

## 3. Idrogeologia

### 3.1 Aspetti generali

#### Struttura degli acquiferi

L'area del Comune di Milano, al limite tra la media e alta pianura, è interamente rappresentato da depositi fluvio-glaciali e fluviali, ghiaioso-sabbiosi, già attribuiti al Pleistocene superiore, secondo la nomenclatura geologica tradizionale. Sono poi ben riconoscibili le valli poco incise delle valli oloceniche dell'Oloni, Lambro settentrionale, Lambro meridionale e Vettabbia rappresentate da depositi medio-grossolani (ghiaie, sabbie e limi), ed anche le aree di apice dei terrazzi antichi delle Groane che si accostano ai confini del Comune di Milano nella parte nord-occidentale del territorio comunale.

Secondo le interpretazioni più recenti della struttura geologica della pianura, messe a punto in una ricerca pubblicata nel 2002 dalla Regione Lombardia in collaborazione con AGIP, l'evoluzione del bacino e il suo colmamento sono stati caratterizzati da fasi di movimenti rapidi e avanzamenti delle falde, soprattutto nord appenniniche, e lunghe fasi di relativa stasi. L'evoluzione è stata schematizzata in sette fasi, dal Pilocene superiore all'attuale, cioè a partire da circa 4 milioni di anni.

Per la migliore definizione delle fasi evolutive e dei loro limiti sono stati anche utilizzati 4 appositi sondaggi profondi, uno dei quali realizzato presso Agrate, subito a nord-est di Milano. Sulla base di tutte le informazioni stratigrafiche esistenti e dei log dei nuovi sondaggi, la Regione propone una revisione della stratigrafia idrogeologica del sottosuolo padano attraverso riconoscimento e definizione di 4 unità idrostratigrafiche, definite Gruppi Acquiferi A, B, C e D.

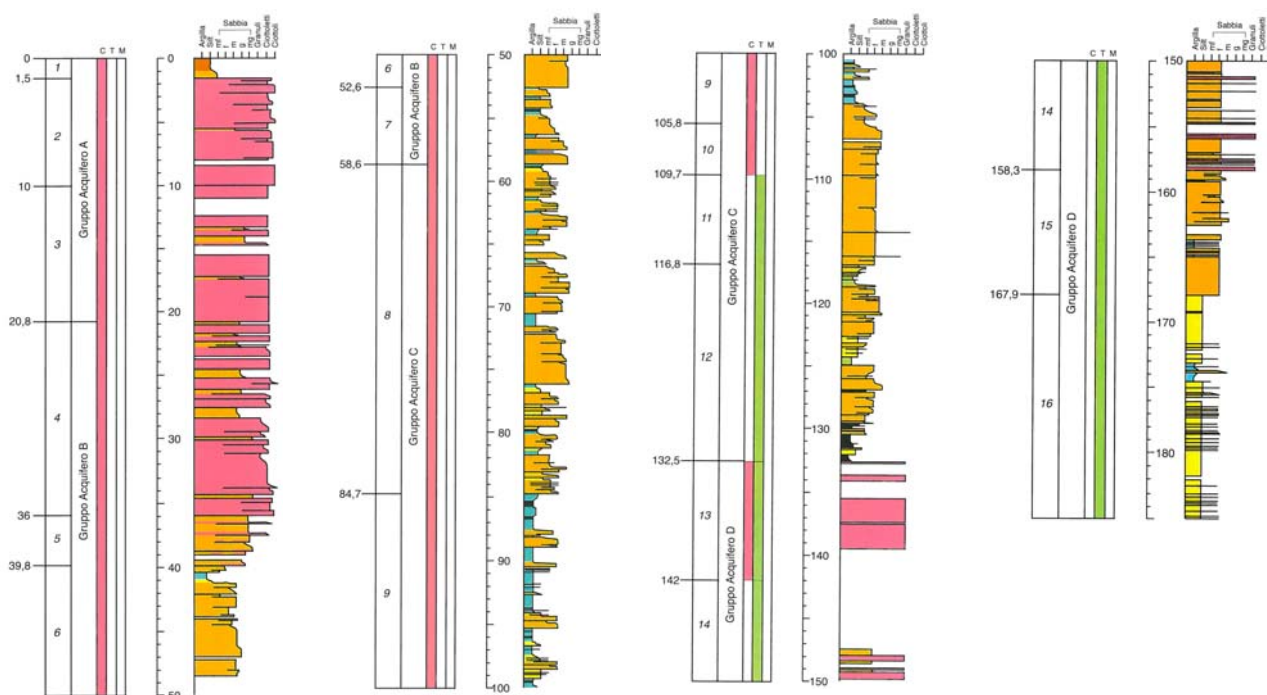


Fig. 3.1 Sondaggio Agrate – 185 m

La separazione dei Gruppi Acquiferi è effettuata su base sedimentologica, utilizzando anche log elettrici e sismici e, come detto, correlazione con dati stratigrafici di pozzi e sondaggi della pianura. Come è rappresentato in legenda (a fianco), i colori sulla colonna di riferimento indicano la natura “continentale, transazionale o marina” dei depositi, mentre quelli riportati sulla colonna stratigrafica sono indicativi delle caratteristiche litologiche dei materiali attraversati.

La descrizione dei Gruppi Acquiferi è sinteticamente riportata di seguito:

#### Gruppo D

Attraversato solo ad Agrate oltre i 132 m di profondità. Sequenza di argilla siltosa e silt con sabbia fine e finissima alla base, sabbia media e fine nella parte intermedia e ghiaia poligenica e sabbia nella parte alta. Genesi da sistema deposizionale di delta-conoide progradante da nord verso sud.

#### Gruppo C

Attraversato completamente dal sondaggio Agrate (da 132 a 59 m) è ripartito in due distinti cicli regressivi. Il ciclo inferiore è rappresentato da argilla siltoso-sabbiosa di ambiente marino di piattaforma, seguito da sabbie di litorale e da sabbie laminate di ambiente deltizio. Seguono sedimenti sabbiosi continentali con intercalazioni di argille e altri sedimenti trasgressivi che preludono al ciclo superiore. Questo è rappresentato da sabbie deltizie e sabbie continentali con argille. Si tratta di un Gruppo Acquifero a forte variabilità sedimentaria. Tutti gli intervalli sabbiosi possono avere buona continuità e discreto spessore con relative buone caratteristiche idrogeologiche, mentre i livelli argillosi trasgressivi tendono a dividere il gruppo in due acquiferi separati.

#### Gruppo B

Ha uno spessore di 40-50 m e presenta forti analogie con il Gruppo A. Presenta granulometrie più grossolane dei Gruppi inferiori, variabili inoltre da nord a sud passando da ghiaie a sabbie prevalenti. E' diviso in due cicli di circa 20 m di spessore: il ciclo inferiore sabbioso con possibili intercalazioni argillose e siltose, e quello superiore tendenzialmente ghiaioso, passante a sabbioso con intercalazioni ciottolose nelle zone più meridionali.

La sedimentazione ghiaiosa del gruppo B segna ovunque il passaggio agli ambienti deposizionali continentali (ambienti fluviali) e a materiali grossolani provenienti da nord, piuttosto che da ovest. La dimensione grossolana (sabbie e ghiaie) dei materiali mantiene alta la porosità del mezzo e la sua permeabilità.

#### Gruppo A

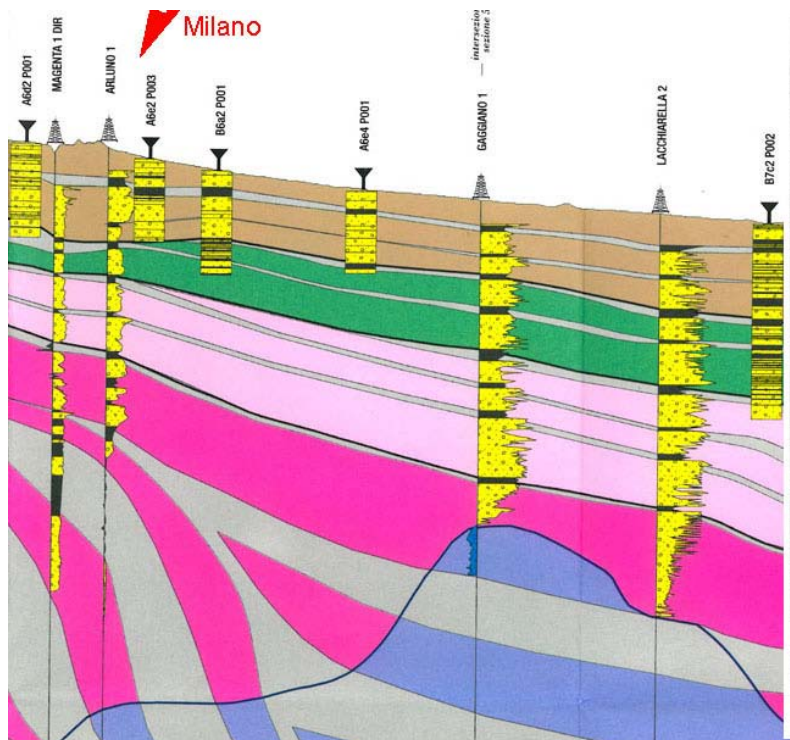
Lo spessore del gruppo è pari a 20-40 m (21 m ad Agrate) ed è molto simile al Gruppo B quanto a tipo di sedimenti e ambiente genetico. Si tratta di ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa con pochi intervalli sabbiosi. L'ambiente è di deposizione continentale fluviale ad alta energia, con apporti di provenienza alpina. Anche in questo caso aumentano procedendo verso sud le granulometrie sabbiose.

La porosità e la permeabilità dei depositi sono elevate e le occasionali lenti argillose non ne intaccano sostanzialmente la continuità verticale.

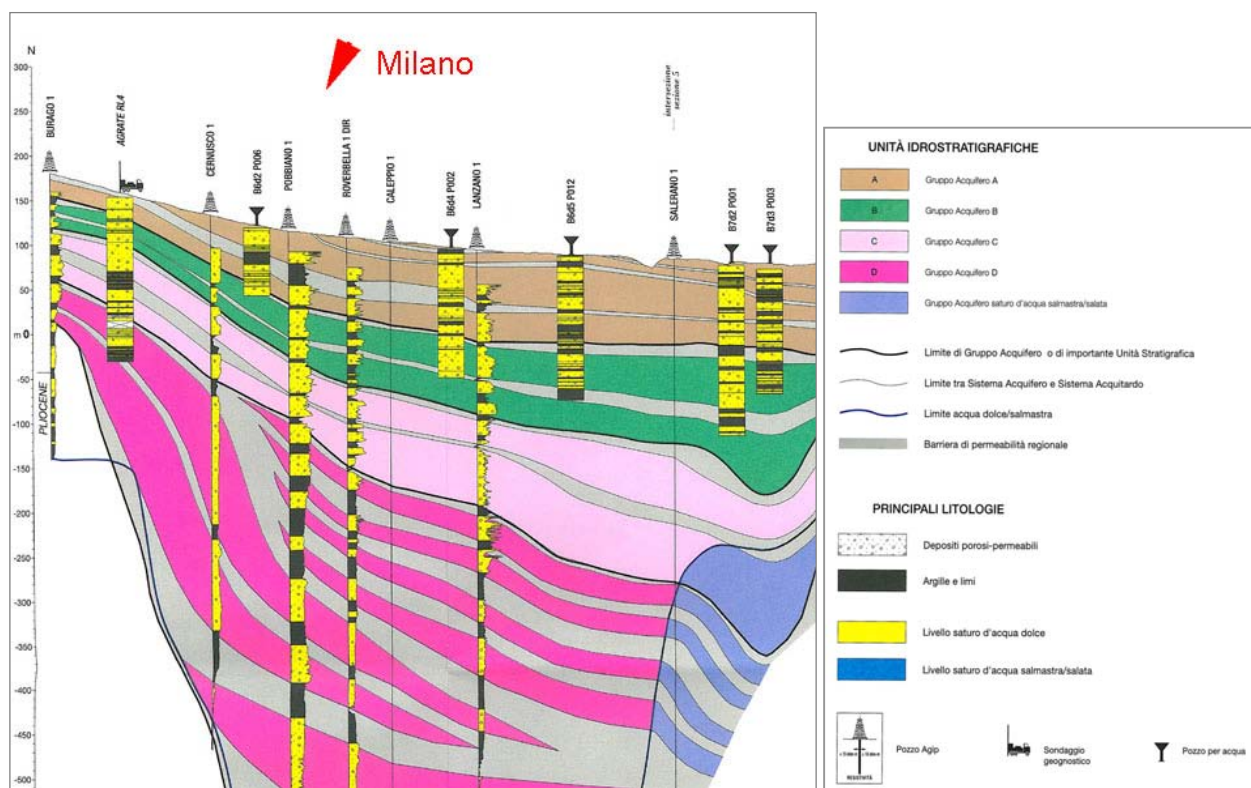


Fig. 3.2 Legenda sondaggio

La sezione 1 ad ovest di Milano e la sezione 2, passante per Agrate B., danno una idea della distribuzione in profondità delle sequenze sedimentarie.



Figg. 3.3-4 Sezione 1 e sezione 2 della Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia (2002)



Le caratteristiche geometriche e idrogeologiche dei Gruppi Acquiferi sono state illustrate in alcune mappe di cui si riportano alcuni stralci relativi all'area milanese.



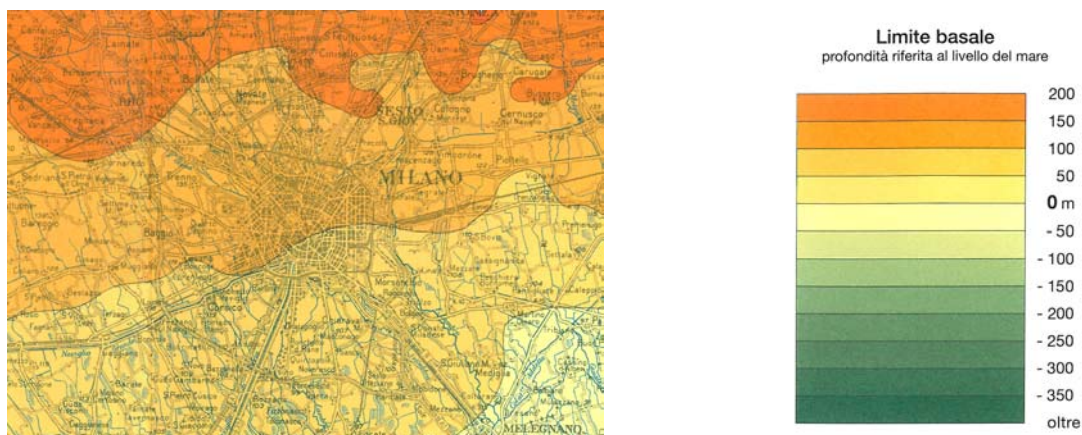
Si riferiscono ai Gruppi Acquiferi A e B e trattano delle isobate degli acquiferi, delle isopache degli stessi, dello spessore cumulo dei depositi permeabili e delle aree di ricarica diretta potenziale degli acquiferi.

La figura seguente riporta parte della mappa della profondità del limite basale dell'Acquifero A. Essa si colloca, in Milano, tra 80 e 130 m circa slm.

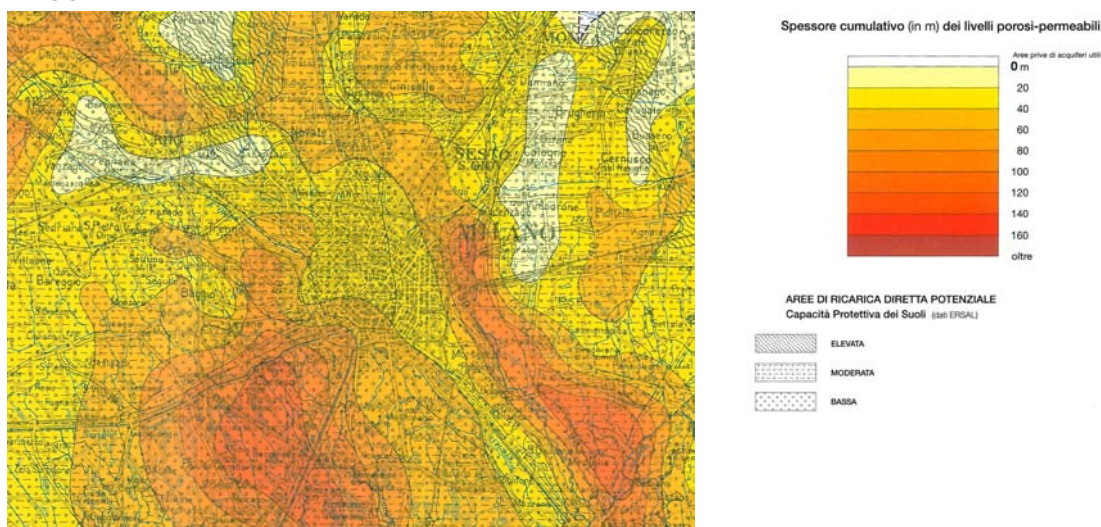
La figura successiva rappresenta invece (in colore) lo spessore cumulo della parte permeabile dei sedimenti dell'Acquifero A e, con retini, le aree a differente ricarica potenziale degli acquiferi corrispondente all'area di affioramento di ciascuno di essi. Qui affiora solo l'Acquifero A e la sua ricarica potenziale viene fatta corrispondere alla Capacità Protettiva dei suoli. Nell'area di Milano si alternano situazioni di moderata e bassa capacità protettiva e dunque di buona ricarica potenziale.

Questo carattere deve, tuttavia, in aree come quella di Milano, essere tenuto in considerazione molto relativa, poiché in superficie il suolo è quasi ovunque sostituito da più metri di materiali diversi accumulatisi nel corso del tempo, e di cui non si conoscono adeguatamente natura e comportamento; inoltre quasi tutte le acque di drenaggio meteorico finiscono in fognatura e non sono destinate alla infiltrazione potenziale.

