limitare gli imprevisti fin dalla fase di progettazione preliminare. L'applicazione dei principi di sostenibilità ambientale e l'analisi di conformità con le normative consentono di individuare e contenere i rischi tipici del sottosuolo di pianura, ma soprattutto d'identificare il valore intrinseco della risorsa per i suoi usi più convenienti.

### 1. RISORSE E RISCHI DEL SOTTOSUOLO URBANO

Senza considerare le risorse minerarie in senso stretto, il terreno e le rocce in sé rappresentano una risorsa naturale come componenti di materiali da costruzione (cemento, ceramica, laterizi etc.) o come materiali da costruzione tal quali (pietre ornamentali, sabbie, ghiaie, argille, gesso etc.) oppure anche come materia prima per opere di landscaping (suoli, torbe, etc.).

Nella costruzione di opere nel contesto urbano il valore come risorsa dipende dal volume di sottosuolo utilizzabile che però può convertirsi in disvalore, se è affetto da vincoli naturali. Anche se si tratta della rimozione di volumi di terra (che peraltro richiederebbe l'elaborazione di un Piano degli Scavi), questa semplice operazione ha costi via via crescenti con l'importanza delle opere e con le modalità di esecuzione e di sostegno degli scavi. Se invece i terreni sono riportati e sono contaminati, la loro rimozione dalla giacitura in cui si trovano genera rifiuti, che vanno gestiti

---

<sup>1</sup> Membro del Consiglio Nazionale dei Geologi

secondo le norme vigenti con un immediato aggravio di oneri economici e amministrativi, sempre che non si tratti di rifiuti fin dall'origine.

Nel contesto urbano in aree pianeggianti il sottosuolo spesso è formato da una serie di terreni contenenti acque sotterranee, che hanno diverse modalità di circolazione. In linea di principio anche le acque sotterranee, insieme con le acque superficiali ad esse connesse in diverso modo, rappresentano una risorsa naturale. In breve il loro valore dipende dall'uso che se ne fa (potabile, igienico-sanitario, produttivo, energetico, irriguo, landscaping, ricarica falde, etc.) e, se sono una merce, dal mercato cui appartengono.

In modo simile ai terreni, quando si eseguono opere in ambito urbano le acque sotterranee e/o le acque superficiali spesso si presentano come vincolo esecutivo. In particolare le falde possono essere intercettate durante ogni genere di scavo per la costruzione di edifici, fondazioni, strade, ponti, rive fluviali, infrastrutture (reti), tunnel ferroviari, metropolitane ed anche quando si aprono cave o discariche o quando si eseguono bonifiche di siti contaminati. Le acque superficiali invece possono richiedere opere di controllo, per esempio del rischio di esondazione dagli alvei naturali.

### 1.1 LE RISORSE SOTTERRANEE MILANESI

Tentando di definire il potenziale valore positivo del sottosuolo milanese, e urbano in genere, si possono enumerare alcuni usi del terreno come volume utile destinabile a

- Parcheggi auto, laboratori, uffici
- Stoccaggi (vasche per acqua, serbatoi per combustibili, magazzini commercio al minuto e all'ingrosso etc.)
- Viabilità urbana ed interurbana per trasporto su gomma e su ferro
- Sottoservizi (condotte, cavidotti, polifere, canali, cunicoli per acqua potabile, aria, gas, energia, combustibili, etc.)
- Magazzino di calore naturale o artificiale
- Dispersione: correnti vaganti (messe a terra, protezioni catodiche), acque meteoriche (gronde e pozzi dispersori), acque grigie (imhof)
- Produzione indiretta di materiale riutilizzabile per altre costruzioni.

Analogamente le acque sotterranee presentano numerose funzioni utili:

- Bene primario per i diversi usi e consumi umani
- Materia prima per produzione industriale e agricola

- 
- Raffreddamento per produzione industriale
  - Magazzino di calore a bassa o media entalpia (Milano a 15°C, Pavese 60°C a 2.000 m, etc.).

Ciascuna di queste funzioni contribuisce alla formazione del fatturato delle attività produttive e di servizi e danno, se non necessariamente un utile, un sicuro beneficio all'intero sistema economico urbano.

