

### 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.

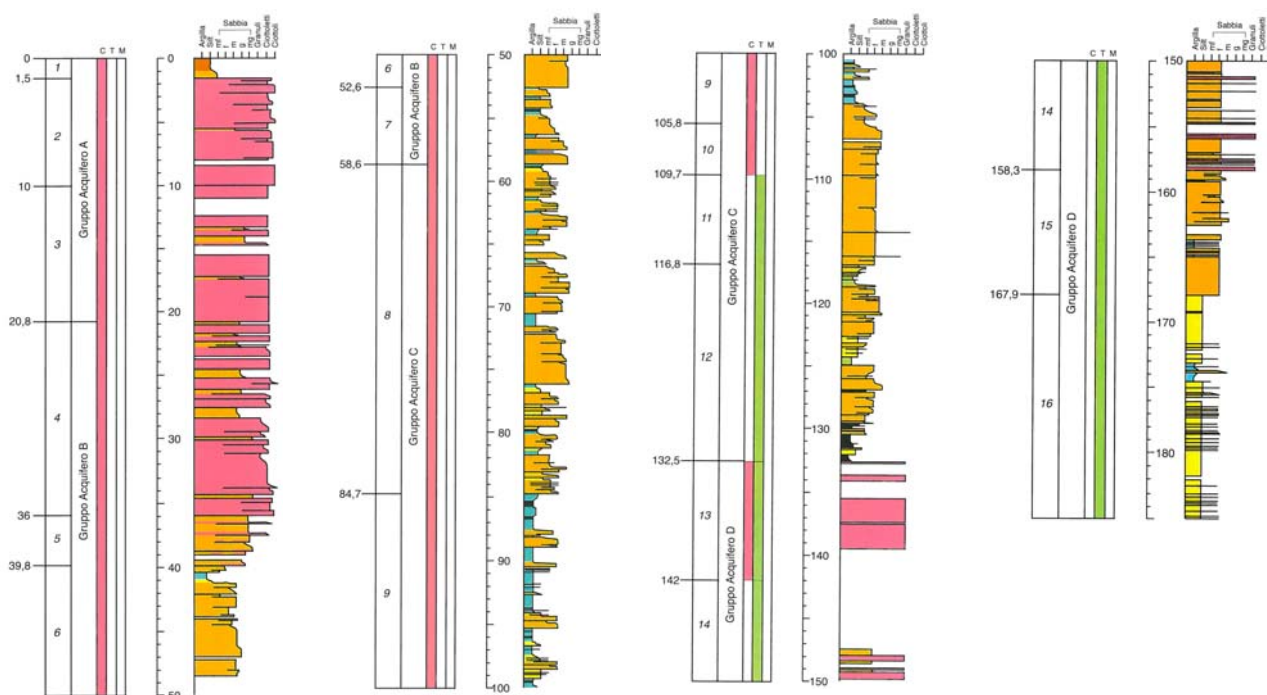


Fig. 3.1 Sondaggio Agrate – 185 m

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.



Fig. 3.2 Legenda sondaggio

#### 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.

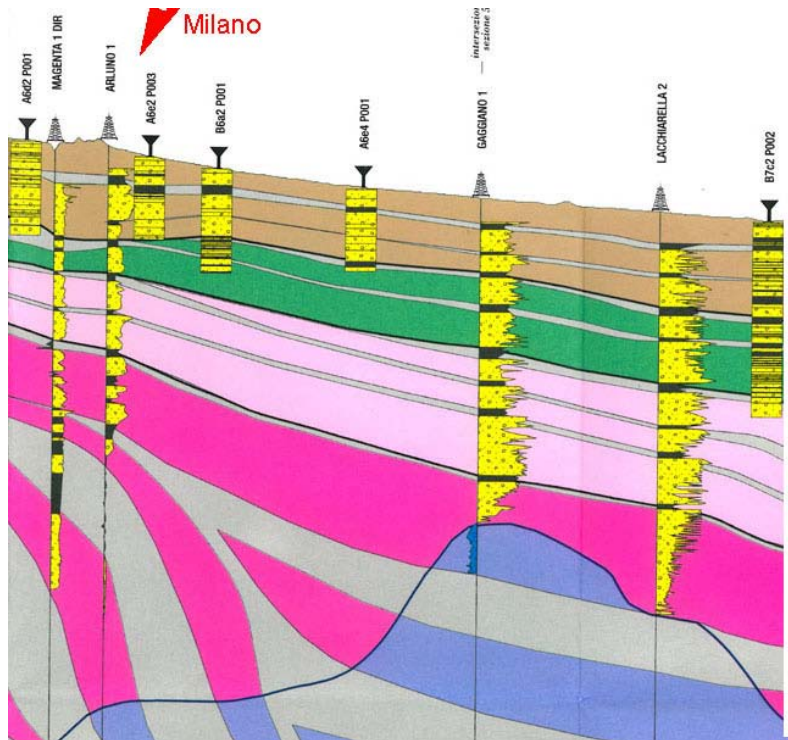
La sedimentazione ghiaiosa del gruppo B segna ovunque il passaggio agli ambienti deposizionali continentali (ambienti fluviali) e a materiali grossolani provenienti da nord, piuttosto che da ovest. La dimensione grossolana (sabbie e ghiaie) dei materiali mantiene alta la porosità del mezzo e la sua permeabilità.

#### Gruppo A

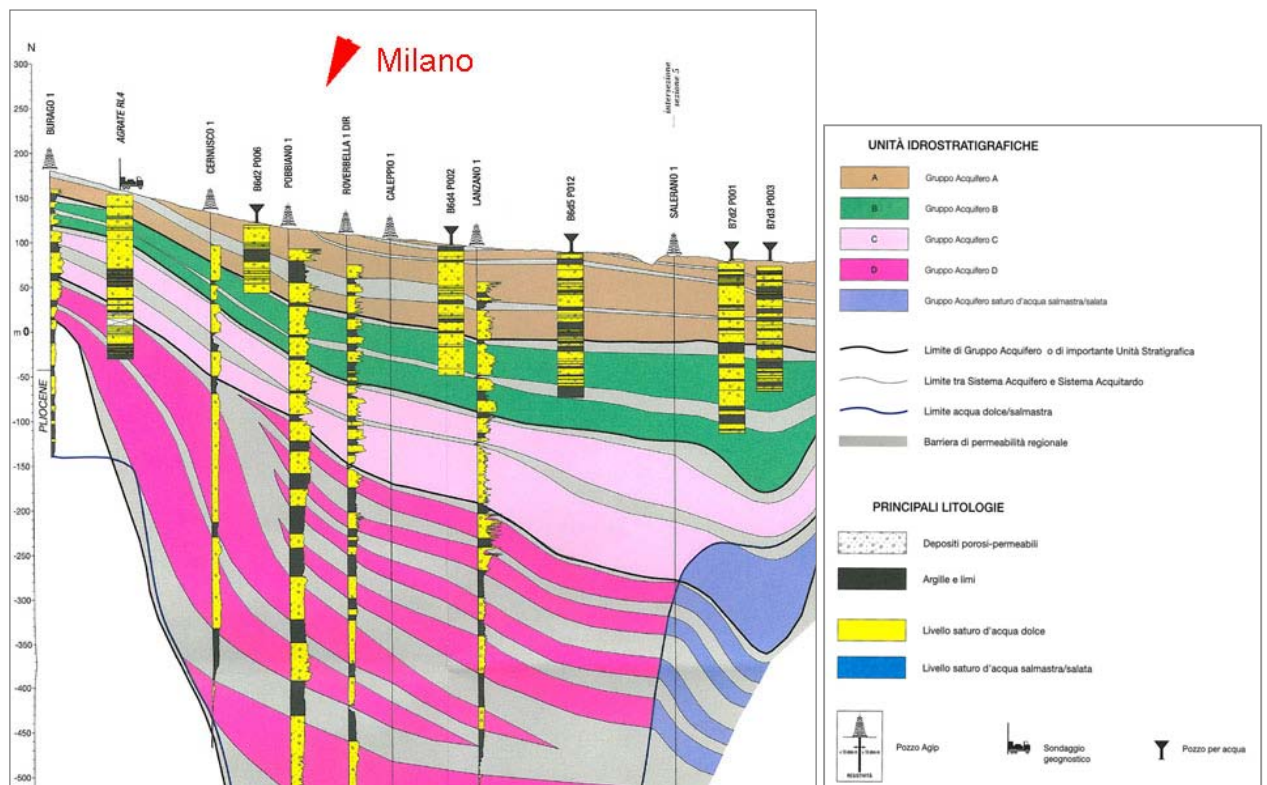
Lo spessore del gruppo è pari a 20-40 m (21 m ad Agrate) ed è molto simile al Gruppo B quanto a tipo di sedimenti e ambiente genetico. Si tratta di ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa con pochi intervalli sabbiosi. L'ambiente è di deposizione continentale fluviale ad alta energia, con apporti di provenienza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

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.