Quanto allo spessore utile dell'acquifero, si nota comunque che esso è in gran parte compreso tra 20 e 40 m e raggiunge spessori maggiori (60 e 80 m) sui lati est e nord est e nella parte sud-ovest della città.



*Figg. 3.5-6 Carte del Limite basale dello spessore del Sistema Acquifero A*



La situazione della successione degli acquiferi nel sottosuolo è schematizzata nella figura seguente che confronta la interpretazione attuale con quelle precedenti, in particolare con quelle di Francani & Pozzi 1981 e Avanzini et al. 1995. Da quest'ultima pubblicazione sono riprese le sezioni che illustrano più in dettaglio la struttura idrogeologica del sottosuolo.

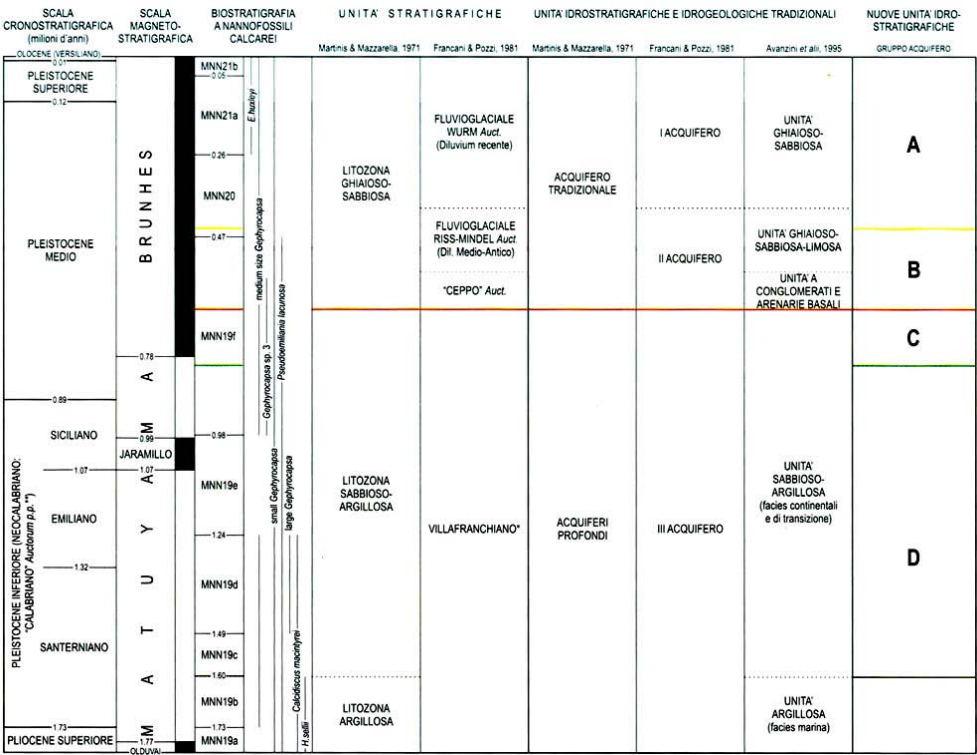
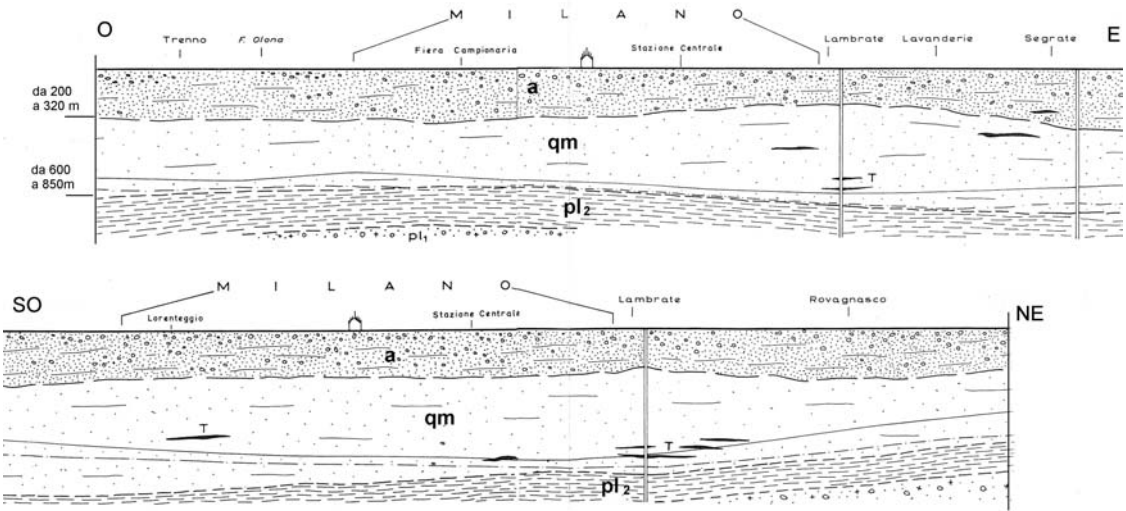


Fig. 3.7  
Schema  
stratigrafico  
degli acquiferi  
milanesi

E' evidente, da quanto detto, che gli acquiferi a maggiore potenzialità sono i primi due, ma anche gli acquiferi profondi contengono acque dolci, seppure difficilmente sfruttabili, fino sostanzialmente alla gran parte dell'Acquifero D. Per questo, nella figura sottostante (Fig. 3.8), tratta da CNR-IRSA (1976), si rappresentano tutti insieme gli acquiferi continentali, sovrapposti ai depositi francamente marini (a: quaternario continentale o di transizione; qm: quaternario marino; pl2: pliocene medio)



Rimane il fatto che anche negli acquiferi meno profondi, fino a 100-120 m di profondità, sono presenti lenti e strati limo argillosi in proporzioni diverse nelle diverse aree della città e a profondità di comparsa differenti.

Dove tali orizzonti semipermeabili o poco permeabili assumono una certa rilevanza si può parlare di parziale compartimentazione dello spessore utile dell'acquifero superficiale e di tendenza a dar luogo ad un acquifero bistrato o multistrato.

Secondo la interpretazione di Francani e Beretta ("La geologia della città di Milano in relazione con i fenomeni di subsidenza" 1990) si possono distinguere approssimativamente 4 settori di differente struttura idrogeologica:

a) il settore orientale, con "ottime caratteristiche di permeabilità e produttività degli acquiferi, con maggiore profondità del tetto dell'unità c (più o meno corrispondente all'attuale Acquifero C).

b) il settore meridionale in cui "si manifesta una maggiore ricchezza in sabbia nel primo acquifero e nel secondo; ciò si verifica soprattutto nella parte occidentale della città, dove la permeabilità dei terreni risulta inferiore a quella del settore orientale"

c) "nella zona occidentale della città la granulometria del primo acquifero è più sabbiosa che nel settore orientale; a questi livelli fanno seguito fra 80 e 100 m di profondità orizzonti decisamente fini, che in alcuni pozzi hanno spessore singolo di oltre 20 m

d) nel settore si ritrova invece "una maggiore ricchezza, fino a 100-120 m di profondità, di depositi grossolani"

Questa situazione è sintetizzata da P.Casati (Airoldi, Casati 1989) come nella carta riprodotta sotto (monostrato, bistrato, multistrato da nord a sud).

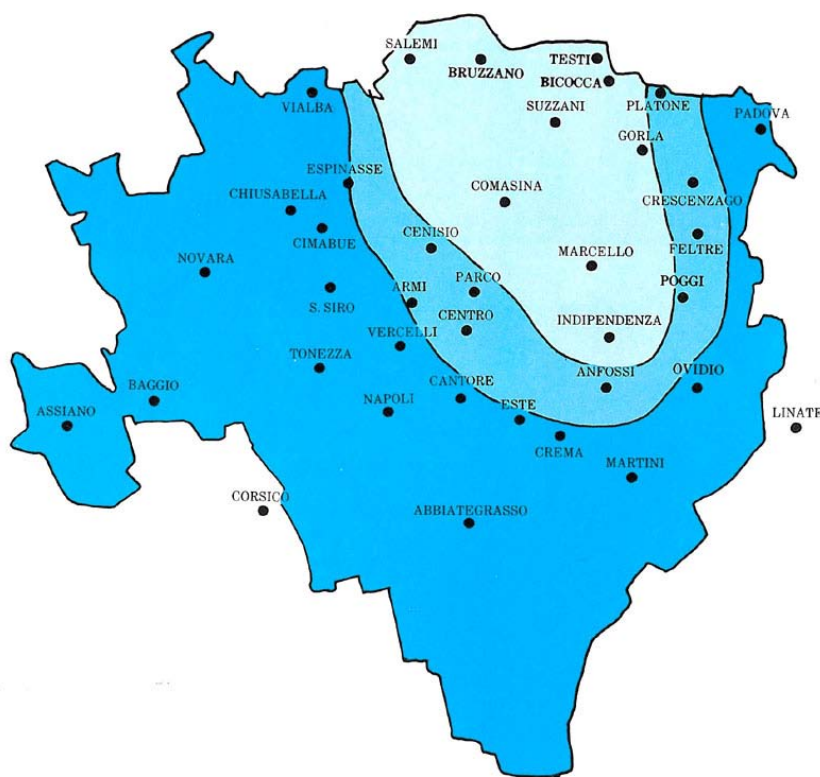


Fig. 3.9 Stratificazione delle falde idriche (in Airoldi, Casati 1989)



Nella figura seguente sono invece rappresentati i caratteri della permeabilità superficiale milanese, sempre secondo Francani, Beretta, abbastanza in accordo con le considerazioni precedenti.

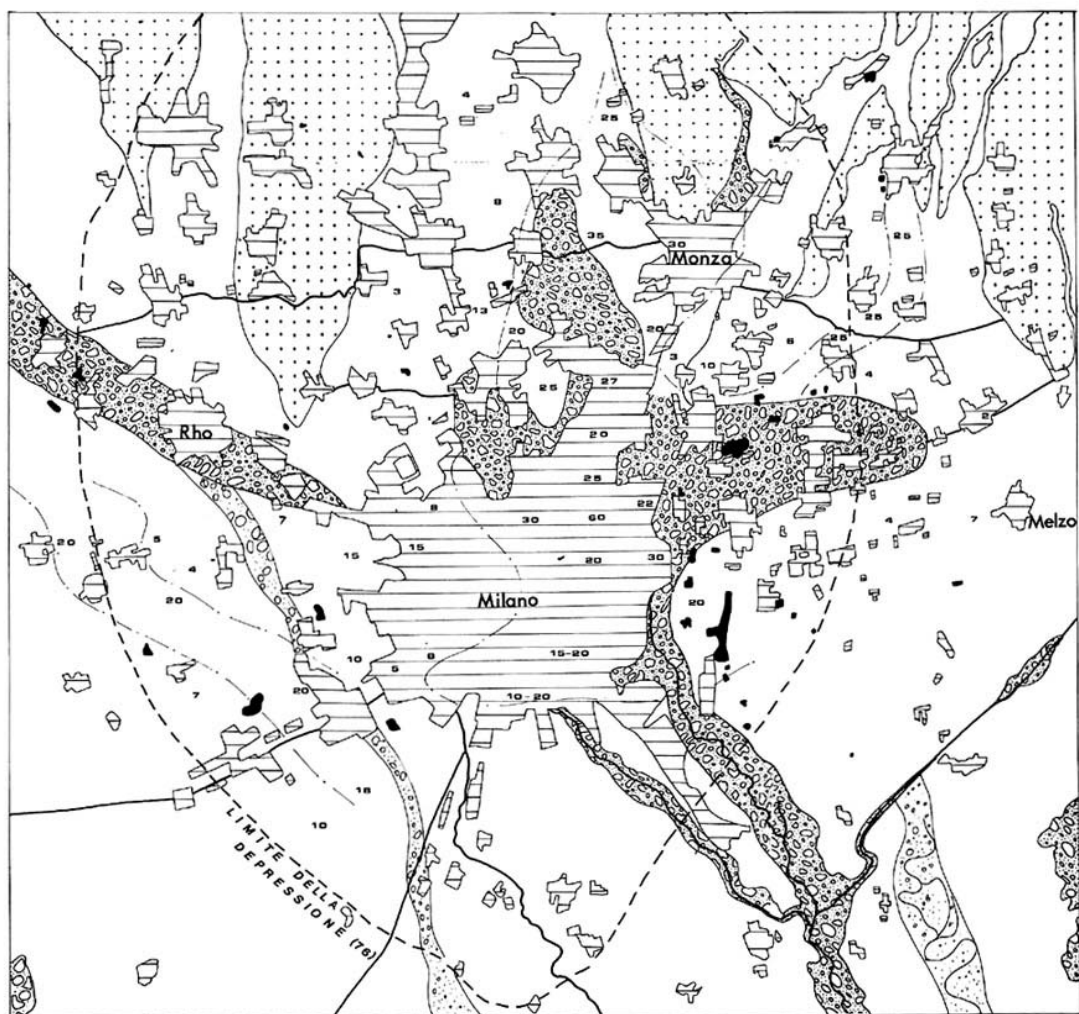


Fig. 3.10 Permeabilità dei terreni superficiali (V.Francani - IRSA CNR 1980)

Nella stessa carta viene indicato il limite della depressione milanese per sovraemungimento della falda al 1976, cioè all'inizio dei primi segnali dell'inversione di tendenza, dovuti, nello specifico, anche dalla doppia esondazione dei fiumi milanesi dell'autunno 1976.

## La falda freatica: geometria, tendenze e alterazioni

La disponibilità idrica del sottosuolo di Milano è rappresentata da più falde che occupano prima di tutto gli acquiferi a matrice grossolana (A e B) e poi in misura diversa gli acquiferi profondi. Come visto, lo spessore utile dell'acquifero in comunicazione, più o meno in modo continuo, con la superficie libera della falda, è pari a 30-70 metri per l'acquifero A e per altri 40 m per l'acquifero sabbioso sottostante. Le ricerche profonde oltre 100-120 m hanno dato risultati quantitativamente ridotti e problemi di qualità dell'acqua.

L'elevata disponibilità idrica, dovuta dunque ai valori elevati di spessore utile e permeabilità, sono sempre stati testimoniati dall'intenso sfruttamento idrico per l'uso potabile della falda freatica al servizio di tutte le esigenze della città e, più recentemente, delle falde semiprotette e di quelle più profonde.

La misura della stabilità o variazione delle riserve idriche è rappresentata in modo inequivocabile dalla geometria della superficie superiore della falda libera e dalla sua profondità assoluta e rispetto al piano campagna (soggiacenza).

Per inquadrare la tendenza attuale dell'andamento della falda ed anche le sue possibili interferenze con le opere antropiche, si ripercorre qui brevemente la storia recente del monitoraggio geometrico della stessa sulla base delle mappe reperibili in varie pubblicazioni e su quelle disponibili nel sito web del Settore Risorse Idriche della Provincia di Milano.

Le mappe riportate sono state georeferenziate, con la precisione consentita dai disegni, per mostrare, nella parte di dettaglio locale, la collocazione delle aree degli scali ferroviari interessati dall'indagine.

La prima mappa è tratta dal sito della Provincia di Milano e si riferisce al settembre 1954, mentre la seconda proviene dal Volume "Le falde idriche del sottosuolo di Milano (Airoldi, Casati 1989) e si riferisce alla situazione del 1960 (stagione).

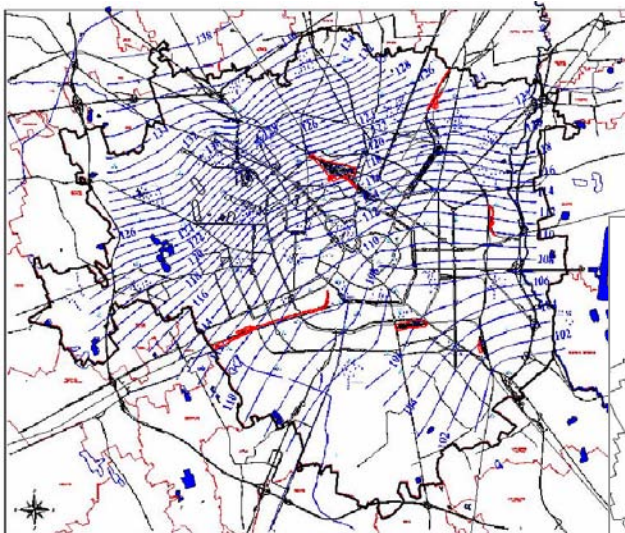


Fig. 3.11 isofreatiche 1954

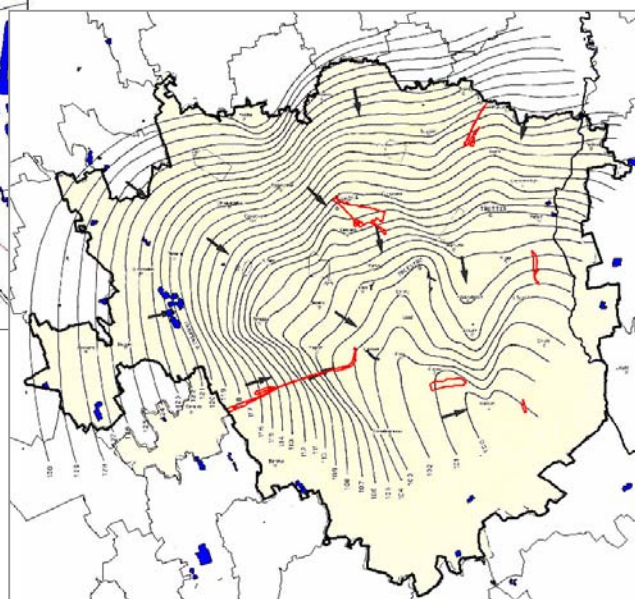
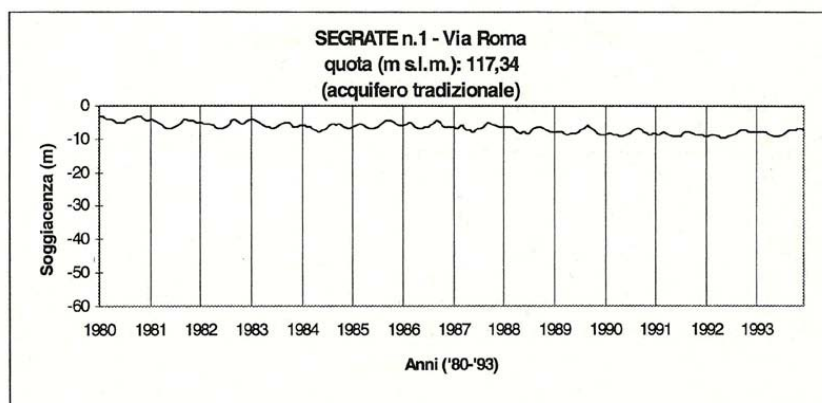


Fig. 3.12 isofreatiche 1960

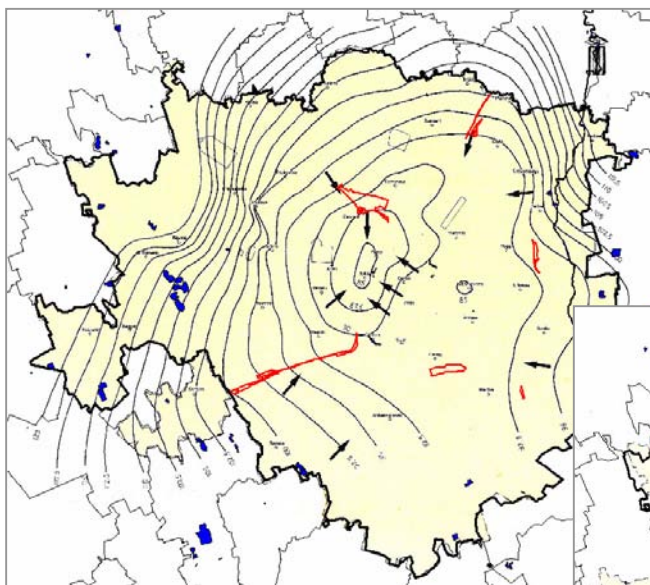


Si deve naturalmente considerare che nelle aree irrigue o un tempo irrigue, per i contributi del Canale Villoresi, a nord di Milano, e della Martesana, l'escursione della superficie freatica nel corso dell'anno era notevole, anche se può ritenersi ora molto attenuata per l'ampliamento dell'urbanizzato e la riduzione dei terreni irrigati. I minimi livelli, in questi casi, si registrano a marzo-aprile, e i massimi ad agosto-settembre. Si veda l'esempio seguente riferito all'area di Segrate.