## 1.2 I RISCHI DEL SOTTOSUOLO MILANESE

Il valore potenziale negativo è presto sintetizzato in pochi elementi chiave; la presenza anche solo di uno di questi fattori determina un incremento di costi di costruzione:

- Falda a profondità variabili con tipo di terreno, latitudine, stagione, precipitazioni, pompaggi
- Falda contaminata
- Suolo/Terreno contaminato
- Discariche abusive (rifiuti)
- Terreni compressibili
- Instabilità (subsidenza, pareti scavi, etc.).

## 2. RISORSE NATURALI: CONFORMITÀ CON SOSTENIBILITÀ E NORME VIGENTI

Il principio su cui si fondano le scelte strategiche per valutare la fattibilità delle azioni di progetto, qualsiasi esso sia, è stato formulato nel 1987 dalla ben nota Commissione Brundtland e suona così: 'Soddisfare le necessità odierne senza compromettere la possibilità delle generazioni future di fare altrettanto'. È una sfida apparentemente semplice ma, fino ad oggi, tutte le azioni esercitate sull'ambiente hanno ignorato questo principio, come dimostrano i recenti allarmi lanciati anche dall'ONU sul punto di non ritorno raggiunto dalla specie umana nell'uso delle risorse del Pianeta.

Dunque il principio di sostenibilità può essere uno strumento operativo, un filtro attraverso cui lasciar fluire le idee per agire adeguatamente sulle risorse del sottosuolo, al fine di farne uso, di favorirne il riciclo e di tutelarle quantitativamente e qualitativamente. Oggi si presenta l'opportunità di gestire il patrimonio delle risorse naturali presenti nel territorio urbano integrando favorevolmente tra loro logiche di ordine sia economico sia ambientale.

---

In campo normativo, a livello europeo per la gestione delle risorse naturali ci si richiama a tre principi fondamentali:

- il principio di precauzione definisce l'approccio che deve osservare che decide in merito ad un'azione che può ragionevolmente essere considerata a rischio per la salute o la tutela delle generazioni attuali e future o per l'ambiente. Indica anche che l'assenza di assoluta certezza scientifica non dovrebbe essere usata come scusa per non fare nulla.
- il principio dell'azione preventiva il cui obiettivo è d'individuare le migliori tecniche disponibili a costi economici accettabili per prevenire e, se possibile, eliminare gli effetti deleteri che possono essere generati da un fenomeno dannoso.
- il principio di partecipazione, infine, che significa coinvolgere gli abitanti nello sviluppo delle scelte.

Sul piano tecnico la conformità dei progetti deve essere cercata con il principio di sostenibilità e con le norme vigenti.

A tal proposito i professionisti coinvolti nei progetti ed i loro consulenti hanno la possibilità di servirsi di strumenti di supporto alle decisioni di complessità adeguata alle necessità del caso che si presenta loro. Di certo la formulazione di modelli concettuali preliminari è il primo passo per comprendere le specificità del caso, evidenziando criticità e opportunità che il progetto presenta, per condividerle con il pool di progettazione.

Questo approccio metodologico è parzialmente misconosciuto negli Eurocodici 7 e 8 che, per esempio, ignorano il principio di costruzione del Modello Geologico del sottosuolo, mentre la Direttiva sulle Acque Sotterranee parla esplicitamente e dettagliatamente della costruzione del Modello Concettuale Idrogeologico come strumento di supporto alle decisioni.

Altri strumenti di supporto alle decisioni possono essere usati, quali la modellazione della circolazione idrica sotterranea e superficiale con codici analitici o numerici o la valutazione di Rischio Ecologico e per la Salute Umana o, infine, la procedura di valutazione del ciclo di vita dell'azione prevista (Life Cycle Assessment).