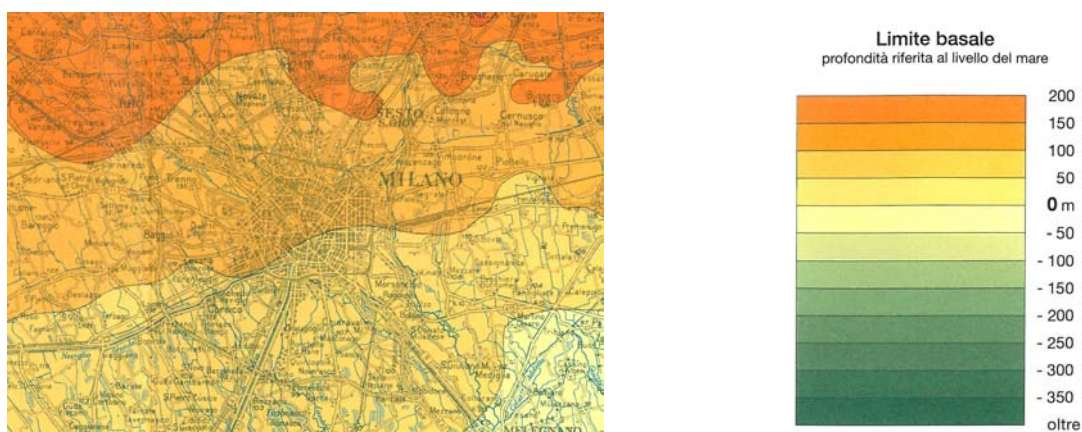
Si riferiscono ai Gruppi Acquiferi A e B e trattano delle isobate degli acquiferi, delle isopache degli stessi, dello spessore cumulo dei depositi permeabili e delle aree di ricarica diretta potenziale degli acquiferi.

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.

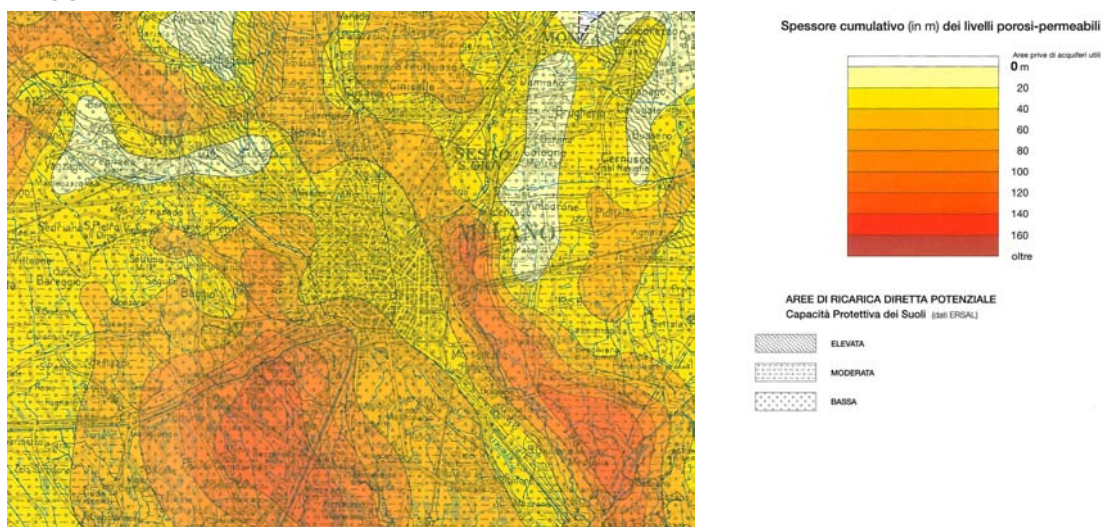
La figura successiva rappresenta invece (in colore) lo spessore cumulo della parte permeabile dei sedimenti dell'Acquifero A e, con retini, le aree a differente ricarica potenziale degli acquiferi corrispondente all'area di affioramento di ciascuno di essi. Qui affiora solo l'Acquifero A e la sua ricarica 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.

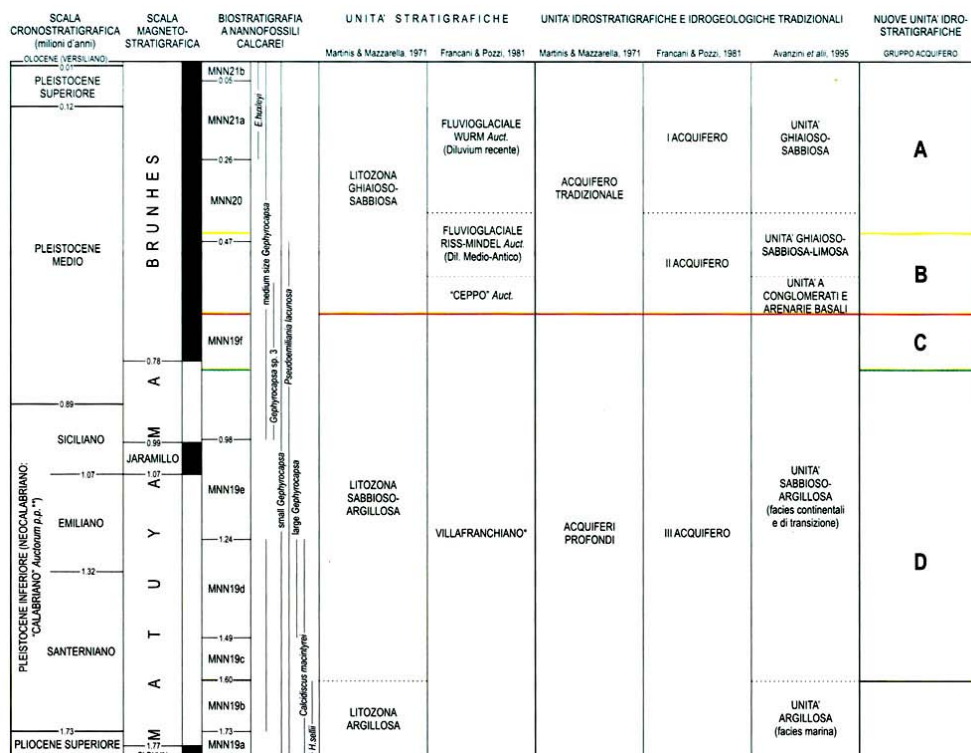
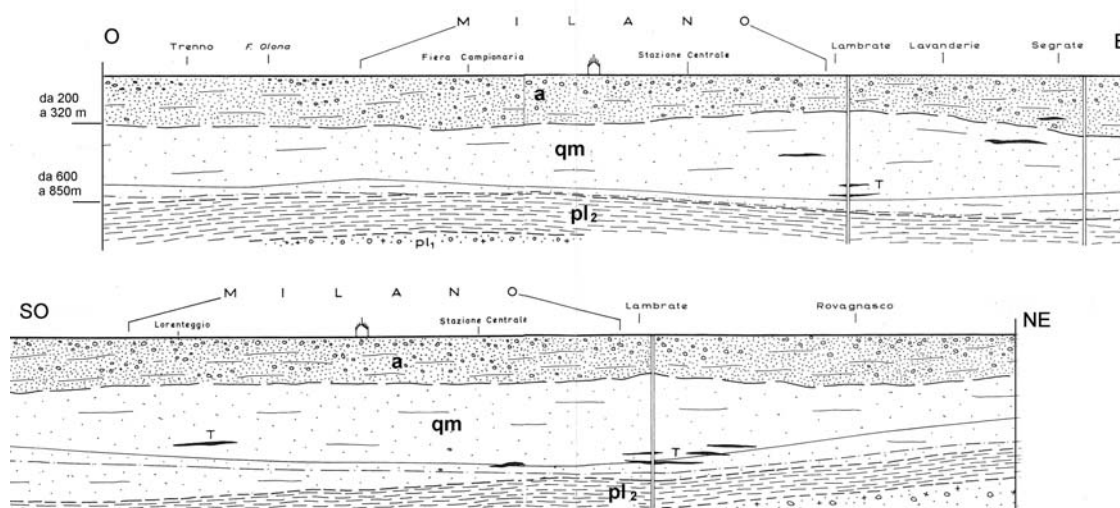


Fig. 3.7  
Schema  
stratigrafico  
degli acquiferi  
milanesi

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 (Airoidi, Casati 1989) come nella carta riprodotta in figura 3.9 (monostrato, bistrato, multistrato da nord a sud).

Nella figura 3.10 sono invece rappresentati i caratteri della permeabilità superficiale milanese, sempre secondo Francani, Beretta, abbastanza in accordo con le considerazioni precedenti.