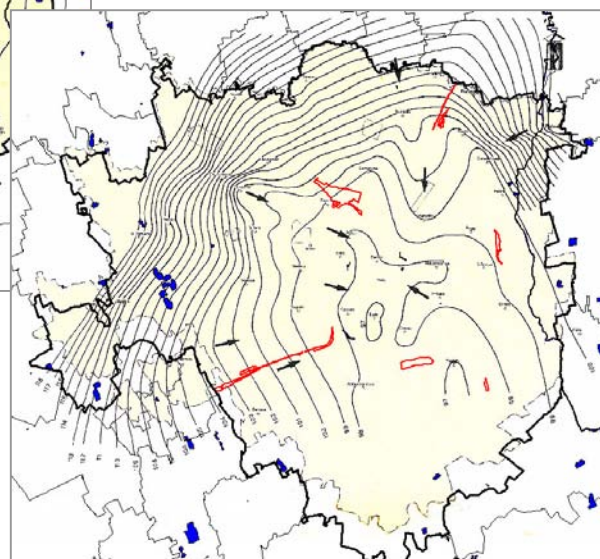


*Fig. 3.13 Grafico oscillazioni freatiche a Segrate*

Le carte seguenti provengono dalla stessa fonte di quella del 1960 e si riferiscono 1975 e al 1989 (Airoldi, Casati 1989).



*Fig. 3.14 isofreatiche 1975*



*Fig. 3.15 isofreatiche 1989*

Infine, sono riportate le carte delle isofreatiche prodotte dalla Provincia di Milano e relative al marzo 2001, al settembre 2008 e al marzo 2009. Le mappe sono state georeferenziate e riportano l'ubicazione delle aree degli scali ferroviari. Nelle ultime due mappe, 2008 e 2009, sono anche rappresentate le soggiacenze della falda in classi.

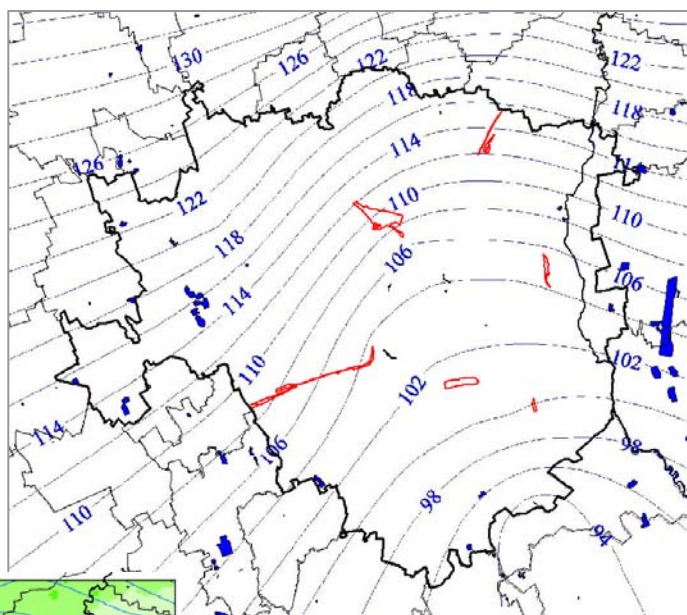
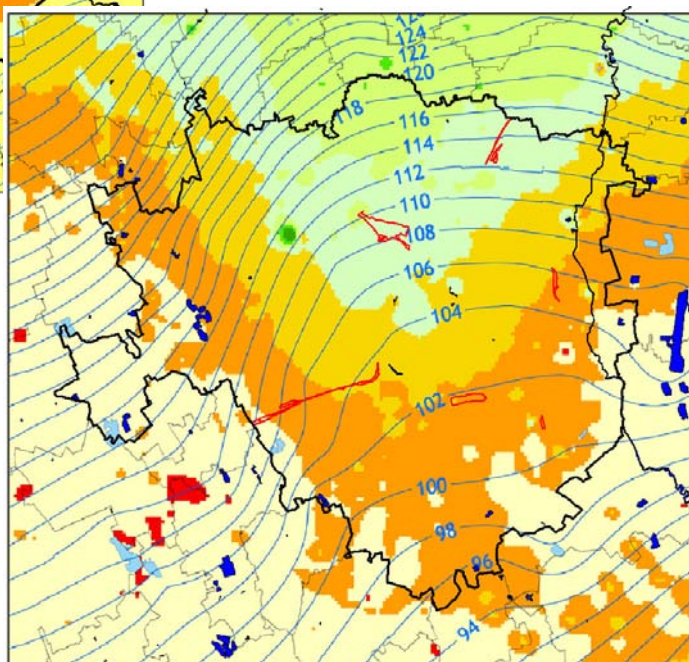
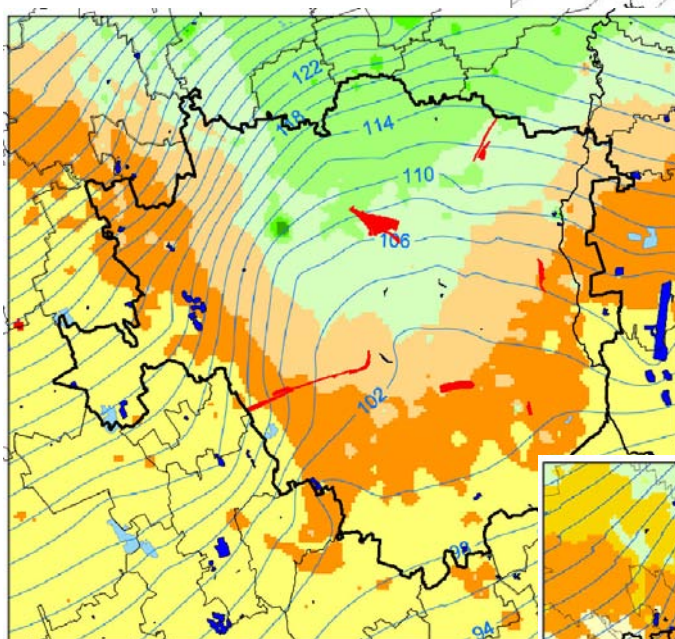


Fig. 3.16 isofreatiche marzo 2001

Fig. 3.17 isofreatiche settembre 2008

Fig. 3.18 isofreatiche marzo 2009



#### Soggiacenza





Da queste mappe e, in generale, dalle analisi condotte da vari enti e vari autori (si veda in bibliografi) si ricava l'evidenza del sensibile (fino a 30 m ?) abbassamento della falda idrica milanese nel ventennio 1955-75 circa, seguito da fasi diverse di risalita e abbassamento fino agli anni '90. In questa ultima fase, a partire dagli anni '80, l'acquifero milanese, al contrario di diverse aree della provincia circostante ha continuato a risollevarsi o a rimanere stabile, soprattutto a causa delle riduzioni dei prelievi, soprattutto industriali, della riduzione degli spurghi da prima falda e dei consumi anche civili totali.

La cosa è messa in evidenza dalla figura seguente, tratta da una relazione della Provincia di Milano al Convegno sulla "Geologia Urbana di Milano" del 2007 (Arduini, Carraro, Gangemi, Di Palma). La carta mostra le variazioni cumulate del livello di falda tra 1985 e 1997, variazioni che risultano positive su quasi tutta l'area cittadina. Questa risalita ha causato, come è noto, molti problemi alle infrastrutture e alle strutture edilizie più profonde che erano state progettate senza prevedere la reversibilità, almeno parziale, dell'abbassamento piezometrico.

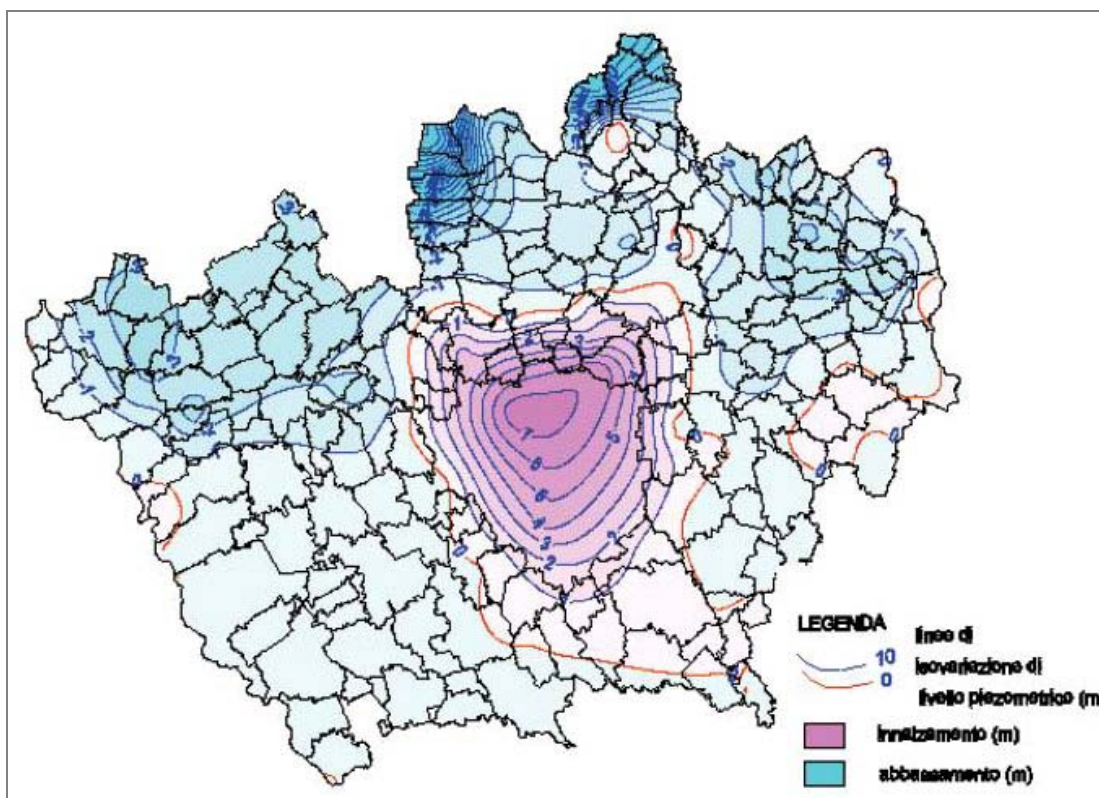


Fig. 3.19 Variazioni della superficie freatica tra 1985 e 1997

In ogni caso, il confronto tra le quote della falda nel '54 e il 2009 mostrano che, alla fine, nelle aree centrali della città e in quelle settentrionali più interessate dal cono depressivo causato dagli emungimenti, si è comunque conservato un evidente abbassamento dei livelli idrici pari a circa 10 m, rispetto agli anni '50. Un abbassamento che risulterebbe ancora più evidente (almeno doppio) se si considerassero le quote di falda a partire dai primi segnali di abbassamento alla fine degli anni '20.

Nelle aree periferiche a sud, est ed ovest, la riduzione complessiva dagli anni '50 della superficie piezometrica è invece registrabile in valori compresi tra 2 e 4 m.



Naturalmente, come si è visto poco sopra, questi valori non vanno mediati sull'intero intervallo cronologico considerato, ma riferiti ai soli periodi di abbassamento, durante i quali le variazioni verificatesi hanno assunto ritmi di più di 1 m/anno. Le variazioni positive, d'altro canto, secondo la figura soprastante, si sono anch'esse sviluppate recentemente con ritmi superiori a 0,5 m/anno.

Dati aggiornati allo stato attuale sulla situazione della prima falda derivano dunque sia dalla Provincia di Milano (dati rete di monitoraggio provinciale ed elaborazioni riferite ai mesi di marzo e settembre di ogni anno), sia da altre indagini specifiche realizzate nel marzo 2007 dal gruppo tecnico che si occupa della redazione delle indagini geologiche per il nuovo PGT di Milano.

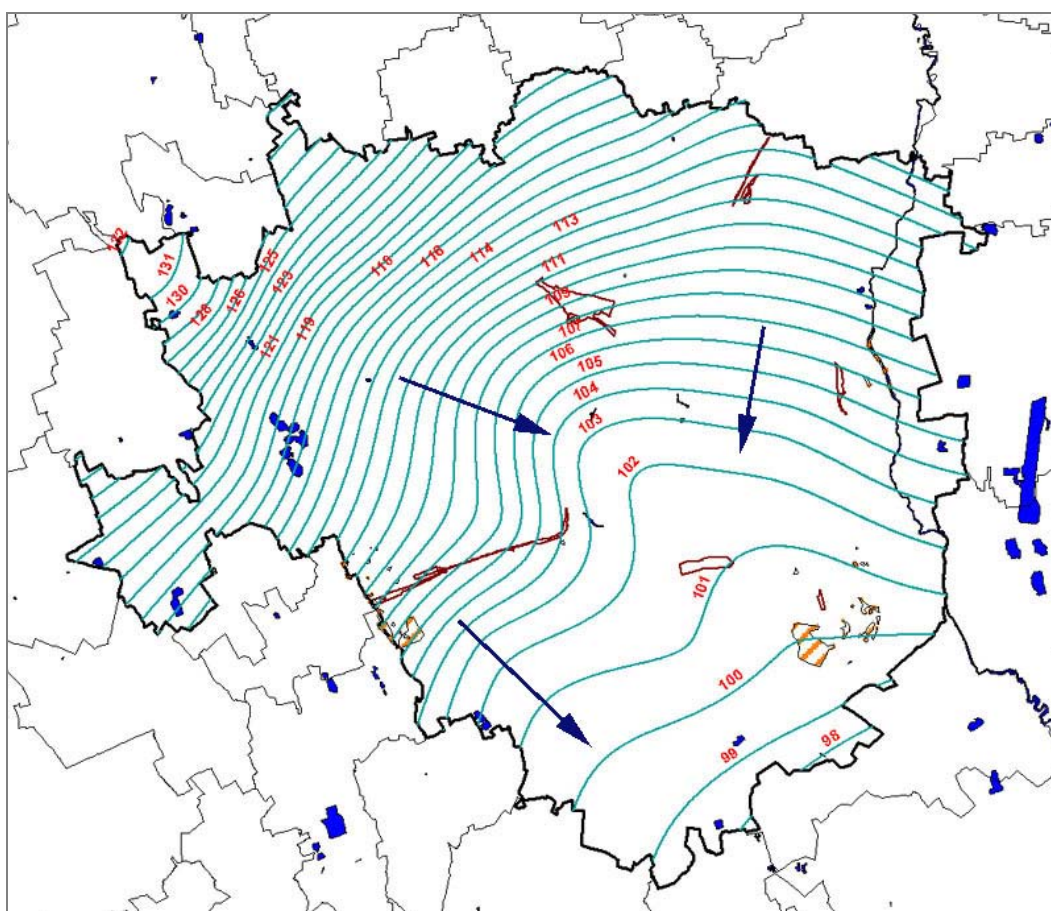


Fig. 3.20 Isopiezometriche marzo 2007 (Comune di Milano)

Nella figura soprastante sono riportate le isofreatiche con equidistanza di un metro e le aree a soggiacenza inferiore a 5 m. Sono abbastanza ben sovrapponibili a quelle elaborate nelle mappe della Provincia di Milano e mostrano ancora una notevole evidenza della convergenza idrica verso la depressione della parte centro-orientale della città. Il massimo gradiente è riconoscibile in tutto il settore nord-occidentale di Milano dove può arrivare allo 0,4-0,5%, un valore superiore a quello del terreno che giustifica il flusso verso sud-est o sud e la depressione centro cittadina. Il gradiente si riduce a 0,3 % nelle zone di nord-est e gradualmente verso lo 0,1 % procedendo verso sud, fino ai valori minimi inferiori a questa soglia.