A grandi linee il quadro normativo di riferimento è formato dalla legislazione e dalle norme vigenti a diversi livelli. In Europa, oltre alle decisioni sulla sostenibilità ('European Union Strategy on Sustainable Development', COM(2001)264, 'Towards a Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources', Commission of the European Communities Communication COM(2003)572 to the Council and the European Parliament) è in corso di definizione la cosiddetta Soil Directive, mentre sono vigenti la Water Framework Directive (2000) e la Groundwater Directive (2006). Vigono anche i cosiddetti Eurocodici 7 e 8 con riferimento ai terreni e alle costruzioni.

In Italia il Codice dell'Ambiente (D. Lgs. 152/2006 ed altri in esso non compresi quali il D. Lgs. 185/2003 o le Norme Tecniche sulle Costruzioni), in Regione Lombardia (LR 26/2003, Regolamenti R.R. 2/2005, 2/2006, 3/2006, 4/2006 su usi, scarichi, smaltimenti acque) e in

Comune di Milano (Regolamento Edilizio, Norme sanitarie, NTA di Piano) completano un quadro articolato, complesso e non sempre semplice da controllare.

### 3. IL SUOLO E IL SOTTOSUOLO DI MILANO

In dettaglio le caratteristiche del sottosuolo milanese e delle pressioni cui è soggetto (Figura 1) possono essere sintetizzate nel modo seguente:

- Presenza della falda
- Contaminazioni
- Riporti di terreno o di altro materiale
- Prevalenza di terreni grossolani (ghiaie e sabbie in rapporti reciproci diversi) intercalati da terreni fini (cosiddette 'argille', in realtà solitamente limi argillosi)
- Presenza strutture e infrastrutture interrato
- Interazione tra oggetti esistenti e nuovi progetti (per es. scavi a pozzo vicino a tunnel).

A titolo di esempio si illustra sinteticamente la storia dell'uso della falda nella città e le oscillazioni subite negli ultimi cinquant'anni e più recentemente.

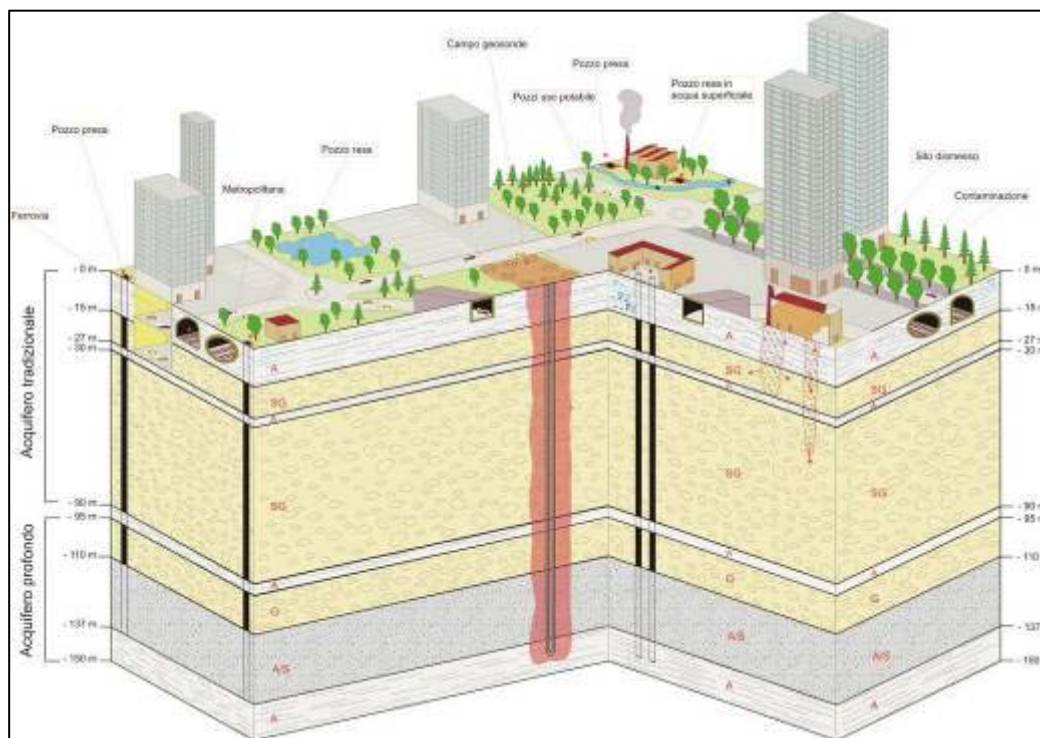
Dal 1885 la falda di Milano viene usata intensivamente per scopi potabili. La massima quantità estratta dall'Acquedotto di Milano è stata di circa  $550 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$  intorno al 1975; nel 2006 era pari a circa  $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ . Dal 1885 al 1985 il prelievo è avvenuto esclusivamente da falde superficiali presenti nel cosiddetto 'acquifero tradizionale', fino a 90-100 m, ed è stato via via approfondito fino a 150-160 m.