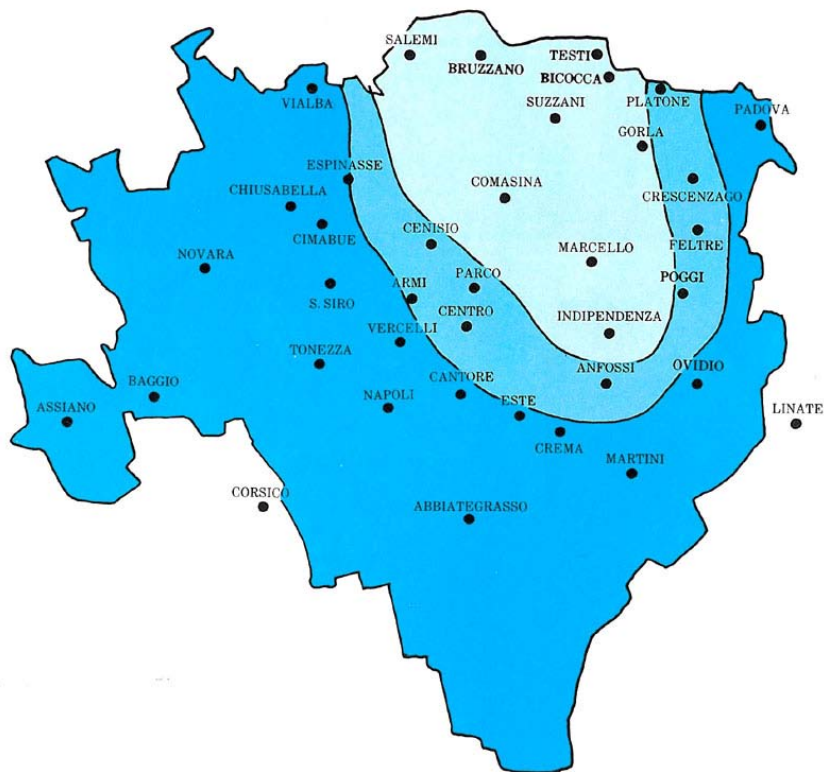


Fig. 3.9  
Stratificazione delle falde  
idriche (in Airoldi, Casati  
1989)

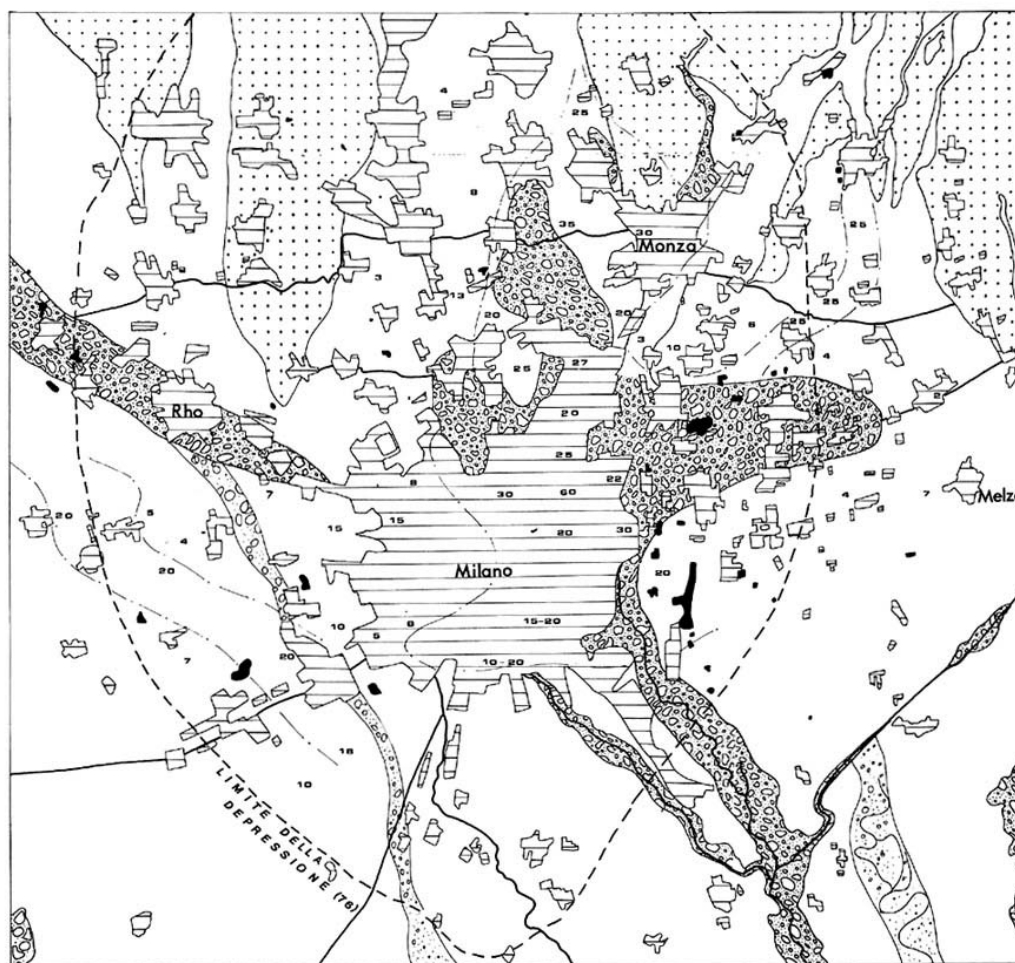


Fig. 3.10 Permeabilità dei terreni superficiali (V. Francani - IRSA CNR 1980)

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).

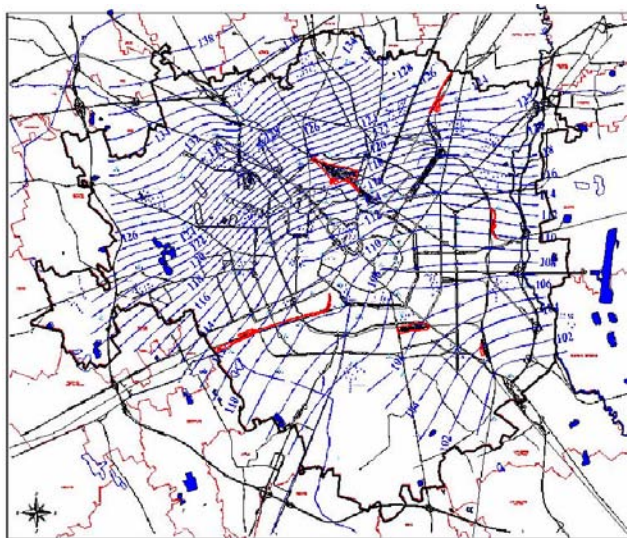


Fig. 3.11 isofreatiche 1954

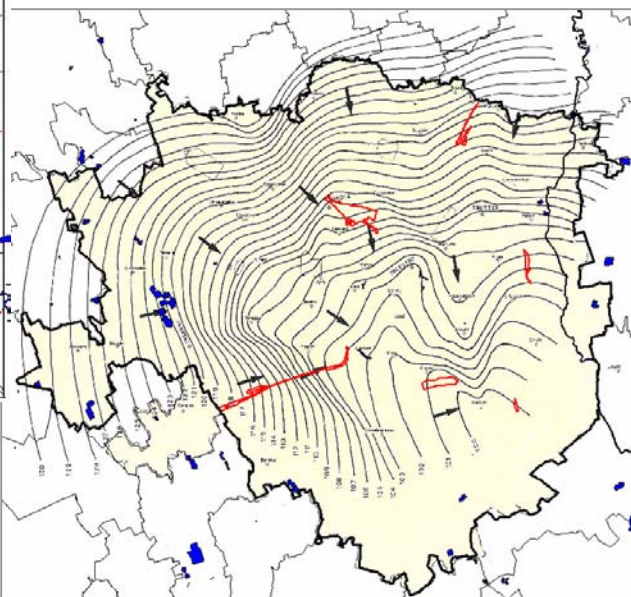


Fig. 3.12 isofreatiche 1960



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.