Quanto alla soggiacenza attuale, si può verificare la situazione recente nelle mappe della Provincia riferite a settembre 2008 e marzo 2009.

Nella parte sud del territorio cittadino e ai margini ovest e sud-est la soggiacenza presenta i valori più bassi, inferiori a 5 m e tra 5 e 10 m, mentre nel nucleo centrale i valori sono compresi tra 10 e 15 m. Infine, nella sezione centrale della parte settentrionale del territorio cittadino, la soggiacenza aumenta fino alla classe 15-30 m.

Un altro aspetto ha fortemente segnato l'evoluzione delle caratteristiche delle acque sotterranee, riducendone la disponibilità per gli usi più qualificati. Si tratta naturalmente del progressivo processo di alterazione antropogenica delle acque sotterranee, soprattutto se non protette, da parte di inquinanti rilasciati nelle acque superficiali e nel suolo o dispersi da serbatoi e condotte sotterranee.

Si tratta di un fenomeno complesso che ha finito per compromettere l'uso potabile della prima falda, se non adeguatamente trattata, e la cui storia è stata descritta da vari lavori e rapporti scientifici. Il fenomeno è esploso dagli anni '60 con gli inquinamenti di cromo e dei solventi organo alogenati, segnalati per la prima volta al mondo a Milano nel 1964.

Il monitoraggio continuo a cui la falda freatica e le falde profonde sono sottoposte e, soprattutto l'evoluzione legislativa e dei controlli, oltre alla chiusura di molte attività produttive, hanno contribuito a smussare i picchi di inquinamento più acuti e a ridurre alcuni fattori principali di alterazione. Tuttavia ad alcuni inquinanti se ne sono sostituiti altri e non si esauriscono gli episodi acuti e i nuovi focolai.

Negli ultimi anni le cause più frequenti e diffuse di alterazione sono ancora legate ai composti organo alogenati, agli antiparassitari, agli idrocarburi e, più diffusamente, ai nitrati. Questi ultimi, benché ridotti spesso sotto la soglia ammessa di 50 mg/l, rappresentano un fenomeno di alterazione molto diffuso e legato sia all'azoto agricolo, ma solo nelle aree di vocazione rurale, sia, nelle aree urbane, a scarichi, perdite fognarie, fosse biologiche, discariche, ecc.

Nelle figure seguenti è esposta la situazione ricavabile da sintesi prevalentemente messe a punto dal Servizio Acque Sotterranee della Provincia di Milano, in particolare con l'indagine del 2002 "Fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee nella Provincia di Milano" (Direzione Centrale Ambiente 2002).

La figura 3.21 offre una sintesi del livello di alterazione delle falde ricavato dalla analisi di tutte le situazioni di inquinamento.

La figura 3.22 si riferisce, invece, ad una sintesi dei focolai attivi al 2002 e mostra molti plume di diffusione di inquinanti di origine prevalentemente industriale come vari composti organo alogenati, antiparassitari, freon, cromo esavalente e idrocarburi aromatici.

Ciascun episodio principale è illustrato in dettaglio e descritto in apposita scheda.



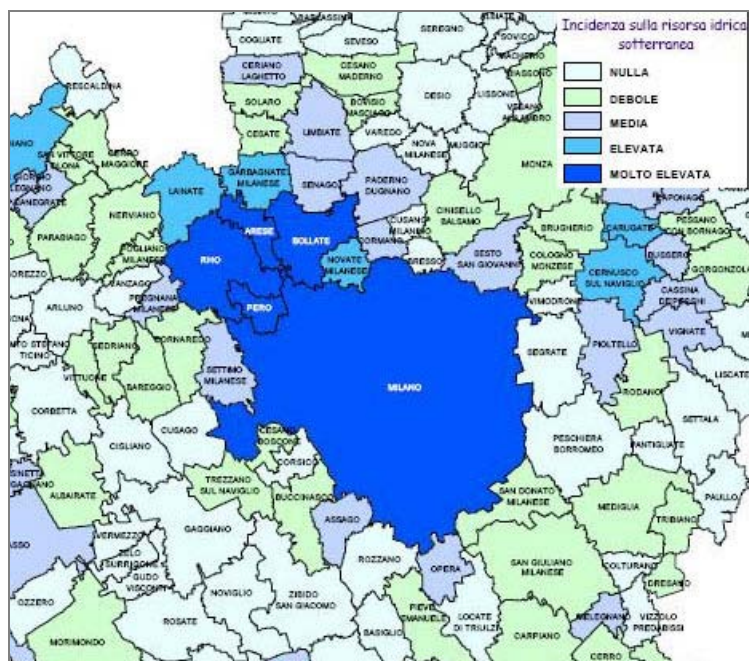


Fig. 3.21 Incidenza dell'inquinamento sulla disponibilità di acque sotterranee (Provincia di Milano)

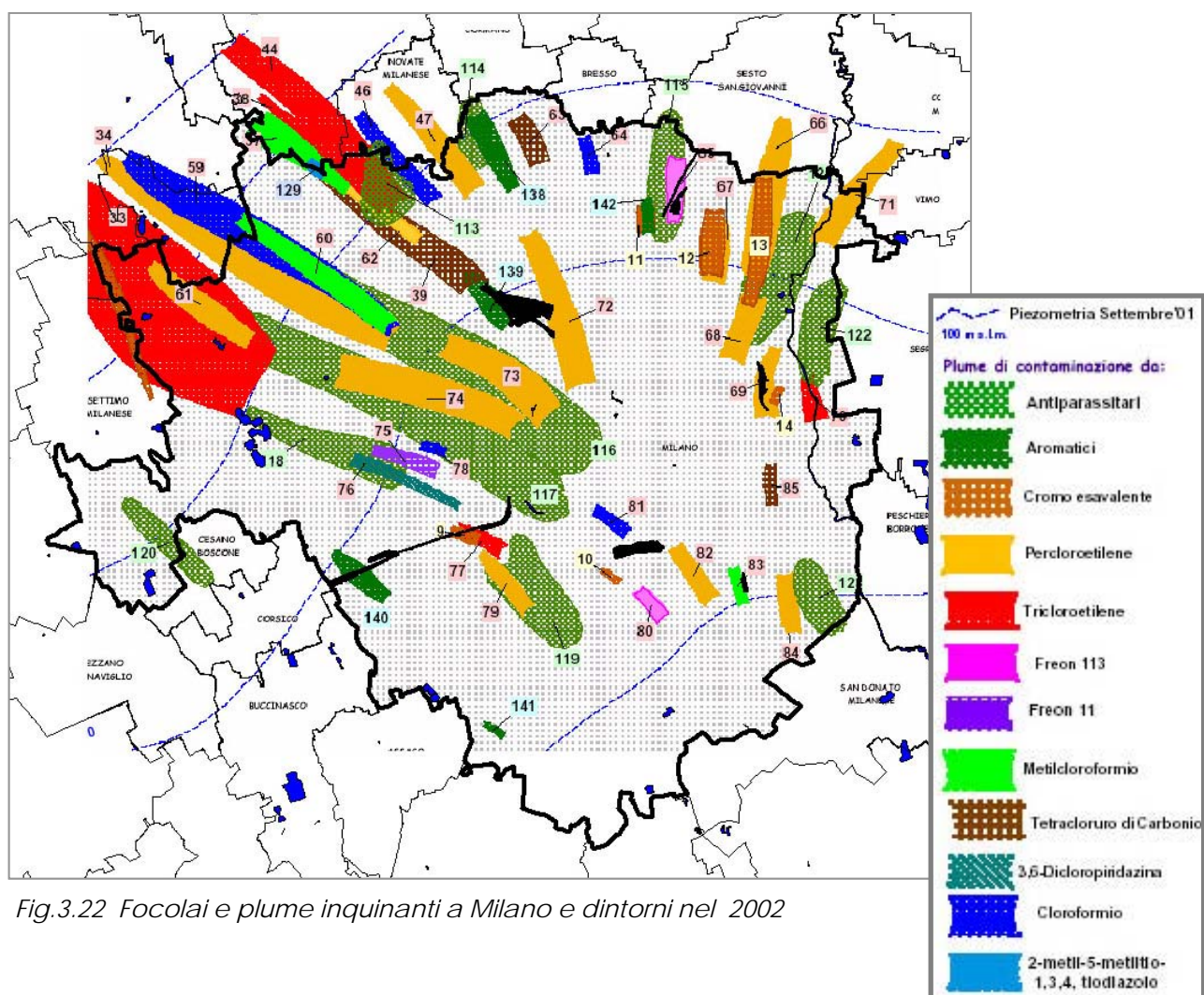


Fig.3.22 Focolai e plume inquinanti a Milano e dintorni nel 2002



La carta sottostante riporta invece uno stralcio di una mappa generale dei nitrati in falda della Provincia di Milano, riferita a dati successivi al 2000 (Convegno Geologia Urbana di Milano 2007). In entrambe le carte, georeferenziate sulla base dei punti riconoscibili, è stata riportata la collocazione delle aree degli scali milanesi considerati. I valori di concentrazione di nitrati in falda (colori) variano da 10 mg/l a sud a 30 nella parte nord di Milano con una discesa dei valori relativamente più elevati verso la depressione piezometrica del centro città. Questa situazione risultava ancora più accentuata 10 o 20 anni fa quando tutto il territorio veniva attraversato al suo centro e nella fascia centro-orientale da un inquinamento diffuso superiore a 30 e 40 mg/l.

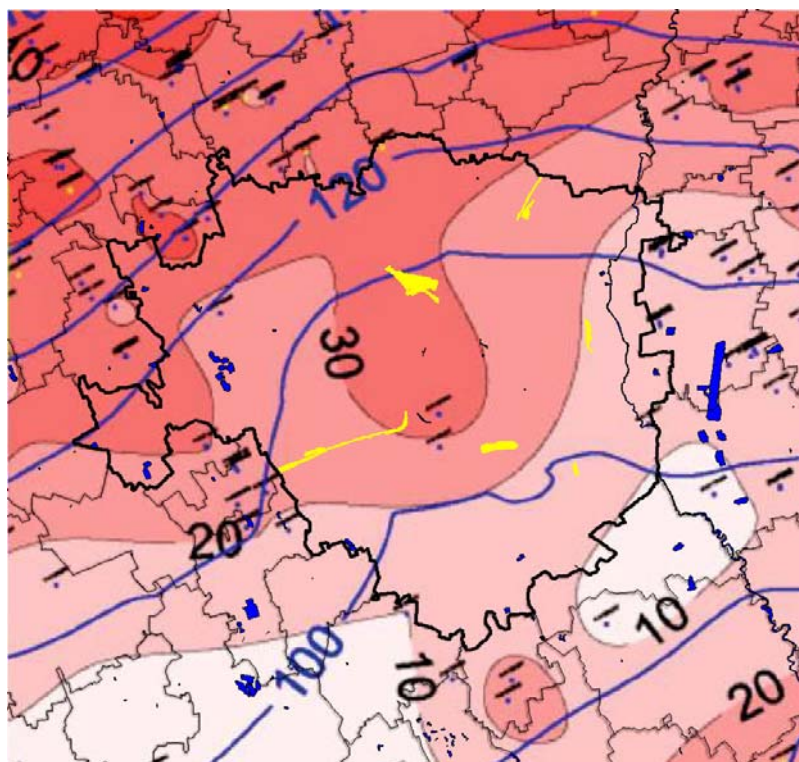


Fig. 3.23 Nitrati in falda in mg/l

Riguardo alle caratteristiche di base del chimismo delle acque, si può segnalare la distribuzione dei valori di durezza espressi in gradi francesi (1 grado=10 mg/l  $\text{CaCO}_3$ )

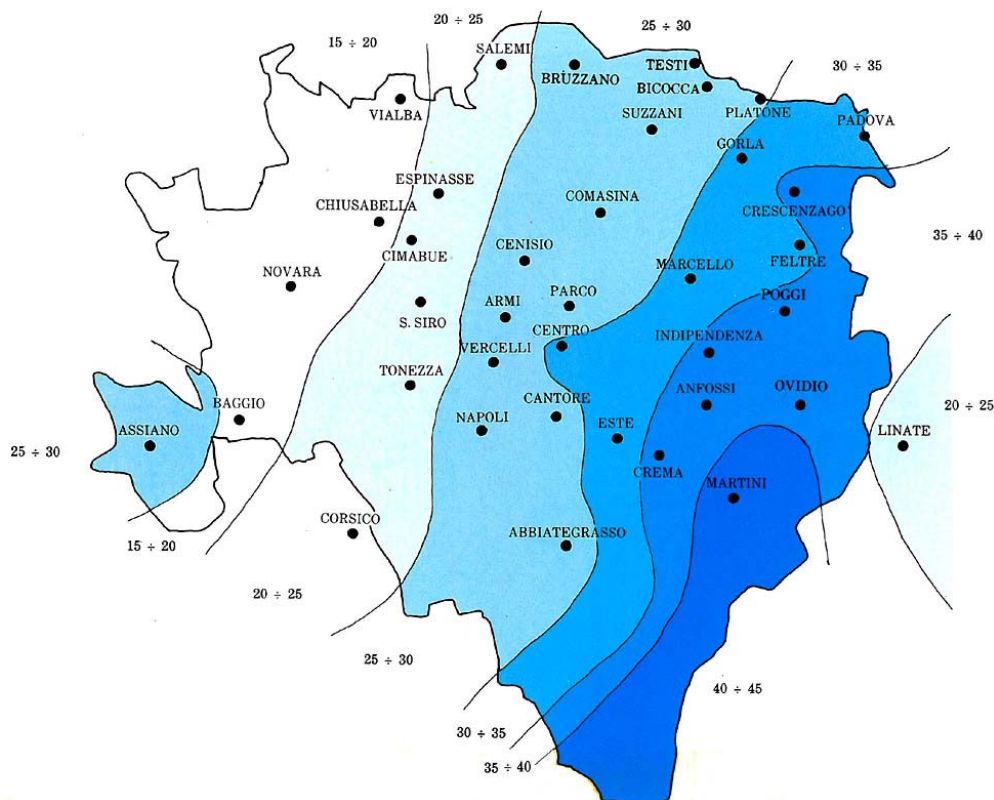


Fig. 3.24 Valori di durezza in ° francesi nelle acque sotterranee di Milano (Airoldi, Casati 1989)

## Consumi e prelievi

L'approvvigionamento idrico pubblico del Comune di Milano è assicurato da un acquedotto civico che ha iniziato la propria attività a fine '800 con l'avvio di una politica di utilizzazione intensiva della falda freatica attraverso il collegamento di più pozzi concentrati in aree circoscritte della città (centrali di prelievo e pompaggio). Attualmente l'acquedotto, passato alla gestione MM spa, nell'ambito dell'ATO Comune di Milano, mantiene attive 32 centrali, con circa 470 pozzi attivi e una rete di circa 2200 km di condotte idriche.

Il consumo pubblico è valutabile in circa 250 milioni di mc/a, di molto calato rispetto ai 330 milioni del 1990, da incrementarsi inoltre delle perdite occulte come i consistenti spurghi dei pozzi inquinati pescanti in prima falda. Il consumo privato dovrebbe risultare di circa 50 milioni di mc annui.

Negli anni, soprattutto a causa del forte inquinamento idrico verificatosi negli anni '60 e '70 si è incrementata la profondità del prelievo idrico, passando dalla sola prima falda a modesta profondità a profondità maggiori in situazioni di moderata o sensibile protezione idrogeologica.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area corrispondente alla città di Milano e al suo immediato interland presenta un permanente sensibile squilibrio idrico legato agli effetti di un eccessivo pluridecennale prelievo rispetto agli apporti meteorici e di falda; squilibrio peraltro contraddetto, negli anni recenti, da una fase di accumulo idrico dovuta alle citate riduzioni di consumi e ad eventi climatici e idrologici favorevoli.

Questa tendenza inversa è tuttavia in fase di esaurimento e si ritiene necessario, nelle politiche regionali di settore, richiedere un sensibile risparmio agli usi civili complessivi. Nella figura sottostante (Fig. 3.25) è riprodotta la valutazione di massima sulla situazione di equilibrio/squilibrio delle falde sotterranee e di sostenibilità del loro attuale sfruttamento come riportate nella Tav. 4 (Classificazione dei Corpi Idrici Sotterranei) del Programma di Tutela e Uso delle Acque (DGR VIII/2244 del 29/3/2006). L'area del Comune di Milano è classificata in classe C di forte impatto e squilibrio antropico.

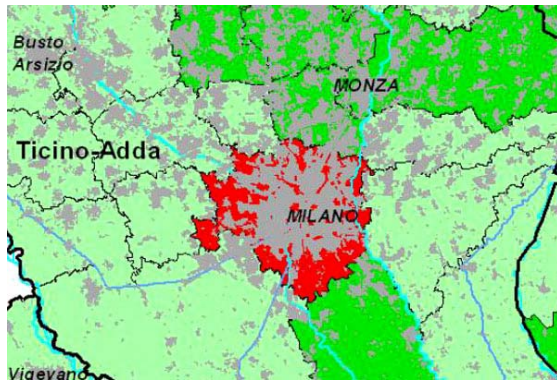


Fig. 3.25

**Classificazione quantitativa dei corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. 152/99 e succ. modif. e integr.**

- Classe A – Impatto antropico nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili sul lungo periodo
- Classe B – Impatto antropico ridotto con moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo

- Classe C – Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali
- Classe D – Impatto antropico nullo o trascurabile ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica

Qui sotto è invece riprodotta la distribuzione dei pozzi delle centrali dell'acquedotto pubblico milanese (in blu) rispetto alla ubicazione degli scali ferroviari considerati.