L'uso industriale ha avuto il suo acme tra il 1960 e il 1990 quando molte aree sono state dismesse e con esse i pozzi per uso produttivo.

L'uso per condizionamento di locali ha avuto un timido avvio a fine anni Ottanta (per esempio Palazzo Reale, Biblioteca Ambrosiana) ed un nuovo forte impulso a cominciare dai primi anni Duemila. Oggi si può stimare che siano installati o in corso di installazione impianti a pompe di calore per circa 30-50 MW di energia equivalente alimentati da un volume di acqua stimabile in circa 10 milioni di metri cubi anno.

L'uso irriguo sistematico risale al 1200 e si conserva soprattutto in alcune vaste aree nel settore meridionale del Comune.

Con l'avvio delle bonifiche dal 1995 sono state attivate numerose barriere idrauliche ed altre si prevede vengano attivate alle porte della città, per un volume annuale estratto stimabile in alcune decine di milioni di metri cubi all'anno.



*Figura 1 – Il sottosuolo nel contesto urbano (fonte: ESI Italia)*

Infine tra il 1995-2000 sono state eseguite alcune opere per il controllo dell'innalzamento del livello della falda (Progetto Vettabia) con una quantità estratta pari a circa  $25-30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$  (Figura 2).

Queste pressioni alternate nel tempo hanno influenzato la forma della falda ben oltre le variazioni indotte dalla ricarica nel breve e nel medio-lungo periodo. L'innalzamento registrato negli Anni Novanta si è esaurito e a partire dal 2003 sembra essere stato sostituito da una nuova blanda tendenza all'abbassamento, dovuta sia alla riduzione dell'apporto delle precipitazioni sia, in minor misura, ai nuovi utilizzi a scopo geotermico (Figure 3, 4).

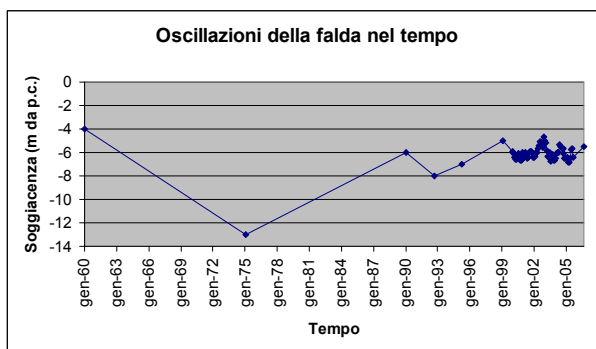


Figura 2 – Oscillazione della falda a Milano Sud (1960-2005) (fonte: SIF – Provincia Milano)

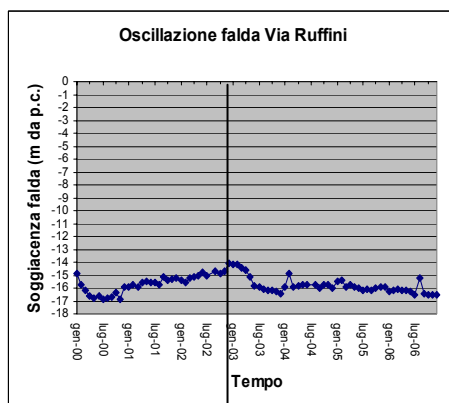


Figura 3 – Oscillazione della falda a Milano Centro (2000-2006)(fonte: SIF – Provincia Milano)