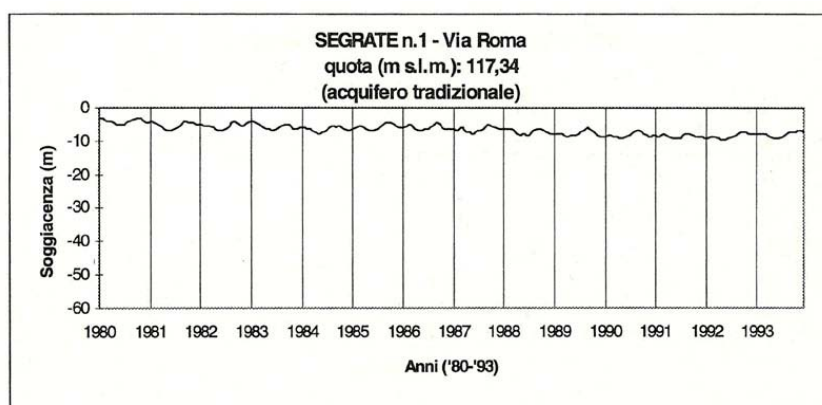


Fig. 3.13 Grafico oscillazioni freatiche a Segrate

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

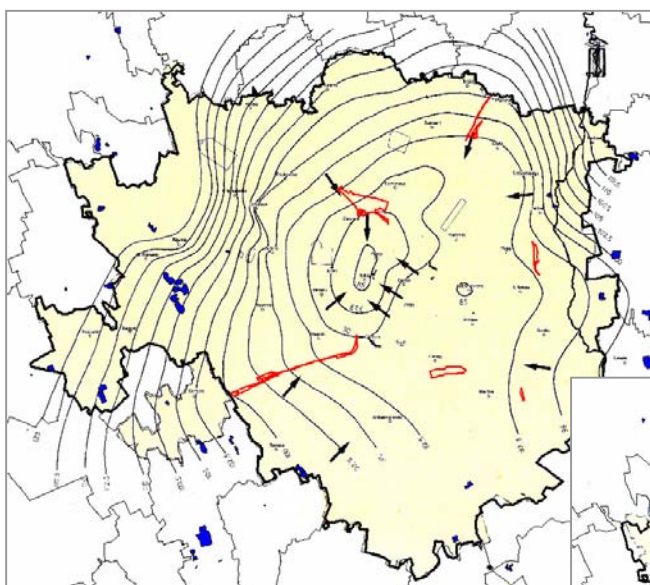


Fig. 3.14 isofreatiche 1975

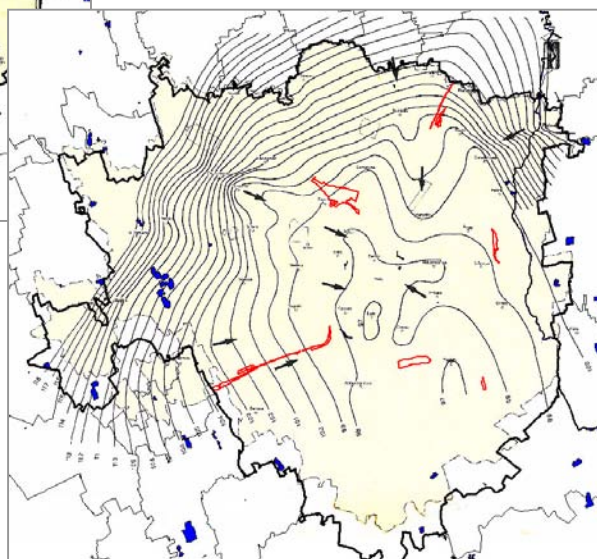


Fig. 3.15 isofreatiche 1989

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.

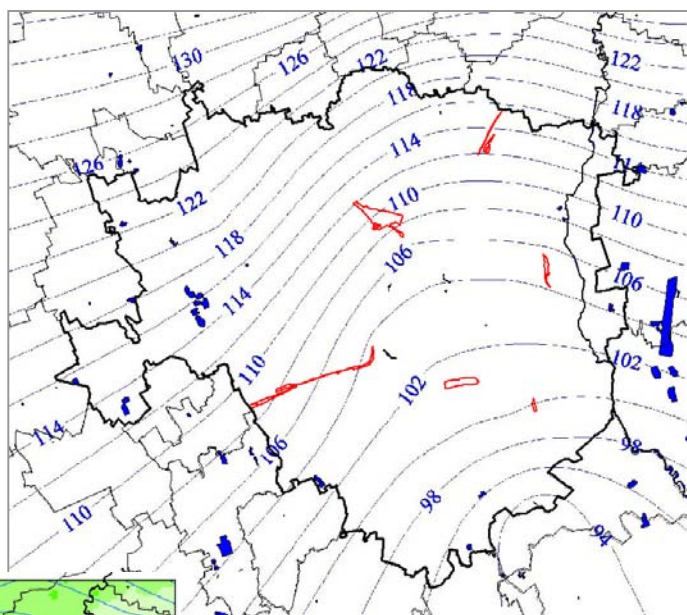
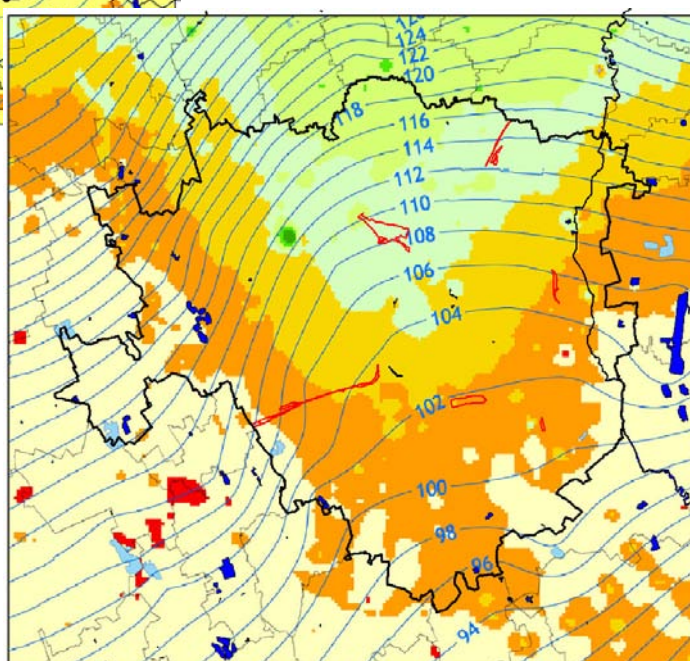
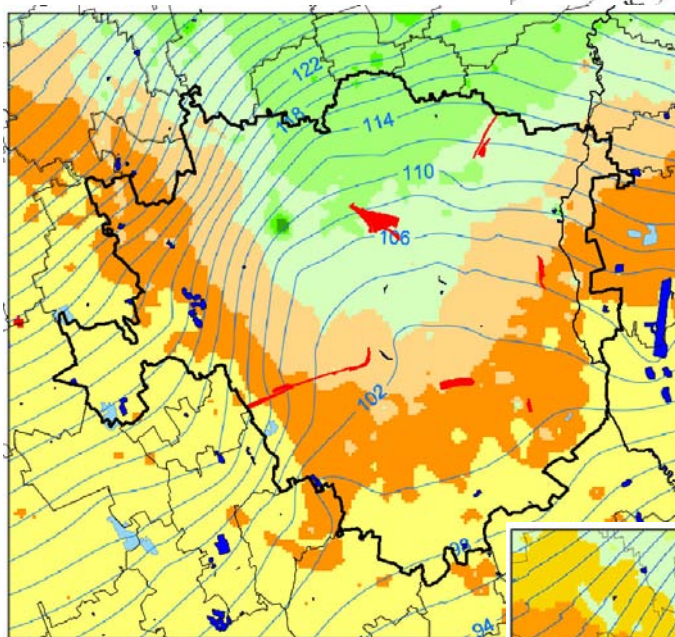


Fig. 3.16 isofreatiche marzo 2001

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.

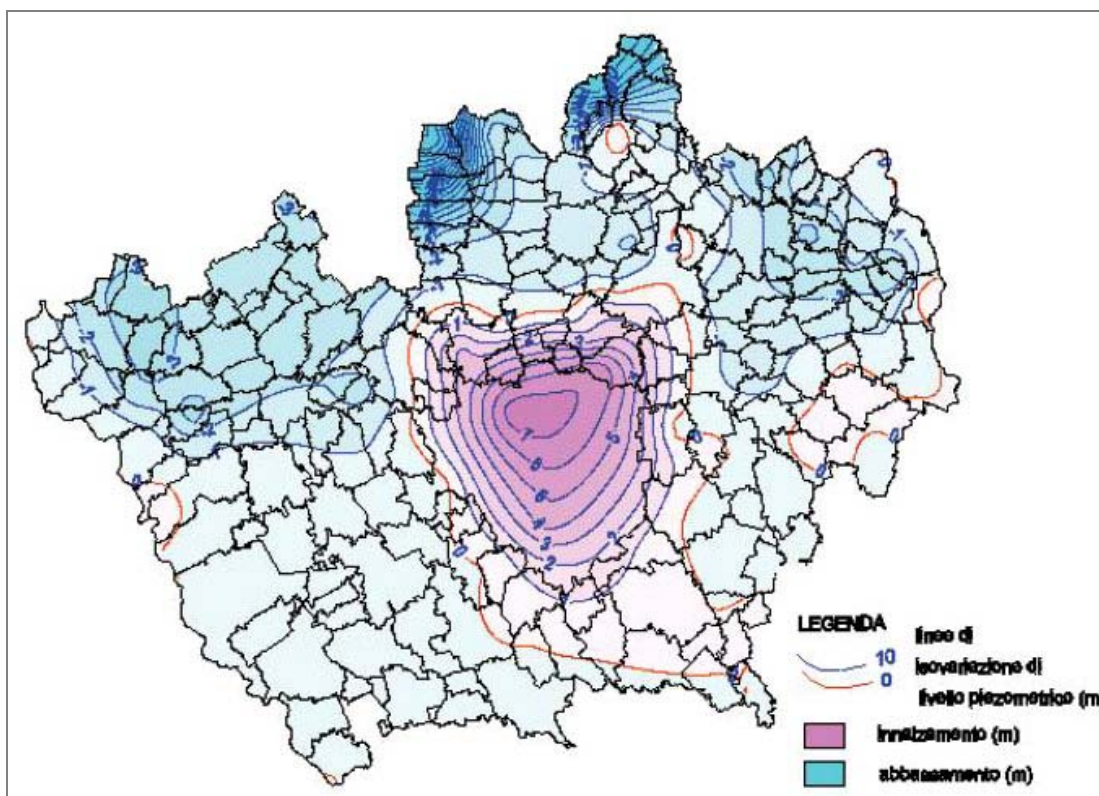


Fig. 3.19 Variazioni della superficie freatica tra 1985 e 1997

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 meditati 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.