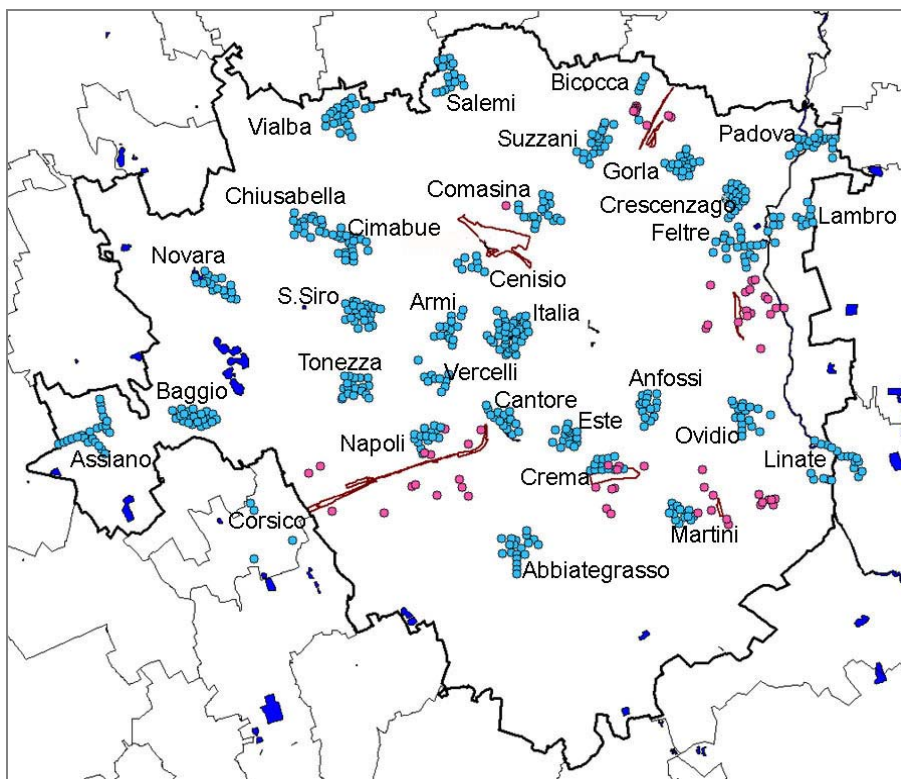


Fig. 3.26



In questa seconda figura, gli stessi punti sono classificati a seconda che si tratti di pozzi attivi, in disuso o cementati.

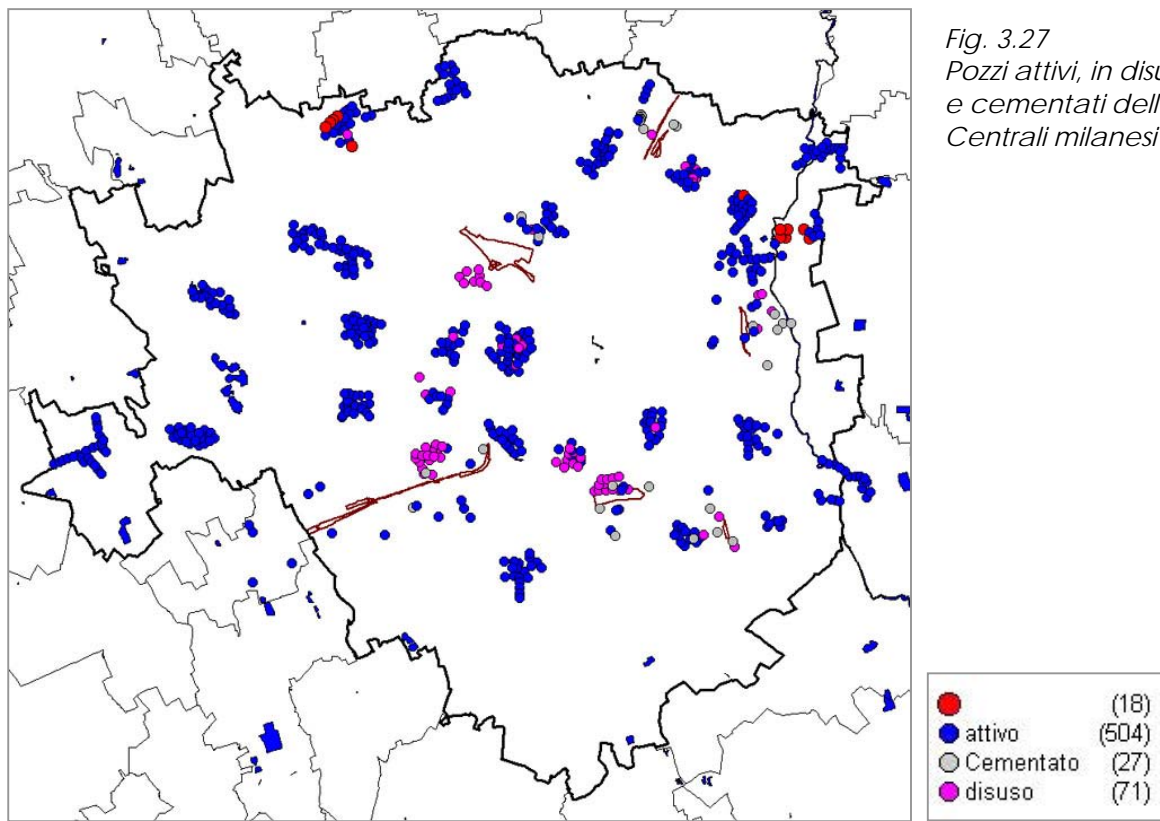


Fig. 3.27  
Pozzi attivi, in disuso  
e cementati delle  
Centrali milanesi

### 3.2 Caratteri e problemi dell'area

#### *Note sulla struttura idrogeologica locale*

La struttura idrogeologica del sottosuolo dell'area considerata viene inizialmente valutata sulla base delle molte sezioni idrogeologiche interpretative realizzate per varie ricerche negli ultimi 20-30 anni.

Qui si utilizzano alcuni stralci delle sezioni pubblicate con l'indagine "Le risorse Idriche sotterranee nella Provincia di Milano (Provincia di Milano, Assessorato Ambiente – Politecnico di Milano DSTM Geologia Applicata, 1995). Nella figura sottostante è riportato il quadro generale delle tracce delle sezioni da cui si evince che l'area dello scalo di S.Cristoforo, indicato dalla freccia, può essere illustrato in particolare dalle sezioni O-E 12 e 13 e dalle sezioni F e G dirette N-S.

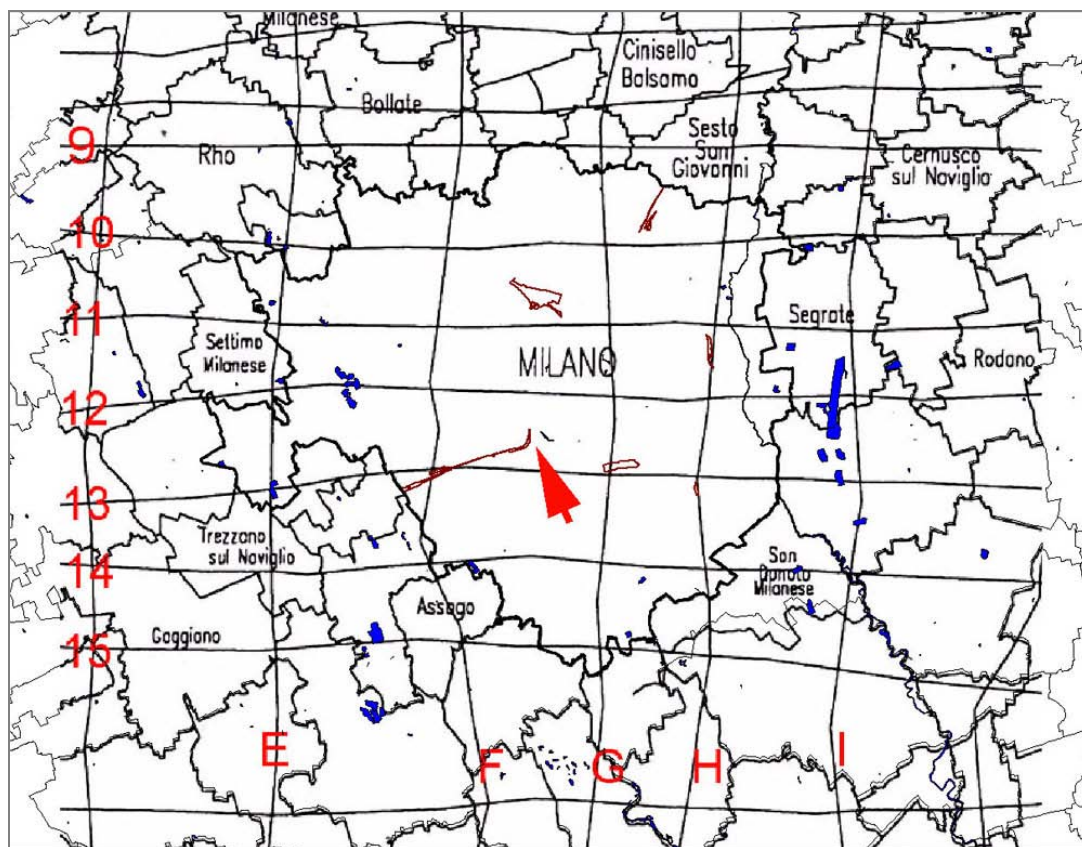


Fig. 3.28  
Traccia delle sezioni  
idrogeologiche da  
"Provincia di Milano 1995"

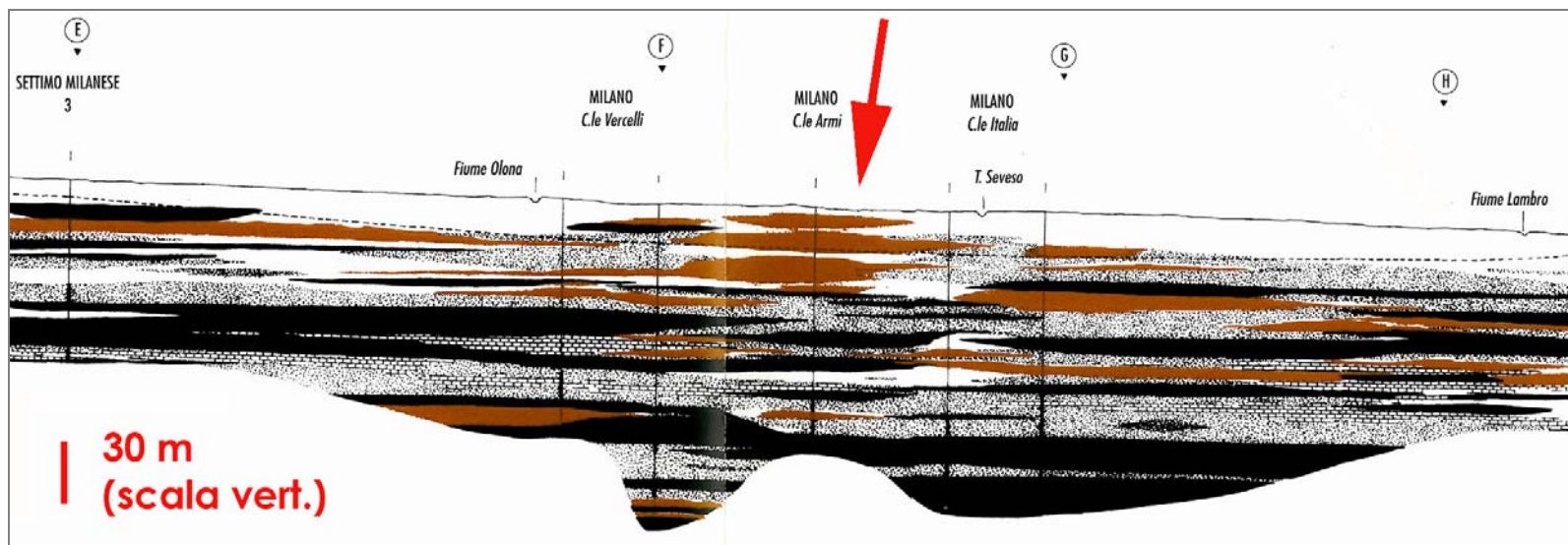
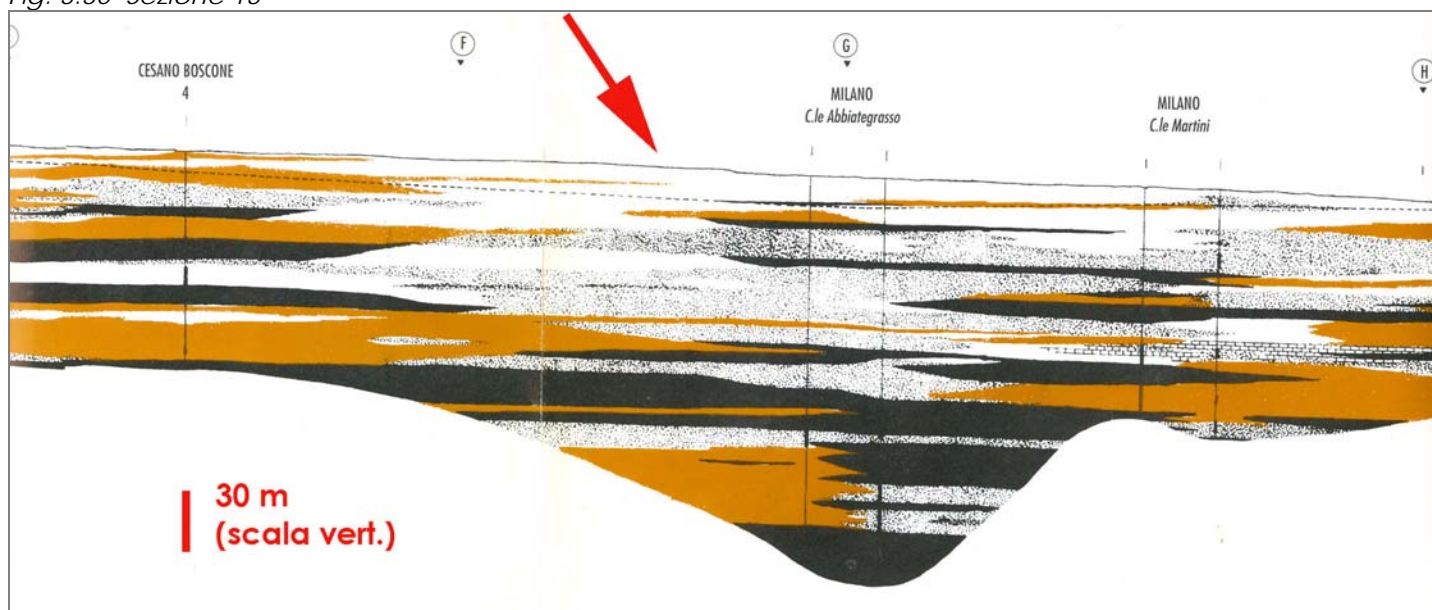


Fig. 3.29 Sezione 12

Fig. 3.30 Sezione 13





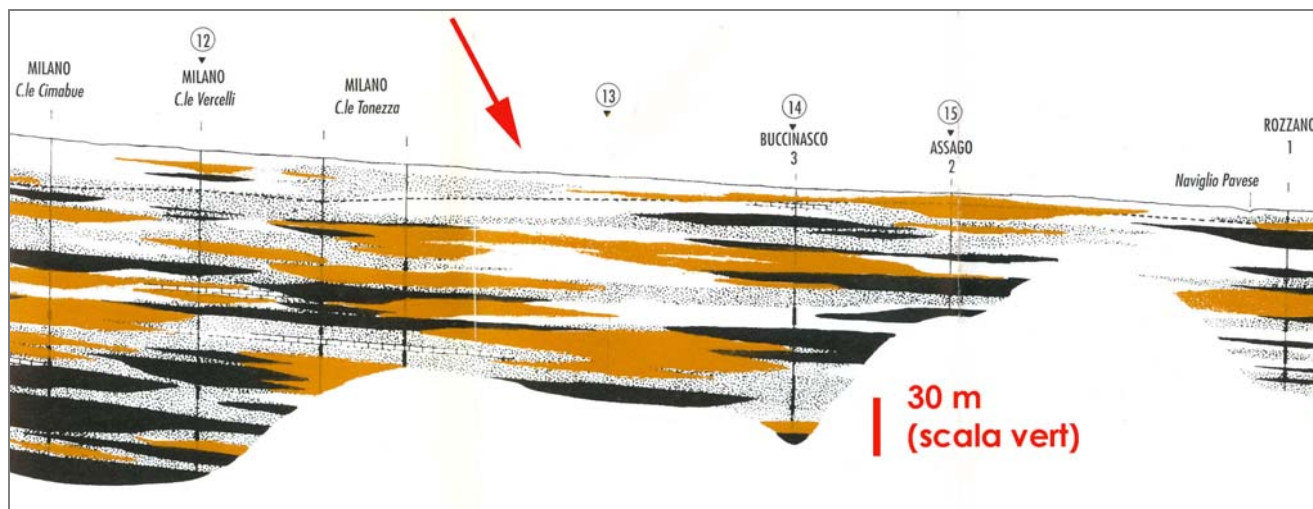
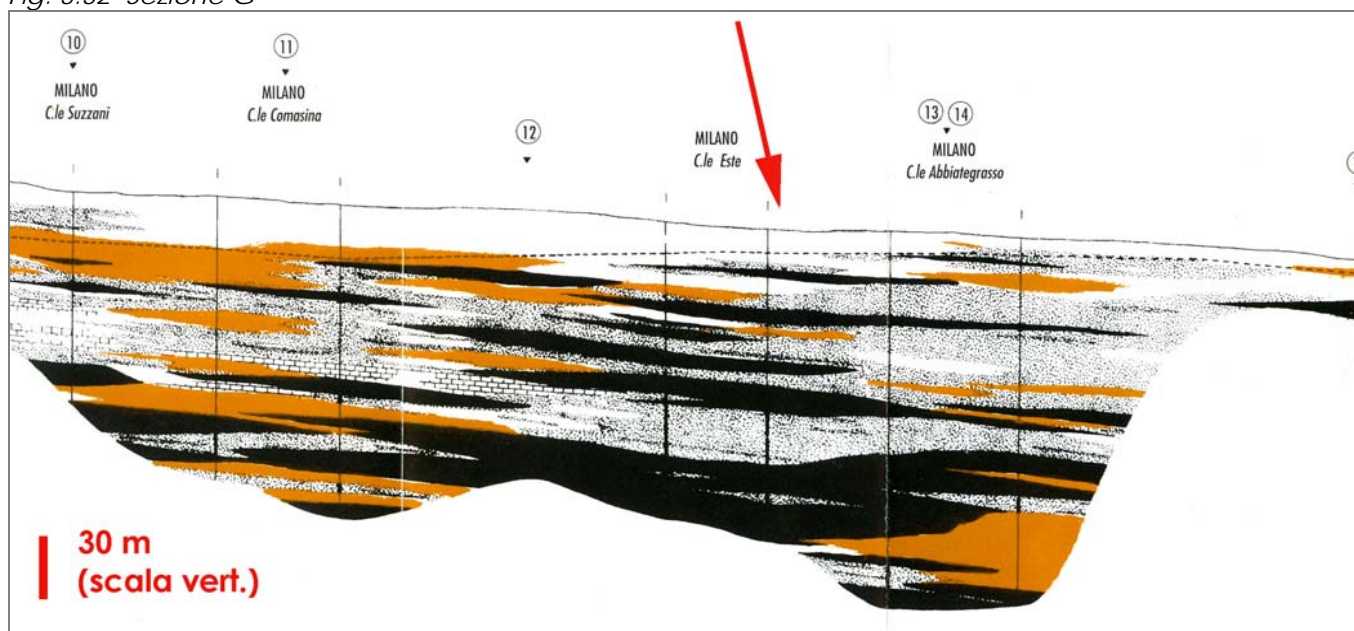


Fig. 3.31 Sezione F

Fig. 3.32 Sezione G



La situazione illustrata dalle 4 sezioni considerate risulta abbastanza varia e non facilmente interpretabile con questi dati, alla scala locale.