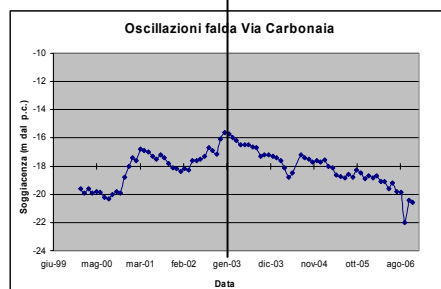


Figura 4 – Oscillazione della falda a Milano Nord (2000-2006)(fonte: SIF – Provincia Milano)



#### 4. IL RUOLO DEL GEOLOGO

Come per le altre professioni gli studi che si eseguono per dimensionare e progettare le opere hanno lo scopo di migliorare la prestazione del rapporto costi/benefici. Per fare questo di solito ci si basa sull'analisi dell'eredità storica, vale a dire della documentazione esistente (sotto forma di dati idrometrici, idrografici, idrogeologici, stratigrafici etc.), delle indagini e degli studi precedenti ed anche di interviste fatte sul posto.

La Geologia è una disciplina storica e, oggi, una professione matura presente nella Pianificazione ad ogni livello (PGT, Piani Emergenza, Piani di Caratterizzazione, PUGSS, Piani di Scavo etc.) e nella consulenza per la progettazione. Il modello geologico concettuale (Figura 5) è lo strumento che, in via preliminare, permette di sintetizzare in modo sufficientemente schematico i fondamentali meccanismi che interessano attivamente o potenzialmente il sottosuolo (geologici, geomeccanici, idrogeologici, idrochimici, biologici etc.).

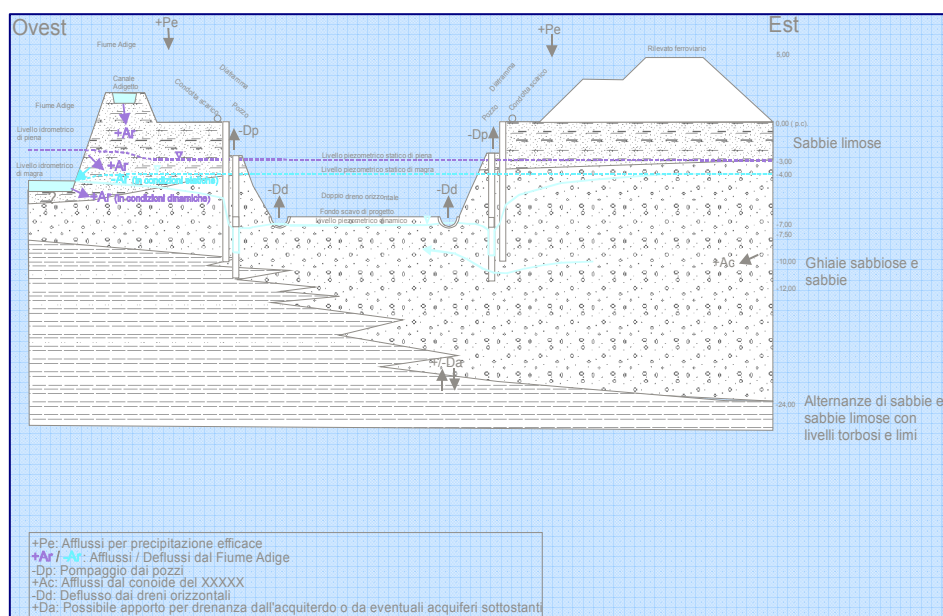


Figura 5 – Modello geologico concettuale delle condizioni di progetto in contesto urbano (fonte: ESI Italia)

---

La conoscenza delle caratteristiche d'insieme e di dettaglio di suolo e sottosuolo, anche in termini di bilancio tra risorse e rischio, è tipicamente alla portata del professionista (figura che non necessariamente coincide con l'esecutore delle indagini) il quale, avendone cognizione per formazione e per esperienza, legge ed organizza i dati esistenti, pianifica le indagini di dettaglio, le interpreta, ne trae le conclusioni e se ne assume la responsabilità.