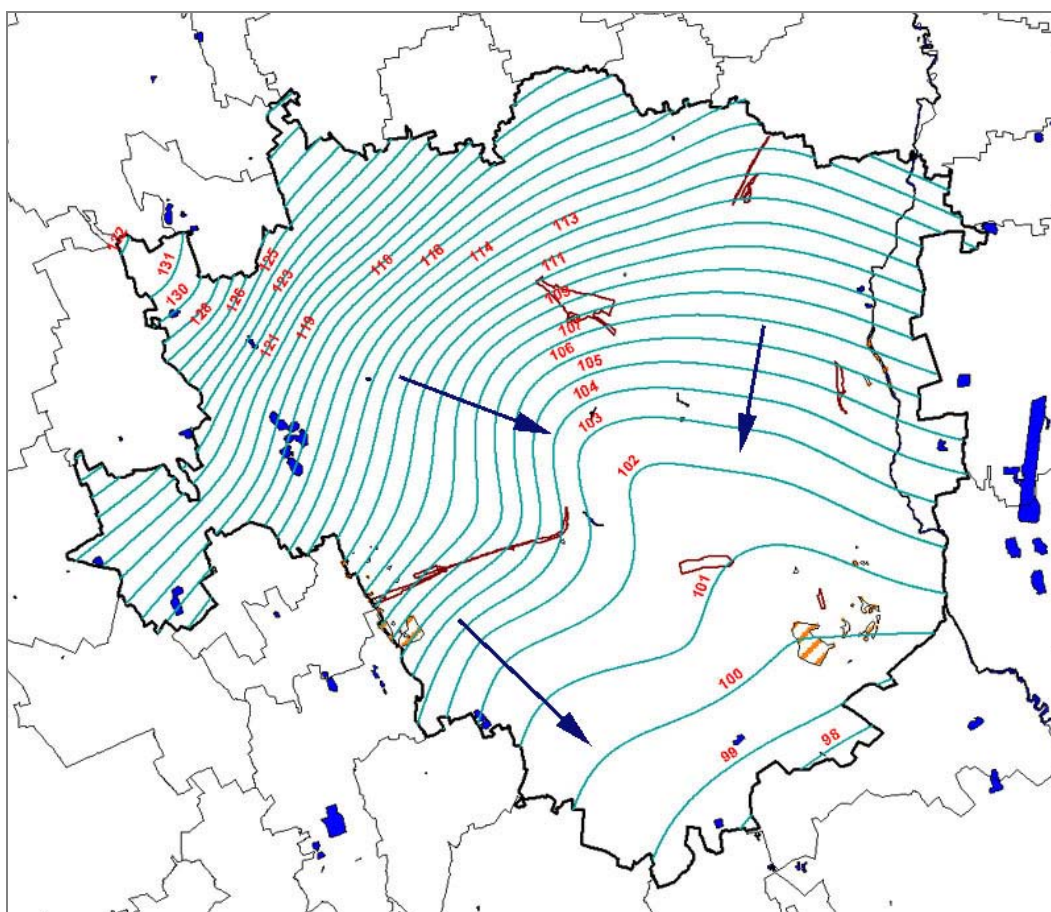


Fig. 3.20 Isopiezometriche marzo 2007 (Comune di Milano)

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.



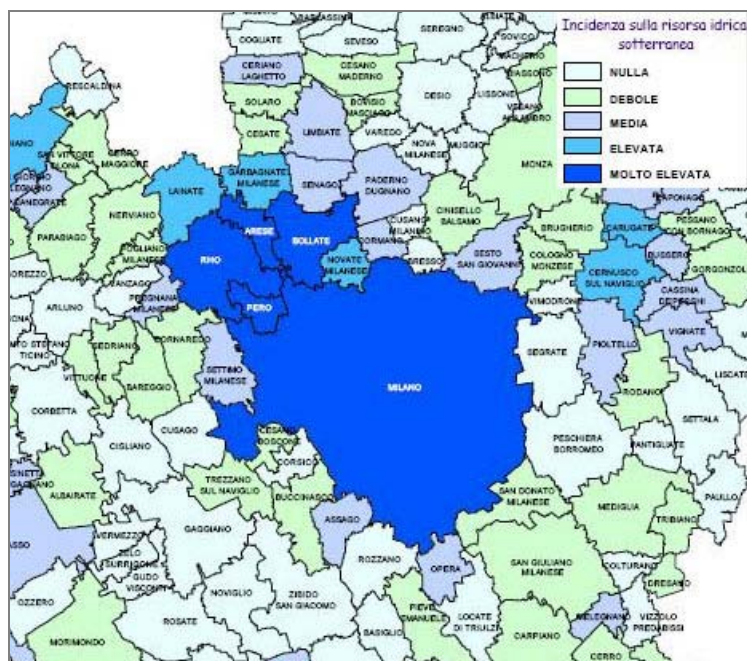


Fig. 3.21 Incidenza dell'inquinamento sulla disponibilità di acque sotterranee (Provincia di Milano)

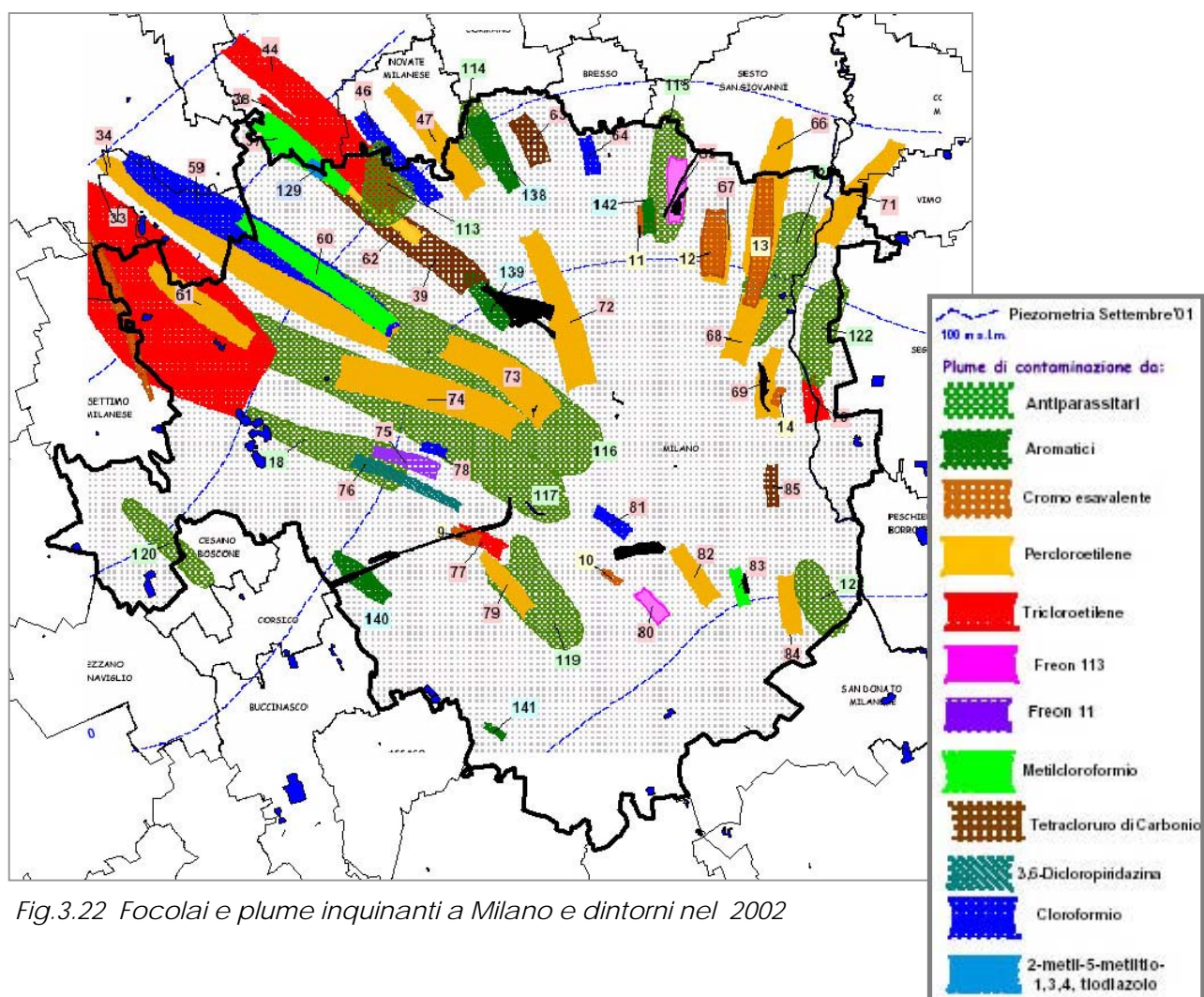


Fig.3.22 Focolai e plume inquinanti a Milano e dintorni nel 2002



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 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.