Lo spessore dell'acquifero superficiale ghiaioso è inferiore a 30 m e, in un caso è segnalato come interessato da potenti strati di limi sabbiosi. Anche la successione sottostante, appartenente al secondo acquifero, è fortemente segnata da lenti e strati limosi e argillosi, anche se nel caso della sezione 13 si evidenzia una certa maggiore continuità di materiali sabbiosi o più grossolani. La sequenza termina attorno a profondità di 90-115 metri su banchi limo argillosi o argillosi che dovrebbero rappresentare l'inizio del sistema acquifero C delle falde profonde, captate solo in casi particolari.

Nella figura seguente sono indicati i pozzi, pubblici (blu) e privati (viola), presenti nell'area; gli stessi che vengono utilizzati per la interpretazione idrogeologica e per quella geotecnica. Si deve tenere conto, comunque, che spesso questi dati sono molto imprecisi e rilevati con criteri difformi.

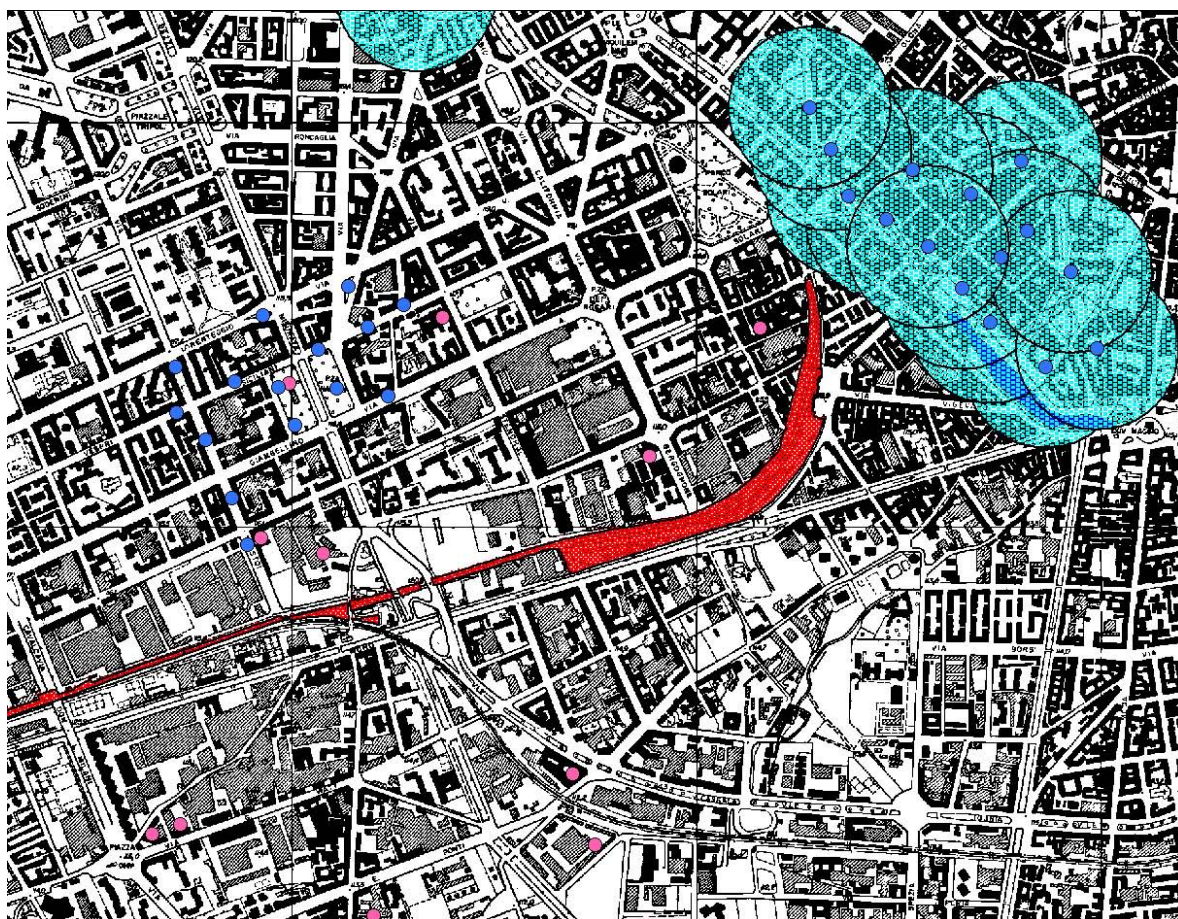


Fig. 3.33 Pozzi pubblici attivi e relative aree di rispetto

La situazione stratigrafica locale può essere ulteriormente analizzata utilizzando alcune delle stratigrafie di pozzo disponibili per l'area considerata. In questo caso si utilizzano 3 pozzi privati localizzati a sud e subito ad ovest dello scalo.

codice	indirizzo	profondità m	stato
0151460642	Via Bergognone 46	73,2	attivo
0151460643	Viale Cassala 16	30	attivo
0151462655	Via Savona 19/A	63	cementato



Sono pozzi di medio bassa profondità, pescanti nella litozona ghiaiosa, nel secondo acquifero scarsamente protetto o non protetto.

Nella figura sottostante sono indicati i pozzi con la loro sigla, distinti, in questo caso, per stato di attività (attivi: blu; in disuso: fucsia; cementati: viola).

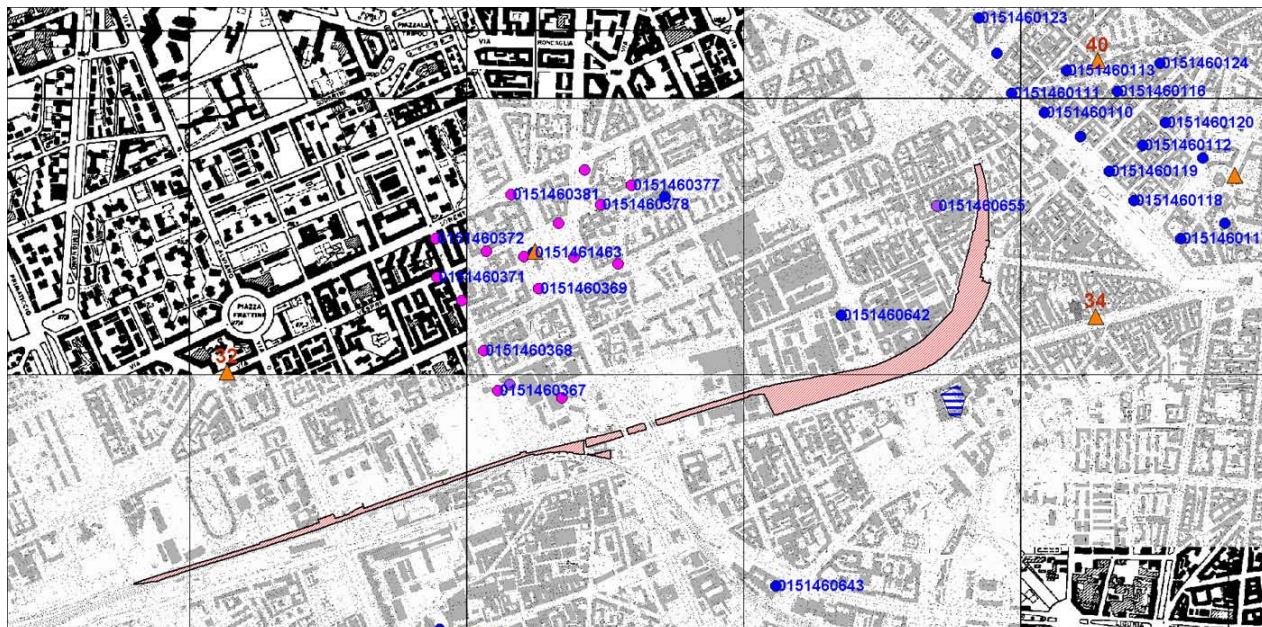


Fig. 3.34 Pozzi pubblici e privati con relativi codici identificativi

Sono anche indicate le ubicazioni dei piezometri della rete di monitoraggio comunale/provinciale, riportati con il numero 27, 34, 40 (a nord) e 69 (ad ovest).

Una breve analisi dei dati stratigrafici dei pozzi consente di aggiungere informazioni sulla successione geologica del sottosuolo nell'area considerata, fatte salve le consuete imprecisioni delle stratigrafie di pozzo e, in genere, la loro scarsa affidabilità.

La stratigrafia del pozzo 642 sembra indicare una certa omogeneità di materiali ghiaioso-sabbiosi fino a circa 41 m con livelli di argilla 23 e 35 m. Oltre inizia la successione più variabile con un potente livello argilloso tra 49 e 54 m e materiali in genere sabbiosi. La base compatta argillosa è segnalata a 71,4 metri, ma probabilmente non può essere considerata la base del sistema acquifero B. I filtri sono distribuiti tra 30,5 e 71,5 m.

Il secondo pozzo considerato, il 643 mostra una situazione più anomala, con presunte argille nei primi metri del sottosuolo, fino a circa 10 m (?). Al di sotto appaiono ghiaie prevalenti fino a circa 30 m, con filtri tra 19 e 29 m. (dati 1963).



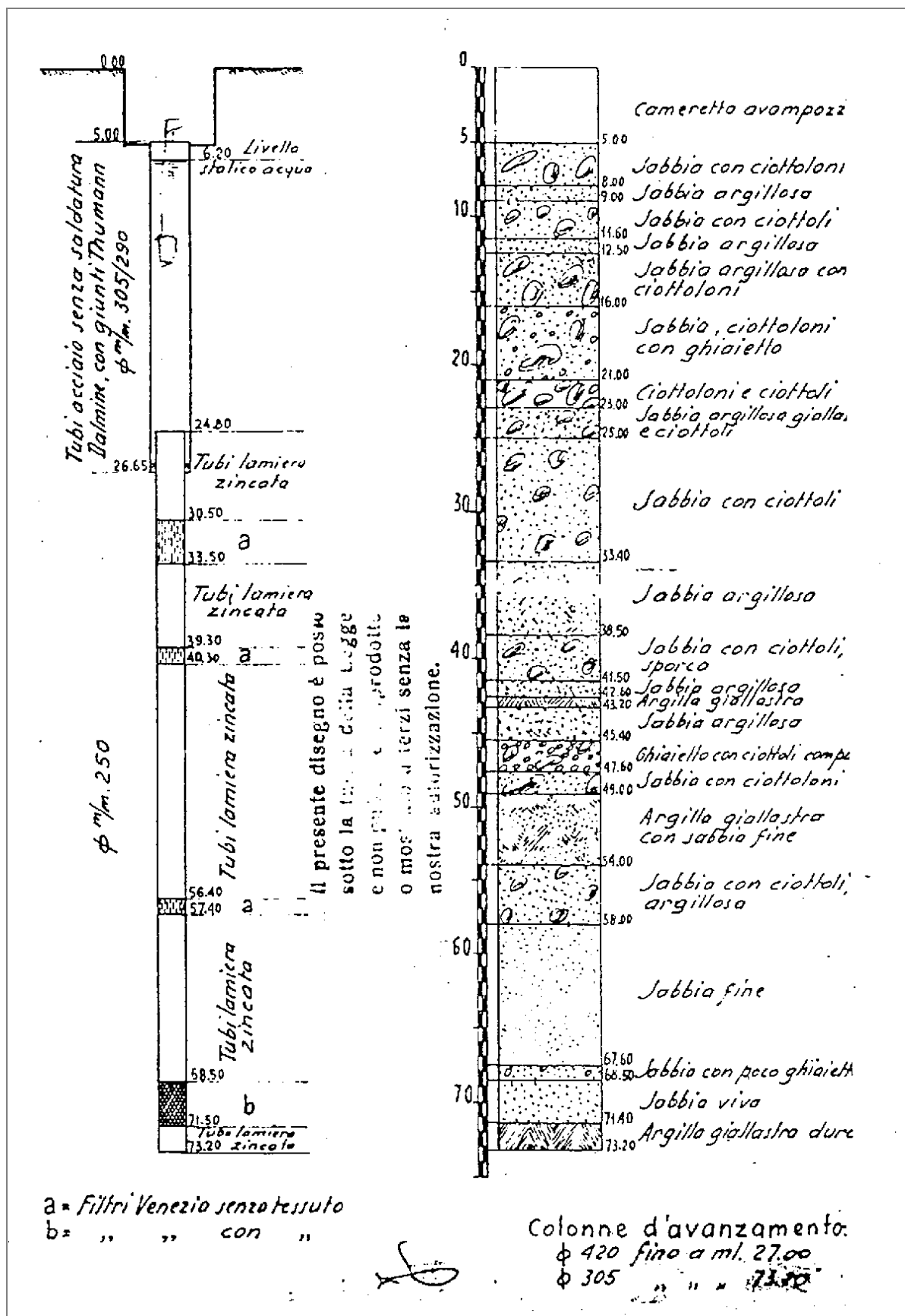
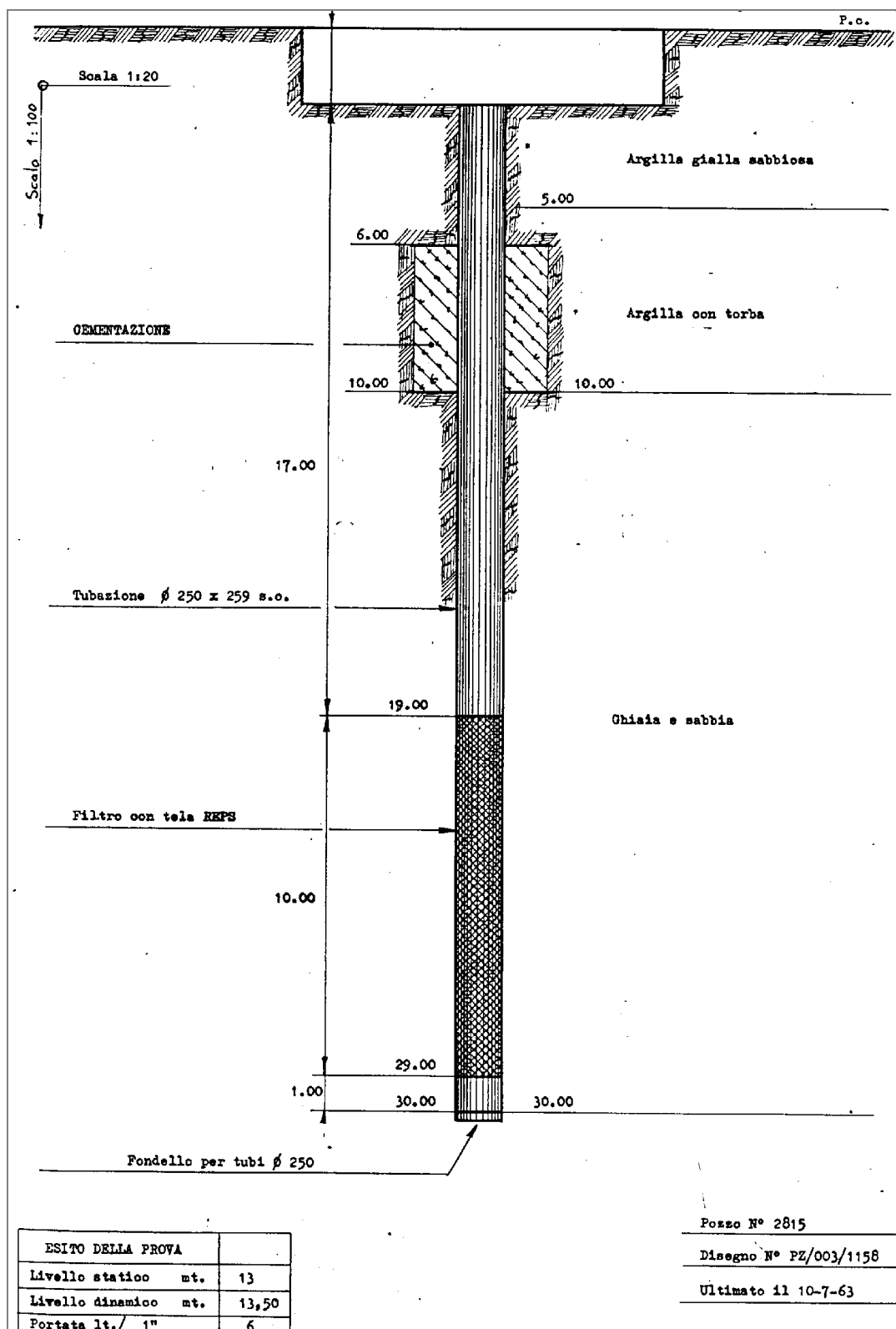


Fig. 3.35 Pozzo via Bergognone n. 0151640642



Nel terzo caso (pozzo 655), la descrizione della successione sedimentaria è ancora più generica del solito. Ghiaie e sabbie sono rappresentate fino a 43 m dal p.c., seguite

da un consistente livello argilloso di circa 3 m di spessore. Seguono materiali più grossolani fino a circa 63 m.