La pianificazione di nuove indagini, quasi sempre consigliabili, sarà proporzionale alla scala del progetto e, in ultima analisi, alla dimensione dell'investimento ed alla propensione ad accettare rischi da parte degli investitori.

Le nuove indagini hanno lo scopo di definire in dettaglio le caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni per pervenire a definire il quadro di progetto da trasferire ai progettisti strutturali, degli impianti e architettonici. Le informazioni sito-specifiche raccolte (per esempio conducibilità, porosità, resistenza, compressibilità dei terreni) devono essere viste nel contesto temporale, giacché alcuni parametri possono variare nel tempo (per esempio densità del terreno, temperatura e livello falda etc.). Questi dati servono sia nella fase di costruzione, ad esempio per fronteggiare l'eventuale presenza di acque sotterranee, sia per definire le caratteristiche del progetto esecutivo dell'opera (numero di piani interrati, eventuali impermeabilizzazioni, tipologia delle fondazioni etc.)

Il dato sito specifico dunque è sempre più significativo di quello d'insieme che, nella maggior parte dei casi, non basta a risolvere i casi. Il beneficio che si trae dall'acquisizione e dalla interpretazione di dati strettamente pertinenti solitamente è quantificabile, considerando che i costi d'indagine e professionali possono incidere nella misura media dello 0,5-1 % del valore dell'intera opera mentre gli imprevisti latenti possono avere un'incidenza dieci volte superiore.

Gli studi utili a dimensionare le opere provvisorie o le cautele da adottare per quelle definitive vengono eseguiti facendo uso di modelli analitici (per es. verifiche di resistenza dei terreni, interpretazione di prove di conducibilità o di prove di pompaggio, previsione dei moti filtrazione etc.) o numerici (per es. modelli di flusso e di trasporto per le falde variazioni di temperatura nel sottosuolo).

In questo secondo caso è invalso l'uso di modelli del flusso della falda e delle variazioni termiche a distanza di anni per il prelievo d'acqua di falda per alimentare impianti a pompa di calore e cortocircuitazione diretta con restituzione (Figure 5, 6, 7): non c'è dubbio che posizione reciproca, dimensione e profondità dei pozzi possono essere definite con miglior cognizione di causa.