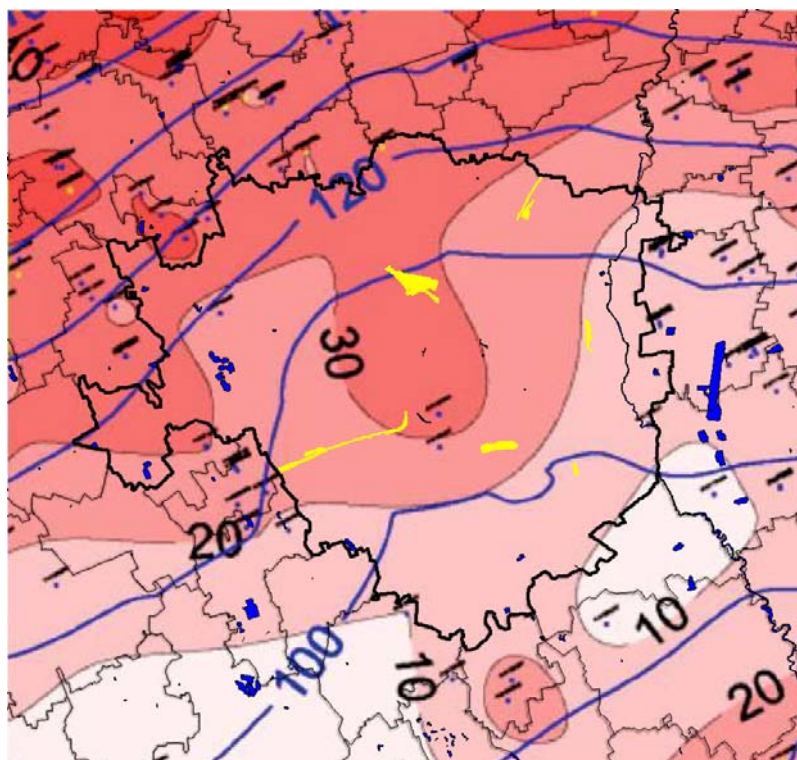


Fig. 3.23 Nitrati in falda in mg/l

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  $\text{CaCO}_3$ )

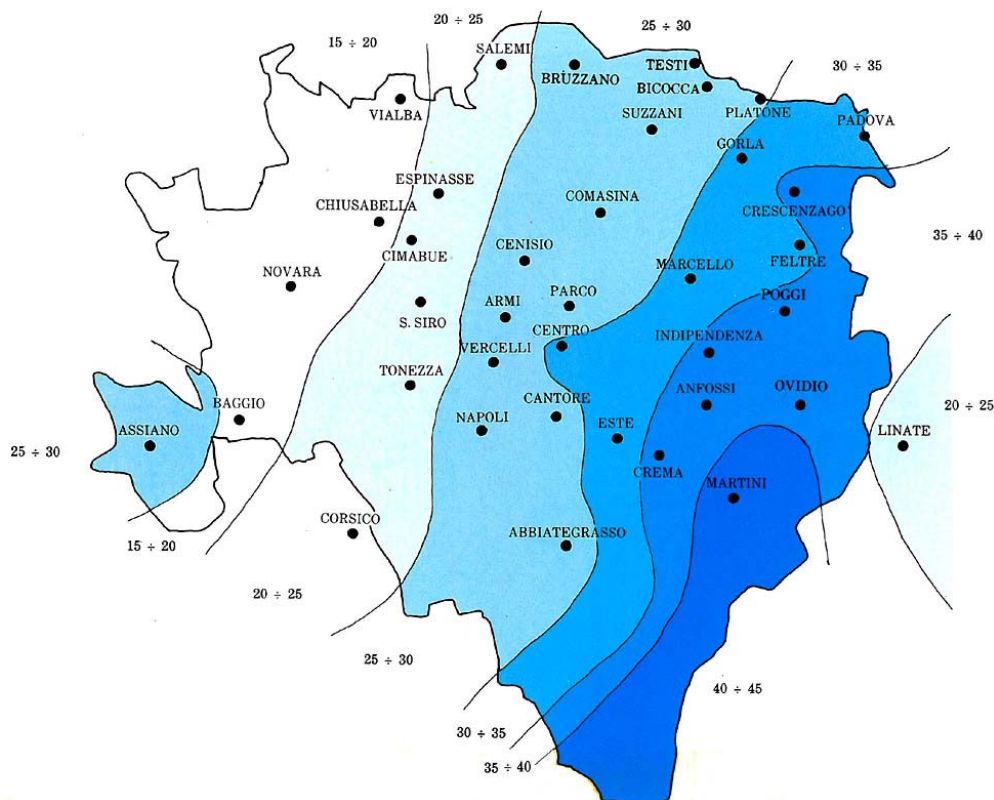


Fig. 3.24 Valori di durezza in ° francesi nelle acque sotterranee di Milano (Airoldi, Casati 1989)