I filtri sono posizionati da 37 a 57 m.

I valori di livello della falda, registrati al momento della perforazione, risultano poco plausibili, perché superiori a 25 m.

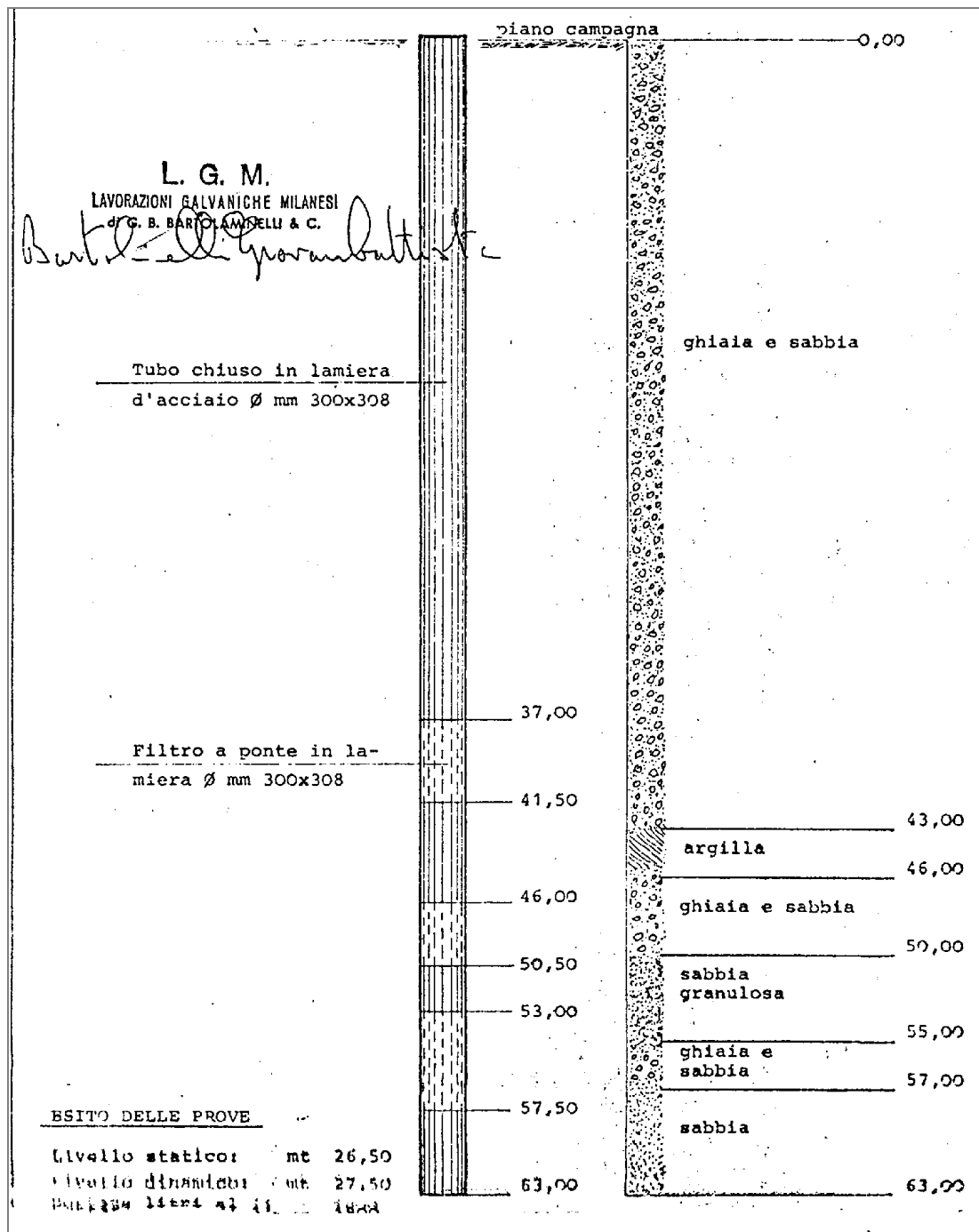


Fig. 3.37 Pozzo 0151640655 di via Savona

In sintesi, i dati dei pozzi considerati, pur nella loro contraddittorietà, confermano la situazione di forte variabilità descritta dalle sezioni generali. E' possibile a breve



distanza rinvenire sequenze fortemente limose e/o argillose a situazioni caratterizzate da materiali permeabili anche a medie profondità.

### Dati relativi alla falda

La figura seguente rappresenta la superficie piezometrica nell'area dello scalo ferroviario secondo la elaborazione fornita dal Politecnico di Milano per la componente geologica del Comune di Milano. I dati si riferiscono al mese di marzo dell'anno 2007.

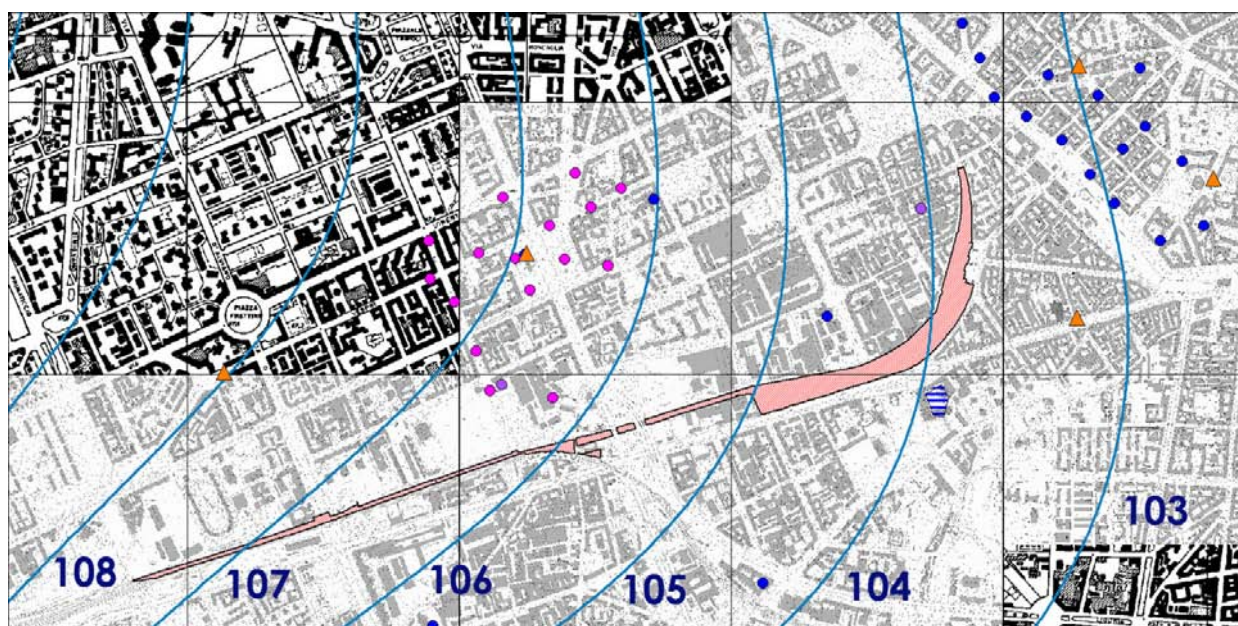


Fig. 3.38 Isopiezometriche 2007 (Politecnico di Milano)

Estremamente interessante può essere, per la comprensione delle dinamiche della falda nel medio periodo, l'analisi degli stralci delle carte isopiezometriche riferite a soglie storiche precedenti, nello specifico al 1960 e al 1975.

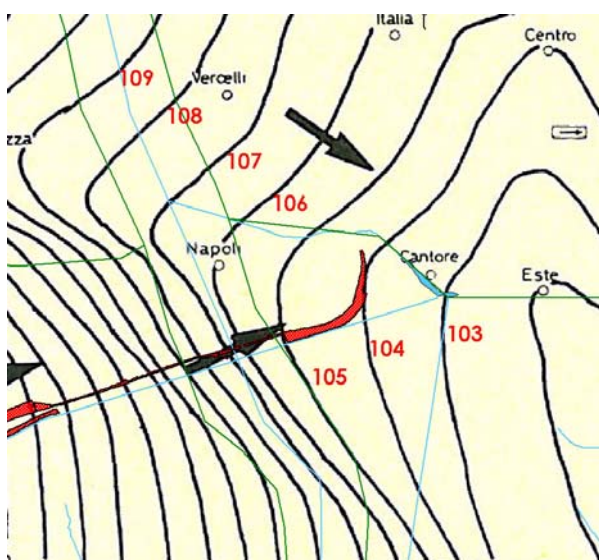


Fig. 3.39 Isopiezometriche 1960

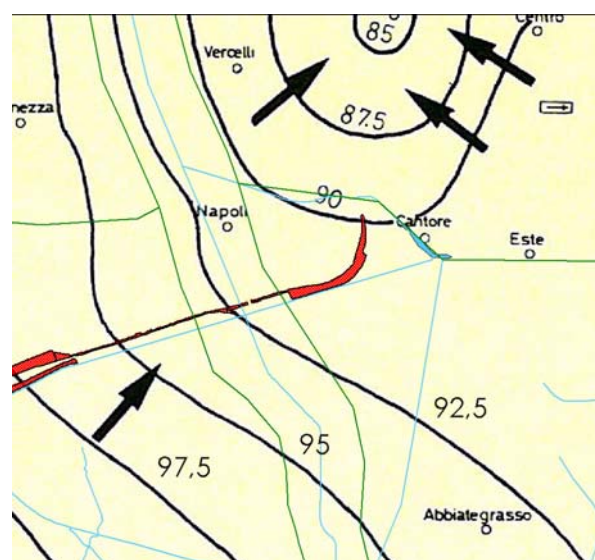


Fig. 3.40 Isopiezometriche 1975



Nel 1960, dopo la prima parte della fase di abbassamento dovuta ai forti emungimenti degli anni 20-40 e soprattutto '50, la profondità della falda risultava identica alla attuale. La situazione del '75 evidenzia il risultato della fase di più forte prelievo nel Milanese, con un abbassamento di 14-15 metri in 15 anni e una inflessione delle isolinee a dare origine ad un drenaggio contrario al gradiente regionale, rivolto cioè a nord-est verso il centro di Milano.

La successiva risalita, soprattutto dagli anni '90, ha riportato la situazione allo stato precedente, non certo a quella iniziale, del resto difficilmente precisabile.

Nella figura sottostante sono direttamente indicati i valori (in nero) di soggiacenza ricavati dalla differenza tra punti quotati significativi e le isolinee di quota freatica del rilievo 2007.

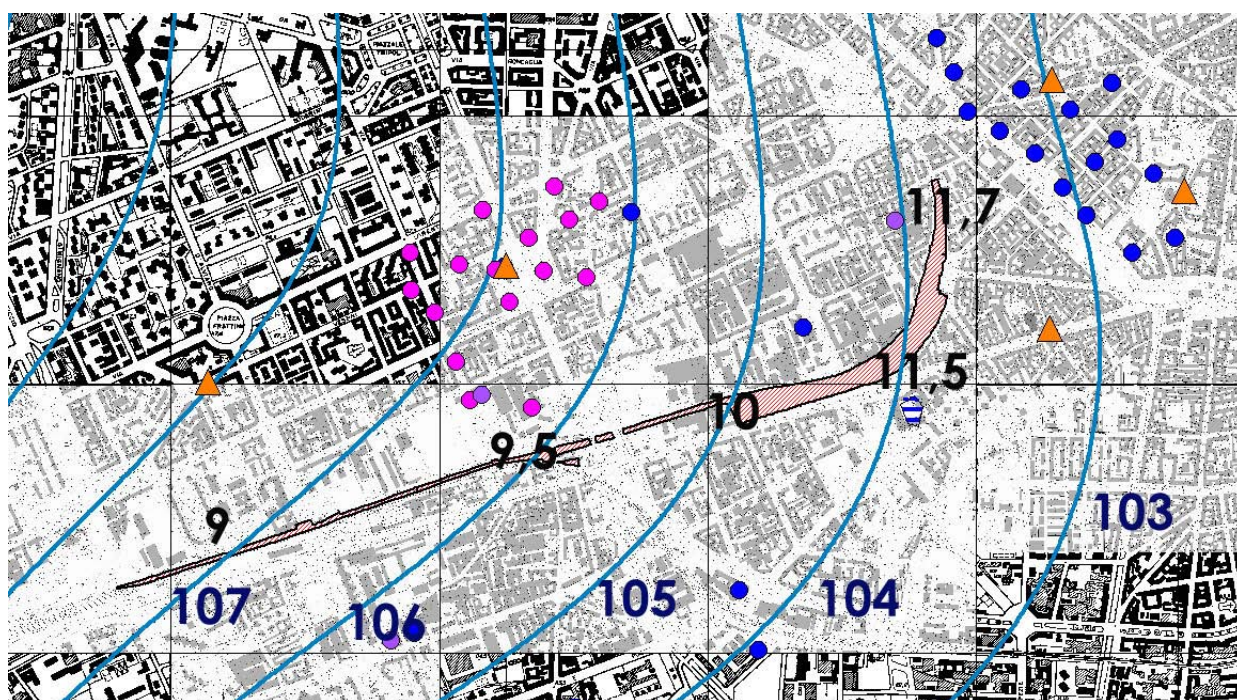
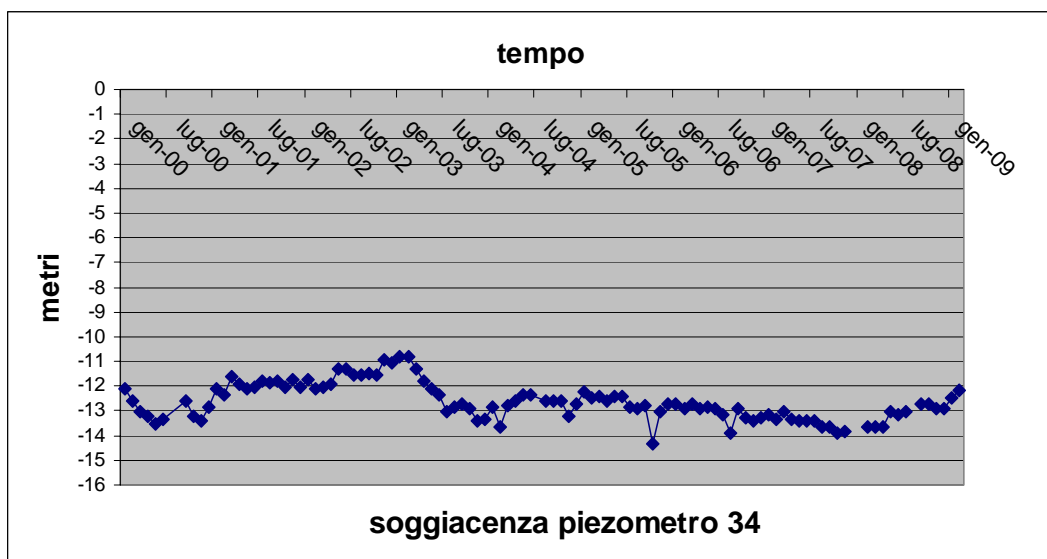


Fig. 3.41 Valori di soggiacenza 2007 e corretti al 2009

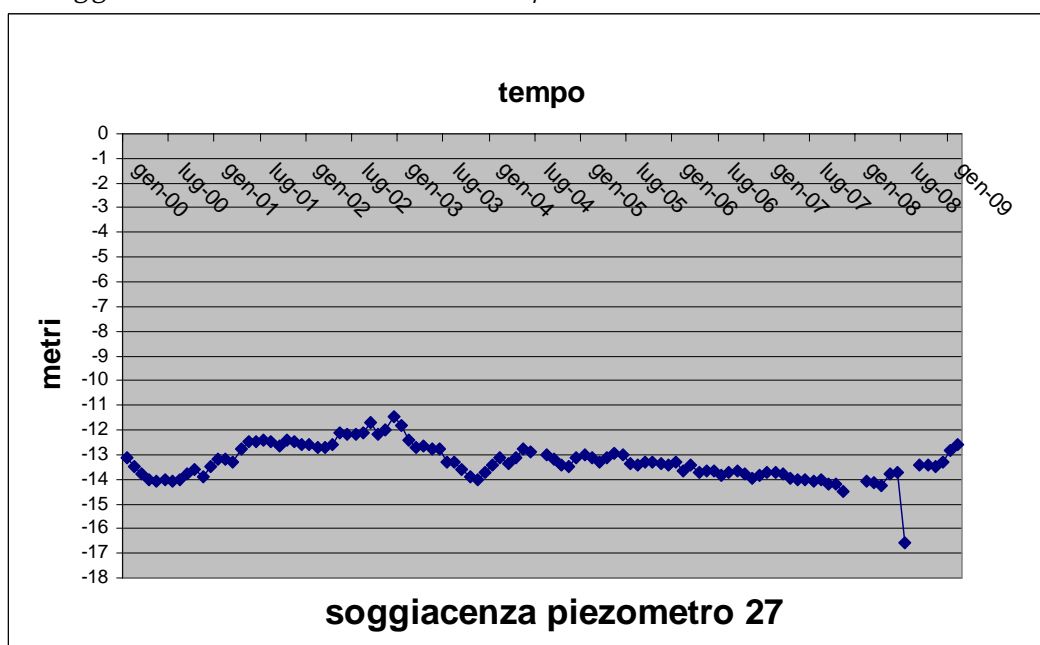
I valori crescono da ovest verso est, entro comunque un range limitato e conservandosi attorno ai 9 -12 metri di profondità dal p.c.