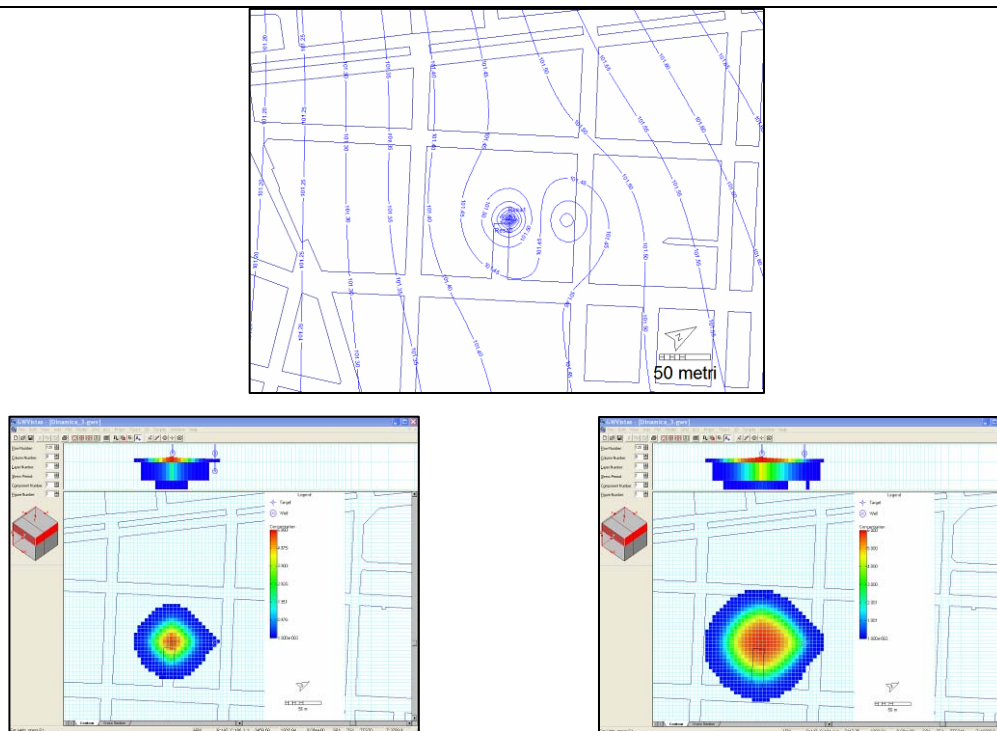


Figura 5 – Modello numerico predittivo per impianto a pompa di calore con restituzione in falda (fonte: ESI Italia)

## 6. USO MULTIPLO DELLA FALDA: UN TIPICO CASO MILANESE

Gli impianti che usano la prima falda per abbassarla o per altri usi pubblici e privati (condizionamento, irrigazione parchi, industriale) possono intercettare acque contaminate provenienti da siti esterni e scaricarle nei corsi d'acqua. Questa azione comporta vantaggi indiretti in termini di:

- tutela quantitativa con restituzione volumi al ciclo dell'acqua
- uso integrato di una risorsa non pregiata
- controllo indiretto della propagazione della contaminazione causata da altri.

Purtroppo il rischio non indifferente sta nella non conformità qualitativa perché gli scarichi possono trovarsi fuori norma ai sensi del D. Lgs. 152/2006, ed anche ai sensi del D. Lgs. 183/2003 per la qualità delle acque irrigue, se il corpo idrico recettore svolge una funzione irrigua.

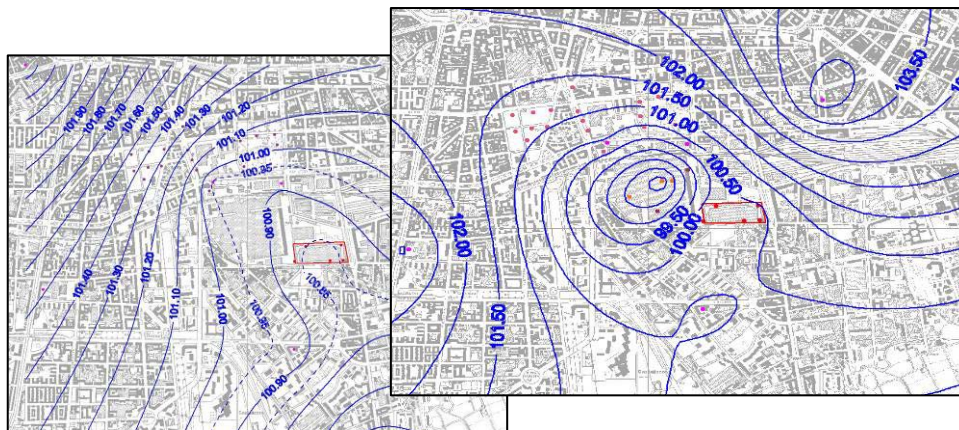


Figura 6 – Piezometrie di dettaglio della prima falda libera ( $e < 0,5$  m) (fonte: sat)

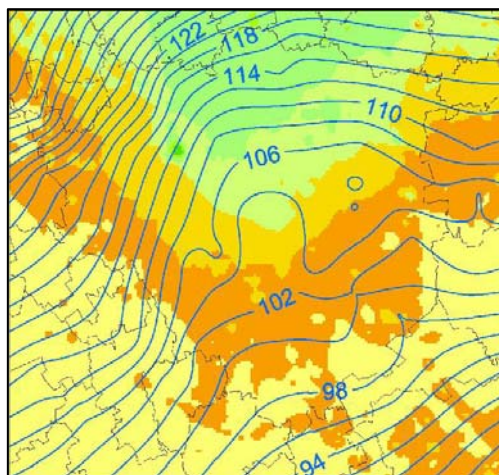


Figura 7 – Piezometria della falda libera ( $e = 2$  m) (fonte: SIF – Provincia di Milano)