## 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.

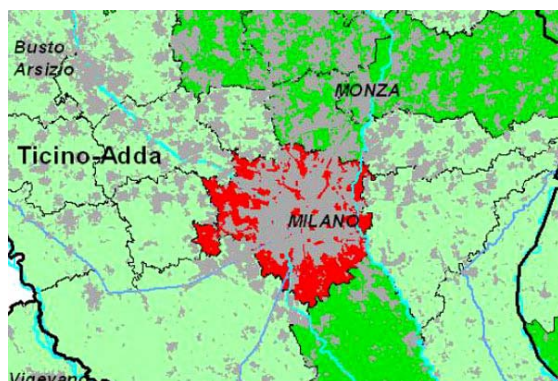


Fig. 3.25

**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.

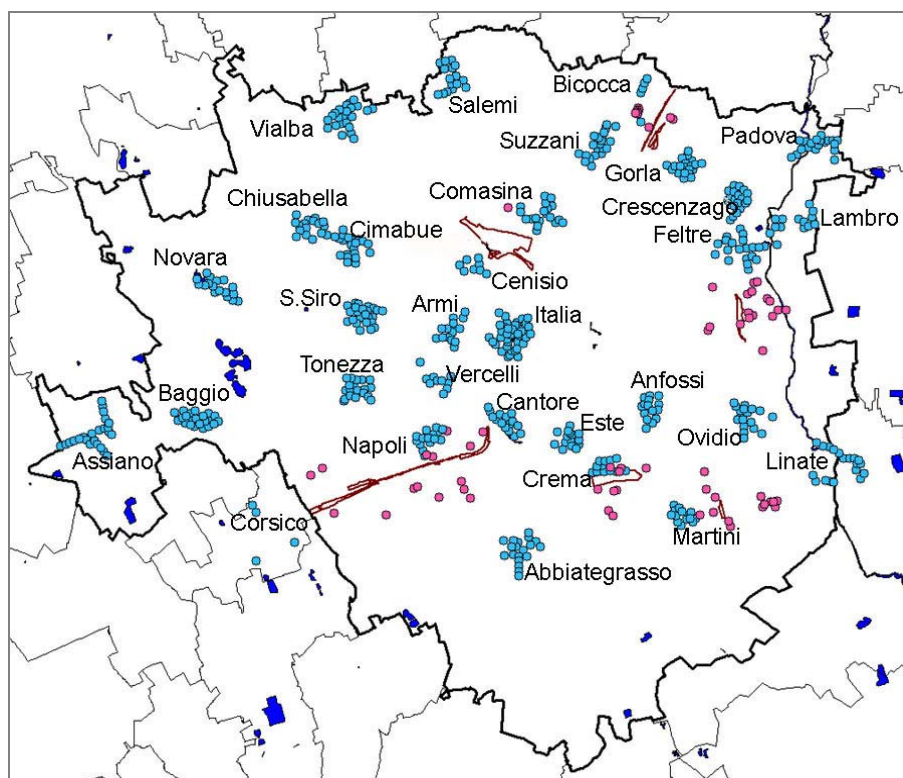


Fig. 3.26



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

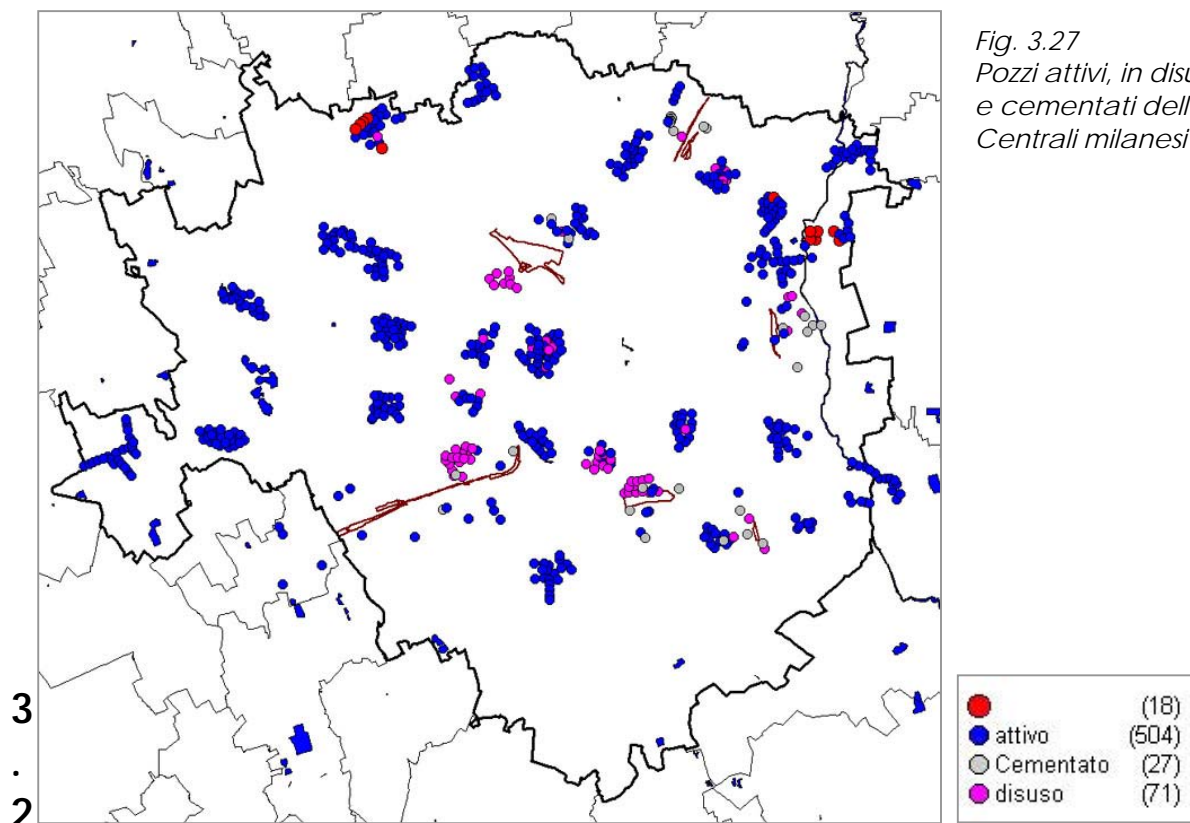


Fig. 3.27  
Pozzi attivi, in disuso  
e cementati delle  
Centrali milanesi

### 3.2 Caratteri e problemi dell'area

#### *Note sulla struttura idrogeologica locale*

La struttura idrogeologica del sottosuolo dell'area considerata può essere 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 dalla sezione O-E 13 e dalla sezione F diretta N-S.

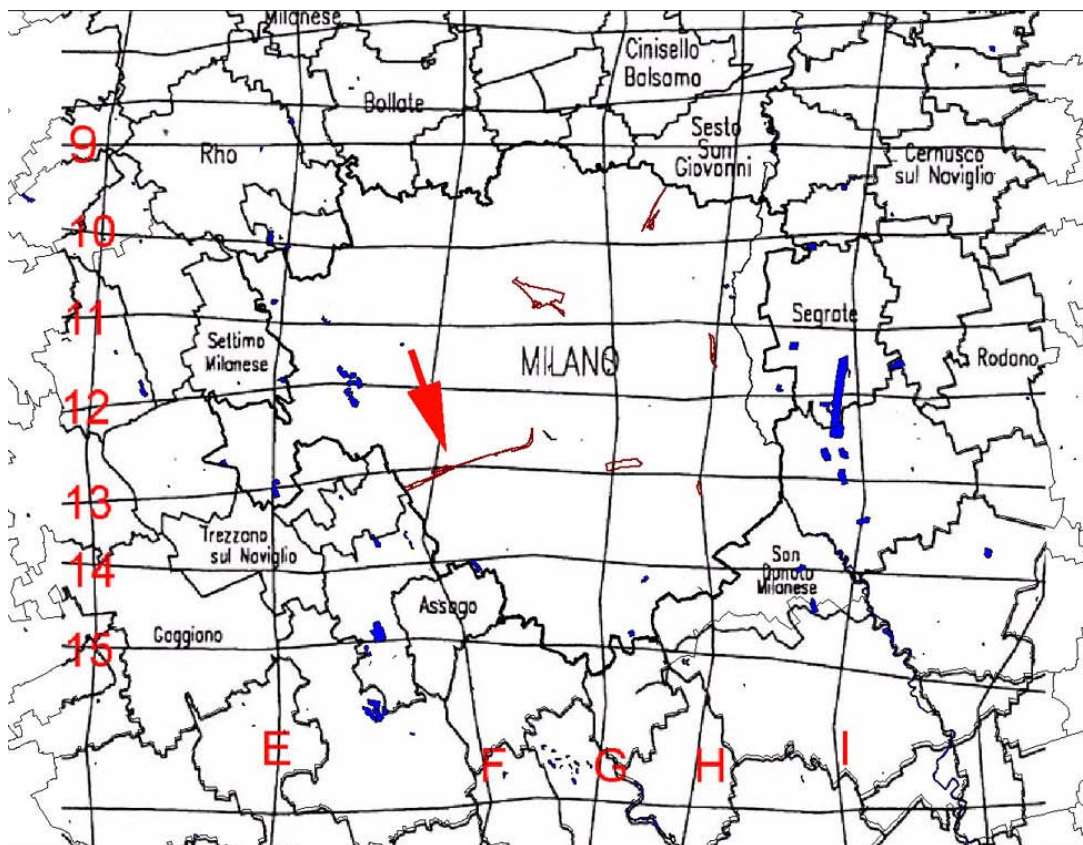


Fig. 3.28  
Traccia delle sezioni  
idrogeologiche da  
"Provincia di Milano 1995"

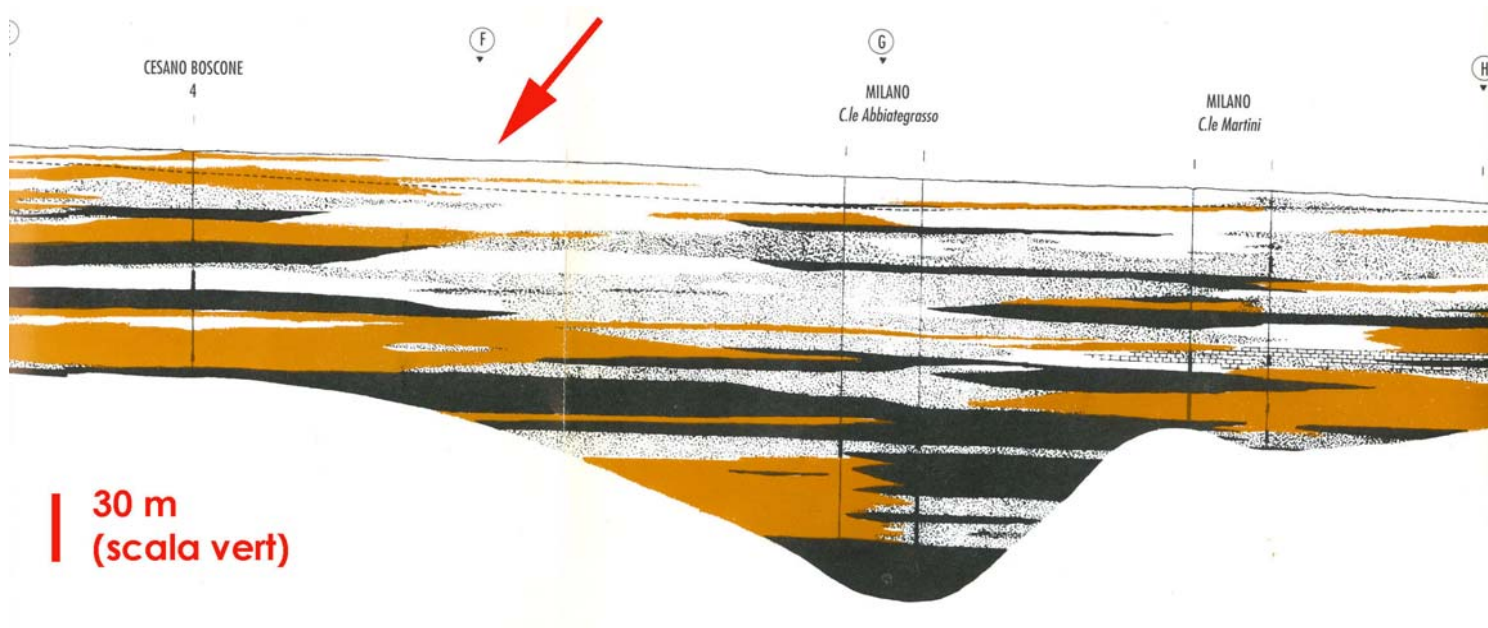
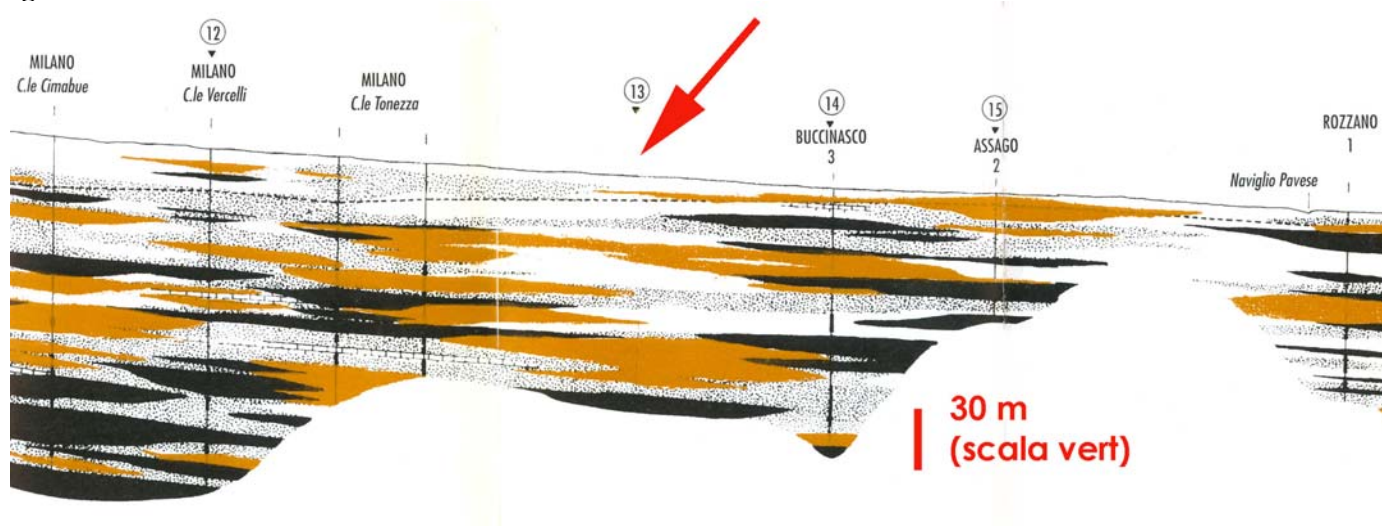