Nella carta è evidente anche una area a sud dello scalo con soggiacenza inferiore a 5 m, evidentemente per la presenza di una area ribassata rispetto alla quota media del p.c.

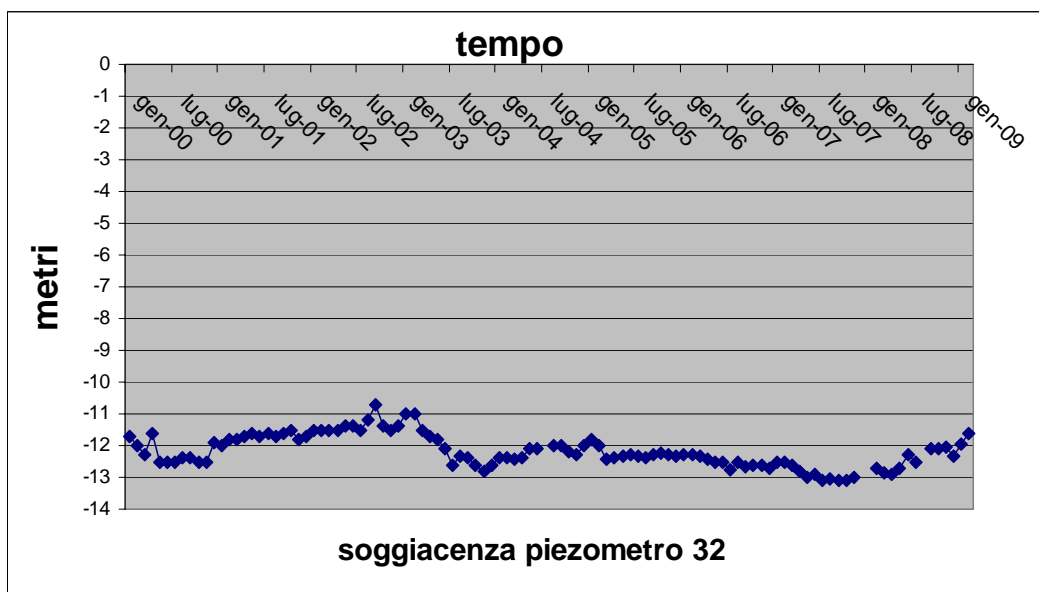
Per l'esame della situazione recente della soggiacenza in dettaglio e delle oscillazioni interannuali si possono consultare però anche i dati rilevati mensilmente dalla rete SIF provinciale. Sono riportati i grafici dei piezometri 27 e 34, ad est dello scalo e 32 e 69, a nord-ovest di esso.



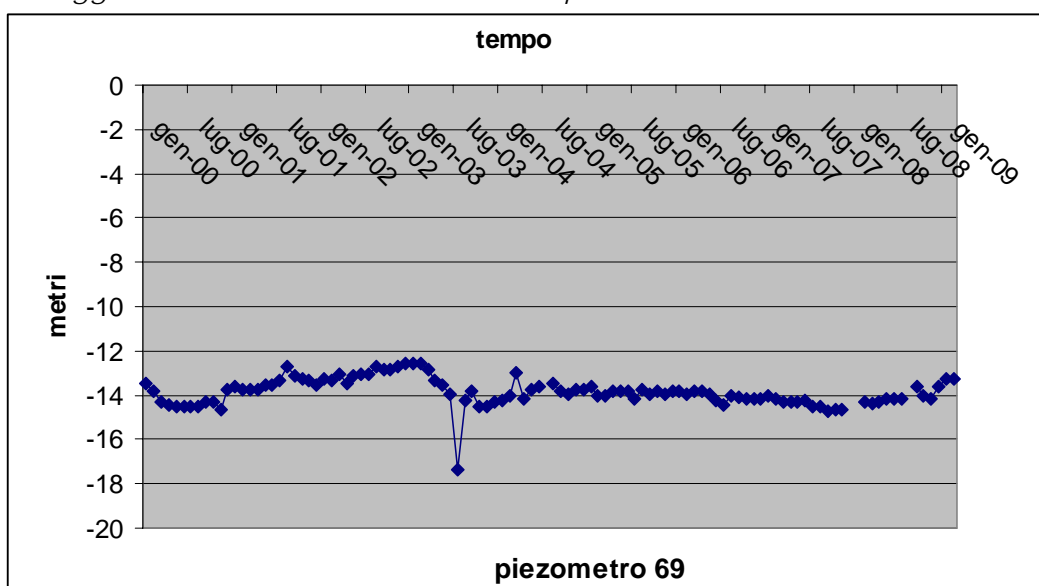
*Figg. 3.42-43 Oscillazioni freatiche ai piezometri 34 e 27*







Figg. 3.44-45 Oscillazioni isofreatiche ai piezometri 32 e 69



I valori di soggiacenza ricavati dai grafici indicano che la falda dal marzo 2007 a febbraio 2009 (ultima misura) è cresciuta di 1,1 m in media, soprattutto per la forte piovosità del 2008. Per questo i valori di soggiacenza calcolati sono stati aumentati di 1,1 m e riproposti (in viola) nella figura successiva affiancati a quelli 2007.

Si deve notare, tuttavia, che in questi grafici sono in genere registrati dati di soggiacenza significativamente superiori a quella calcolati come sopra illustrato.

Ne risultano dunque due diversi valori, entrambi attribuibili al periodo di inizio primavera 2009, uno calcolato incrementando i valori proposti dal rilievo Politecnico 2007 di valore pari alla risalita della falda nel 2008, e il secondo realmente misurato ai piezometri della rete di monitoraggio.

Naturalmente un motivo può essere legato al fatto che i piezometri non sono posizionati nelle immediate vicinanze dell'area studiata e che le loro quote di riferimento al piano campagna potrebbero essere diverse da quelle della CT di Milano.

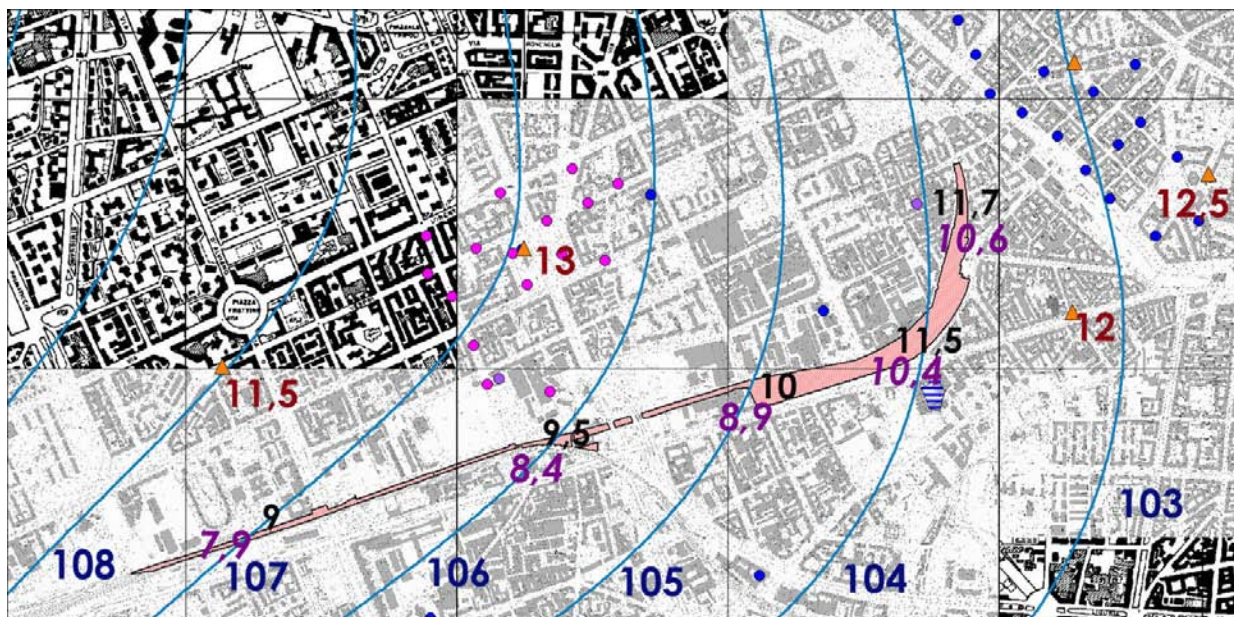


Fig. 3.46 Valori di soggianza al 2007 (in nero) e corretta al 2009 (in viola). Valori ai piezometri (rosso scuro)

## Elementi di vulnerabilità della falda

Il tema della vulnerabilità della falda idrica, freatica in particolare, ad agenti inquinanti provenienti dalla superficie è tuttora non sufficientemente approfondito e spesso non correttamente affrontato in molti casi studio, soprattutto quando relativi ad aree trasformate e/o urbanizzate.

Molti modelli empirici di tipo semplice, a parametri, risultano effettivamente inadeguati a riconoscere situazioni complesse, ma, d'altro canto, anche i modelli più complessi non chiariscono a priori le caratteristiche particolari dell'ambiente costruito che non ha nulla a che vedere con le aree agricole o naturali. In questi casi infatti, come per la città di Milano, non ha senso valutare la "capacità protettiva del suolo, poiché il suolo naturale non è più in posto, come non ha senso valutare altre variabili naturali senza conoscere spessori, caratteri e stato di salute dei potenti depositi storici che costituiscono per più metri il substrato delle attuali superfici. Andrebbe dunque modellizzato, con una accuratezza poco proponibile, spessore e comportamento di questo strato antropico, la natura e frequenza delle vie di "comunicazione" che lo attraversano verticalmente, e le collocazioni (profondità...), permeabilità e funzione delle vie di "comunicazione" che lo attraversano orizzontalmente (reti).

Se si considera infatti che la falda può trovarsi a Milano a 5-20 m di profondità, e che in media 3-5 di questi metri sono occupati da fondazioni e da materiali sconosciuti o poco conosciuti per natura, compattezza, permeabilità, inquinamento, nonché da canali e condotte di tutti i tipi, appare scarsa l'importanza degli altri 0-15 m di materiali ghiaiosi naturali insaturi sottostanti, fino alla falda naturale.

L'insaturo naturale non rappresenta alcuna barriera significativa alla idroveicolazione di eventuali inquinanti nelle aree cittadine prive di suolo naturale. Il tempo di infiltrazione di tali materiali è stato recentemente calcolato per la vulnerabilità intrinseca del Comune di Cologno Monzese e ha fornito valori anche inferiori a 1-2 giorni in tutte le aree prive di materiali almeno limoso-sabbiosi sovrapposti alla falda.



Anche nel caso citato, come in quello in oggetto, è presumibile che la maggior parte dei materiali antropici superficiali abbia un comportamento fisico meno favorevole alla veloce infiltrazione degli inquinanti, se non altro per la maggiore compattezza. Tuttavia esso è attraversato da molte vie preferenziali di infiltrazione ed sovrapposto, almeno in parte, alla rete fognaria che convoglia la gran parte dei reflui raccolti, ma ne perde anche quantità indefinite. Pertanto è opportuno, in mancanza di seri ed onerosi studi diretti, non inserire nella valutazione di vulnerabilità tutto ciò che riguarda lo strato antropico e, ammesso che sia utile, limitarsi alla valutazione della vulnerabilità intrinseca della falda e dei materiali naturali.

Riguardo al tema dei depositi antropici superficiali, oltre all'esame delle stratigrafie si veda anche l'analisi condotta dai rilevatori CARG riguardo allo spessore dei materiali storici nel centro di Milano. La carta, riportata nel Capitolo "Inquadramento Geologico" della presente relazione, è prodotta a corredo del Foglio geologico 1:50.000 Milano ed è qui riportata in stralcio in quanto interessa parzialmente l'area dello scalo di P.ta Romana.

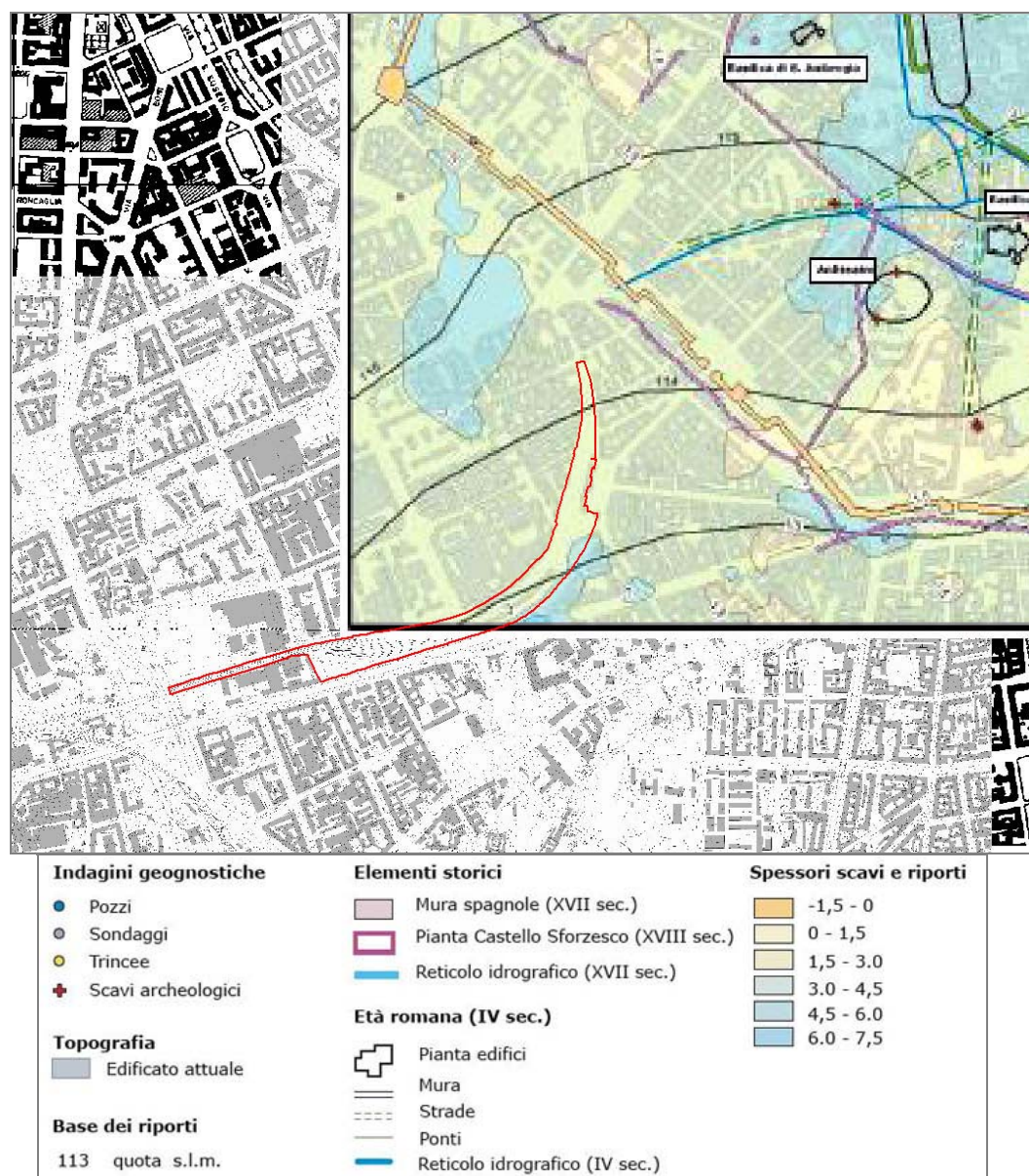


Fig. 3.47 Aree con scavi e riporti nel centro di Milano secondo CARG



Come si può vedere, la parte orientale dell'area dello scalo è interessata da forti spessori di materiali storici sedimentati del cui comportamento idrologico abbiamo scarsa cognizione.

Nel caso specifico, esclusi gli spessori antropici, comprensivi di suoli rimaneggiati, segnalati nei pozzi presi in considerazione come variabili tra 2 e 7 m, rimangono solo 4-9 metri di materiali ghiaioso sabbiosi. Questi materiali, salvo il caso di locali livelli fini, possono presentare conducibilità variabili tra  $1 \cdot 10^{-5}$  e  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s, in termini prevalenti di infiltrazione reale verticale, con tempi di percorrenza dello spessore insaturo variabile tra 1 e 2 giorni circa.

Occorre poi integrare questo dato con elementi di caratterizzazione della falda e, in particolare, dei suoi parametri idrodinamici, come permeabilità o trasmissività. A questo scopo può essere utilizzata, per una valutazione speditiva, la carta della portata specifica dei pozzi nell'area Adda – Ticino (Cavallin, Francani, Mazzarella 1983) che fornisce una buona idea della produttività e portata complessiva della falda superficiale ("acquifero tradizionale" o "litozona ghiaioso sabbiosa" primo acquifero, corrispondente al primo e secondo acquifero o ai sistemi acquiferi A e B, secondo la interpretazione più recente, esposta in "Idrogeologia generale").

L'area milanese si colloca nella classe di portata specifica tra 10 e 30 l/s con punte più elevate nella zona est. Nei pozzi attorno all'area in oggetto le portate specifiche non superano i 20 l/s per metro e a volte, in situazioni di ridotti spessori captati, possono abbassarsi anche ben al di sotto di 10 l/s.

Con questo tipo di dati comunque, soprattutto per la soggiacenza limitata, ed anche nel caso di materiali non particolarmente permeabili, la vulnerabilità intrinseca, intesa come in filtrabilità dell'insaturo e potenziale elevato di trasferimento e dispersione in falda, non può che essere giudicata molto elevata.