Per essere sostenibile l'azione esercitata non dovrebbe determinare un aggravamento ma piuttosto un beneficio ambientale. È opportuno ricordare che per esprimere valutazioni affidabili e utili l'informazione deve essere di dettaglio adeguato (Figure 6, 7). Poiché per diversi motivi è probabile che lo stato qualitativo del corpo idrico recettore sia migliore di quello della falda, giacché raccoglie le acque provenienti da numerosi e abbondanti prelievi, considerati anche gli obiettivi al 2015 del PTUA in accordo con la Direttiva UE 2000/60 e con il D. Lgs. 152/2006, ci si

chiede se la restituzione al corpo idrico di origine (in questo caso la falda) possa soddisfare la condizione in premessa.

L'obiettivo è di non annullare il beneficio ambientale che deriva da tutte le azioni esercitate a diverso titolo (contrasto allagamenti piani interrati, uso anche integrato di risorsa non pregiata e rinnovabile, etc.).

Su quali basi si può fondare l'applicazione di questa soluzione? Anche se il principio di best practice a costi sostenibili sarebbe ampiamente soddisfatto, bisognerebbe potere basare studi e decisioni su:

- Linee-guida per la progettazione di produzione di energia equivalente con risorse geotermiche prelevate o scambiate da acquiferi tradizionali ed eventualmente restituite ad acque superficiali o sotterranee con sistemi aperti (pozzi per acqua) e con sistemi chiusi (geosonde)
- Protocolli monitoraggio
- Censimento strutture interrate per valutazione impatto reale, anche nell'ambito dei PUGSS
- Nuove norme nei Regolamenti di Igiene e a livello provinciale/regionale.

Infine è opportuno ricordare che esiste un'altra zona grigia nell'applicazione della normativa per stabilire quando un sistema di prelievo di acque di falda deve essere assoggettato alla verifica di VIA o alla VIA stessa, giacché la norma generale parla di 'derivazione' mentre la norma regionale (D. Dir. 22723/2003) parla di 'portata massima', peraltro definendola con una certa chiarezza.

In conclusione, con lo scopo di accelerare le azioni di progetto e di esecuzione (piuttosto che di rallentarle come purtroppo può talvolta apparire), gli obiettivi che lo studio del contesto geologico urbano può e deve conseguire consistono nel

- contribuire a individuare e a ottenere la sostenibilità ambientale delle azioni
- contribuire a individuare e a ottenere la conformità con norme vigenti.

Numerosi studi evidenziano che questo comportamento virtuoso riduce gli impatti ambientali ed economici di un fattore 10.

Quindi conoscere il quadro dei rischi e delle risorse è di immediato beneficio. D'altro canto la dequalificazione economica e culturale dei servizi pubblici, e la conseguente inevitabile inefficienza, possono annullare questa opportunità.

La collaborazione pubblico/privato, Ordini professionali/Università, Ordini professionali /Enti può contribuire significativamente, applicando principi unanimemente condivisi, con l'uso di regole trasparenti finalizzate a gestire appropriatamente le risorse naturali e con speciale riguardo per quelle rinnovabili.





### 3. Il Suolo e il Sottosuolo di Milano

## 4. Il ruolo del Geologo

### Sapere esperto su suolo e sottosuolo (Risorse vs. Rischio)

- Ruolo nella Pianificazione a vari livelli (PGT, Piani Emergenza, Piani Caratterizzazione, PUGSS, etc.)
- Raccolta, organizzazione, interpretazione dati a scala piccola
- Raccolta dati a scala grande (sito) = significatività = valore  
Indagini dirette (sondaggi meccanici, test e misure di campo, misure di livello) e indirette (sondaggi geofisici)  
Costi < 0,1/1 % valore opera  
Imprevisti connessi > 0,5/5% valore opera
- Studi = Strumenti di supporto per le decisioni = Supporto alla Progettazione
- Organizzazione, elaborazione e interpretazione dei dati con modelli analitici (per es. verifiche di resistenza dei terreni) o numerici (per es. modelli di flusso e di trasporto per le falde)