Fig. 3.29 Sezione 13

Fig. 3.30 Sezione F





Le due sezioni, che si incrociano perpendicolarmente nell'area dello scalo, propongono un quadro abbastanza incerto riguardo alla distribuzione della successione dei materiali in profondità, pur in quadro congruente con quanto già descritto nella parte di idrogeologia generale. La sezione 13 infatti sembra indicare una forte transizione tra una sequenza a prevalenti materiali fini, ad ovest, ad una più grossolana o sabbiosa verso est. Ciò almeno fino a circa 80 m di profondità dove aumenta lo spessore degli strati limosi e argillosi.

Nella sezione F, diretta nord-sud, la sequenza stratigrafica appare più tipica, con più di 30 m di materiali grossolani e una successiva maggiore variabilità fino a 110 m circa.

In corrispondenza dell'area considerata, comunque, i livelli più fini, argillosi, non sono descritti come così frequenti o così continui da dare luogo ad una significativa ripartizione della successione grossolana in acquiferi separati.

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. 3.31

Tra i pozzi presenti, se ne sono scelti alcuni tra i pochi prossimi all'area dello scalo e dotati di stratigrafia:

codice	indirizzo	profondità m	stato
0151460998	Via Bavona 21	55	attivo
0151460999	Via Bisceglie 120	110	attivo
0151462702	Via Chiodi 5	22	attivo
0151462703	Via Chiodi 5	28	attivo

Si tratta di pozzi privati, in 3 casi su 4 di modesta profondità, attivi.

Il solo pozzo 999 pesca solo in seconda falda, mentre gli altri prelevano da entrambe le falde (il 998) o dal solo acquifero superficiale, vista la modesta profondità della perforazione. Ciò naturalmente è possibile, di fatto, per un uso non potabile delle acque prelevate.

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)

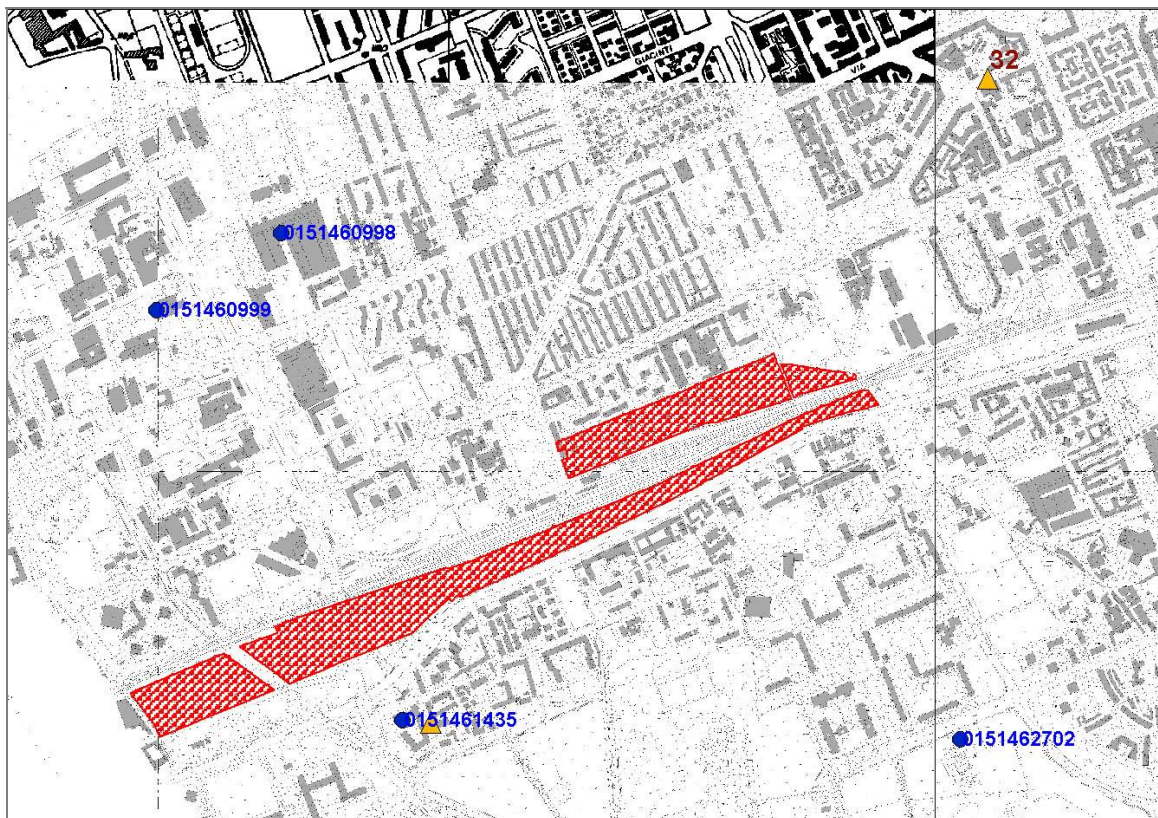


Fig. 3.32 Ubicazione e codici dei pozzi vicini all'area dello scalo

Sono anche indicate le ubicazioni dei piezometri della rete di monitoraggio comunale/provinciale, riportati con il numero 32 e 20 (coincidente con il punto di sigla 0151461435, a sud dell'area).

Dall'analisi delle stratigrafie dei pozzi, la cui affidabilità, come ricordato, è tutta da dimostrare, si possono comunque trarre altre indicazioni sulle caratteristiche della successione sedimentaria del sottosuolo e sui caratteri idrogeologici dello stesso. Nel seguito vengono riprodotte le sole stratigrafie dei pozzi 702 e 703, di ubicazione pressoché coincidente, perché sono le uniche leggibili, tra quelle reperite.

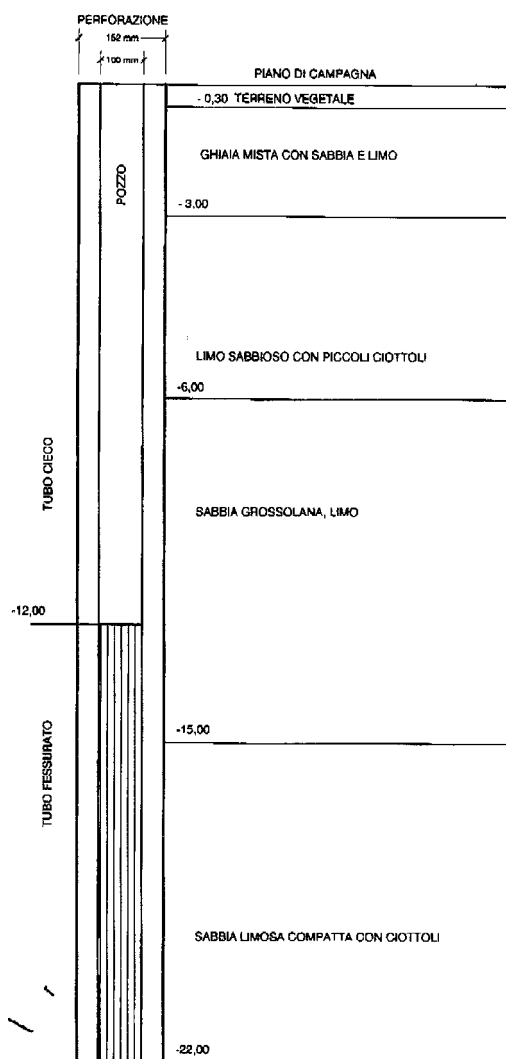
Tutte le stratigrafie indicano una situazione di forte variabilità, minore potenza o maggiore discontinuità degli orizzonti grossolani, che anzi sono qui spesso sostituiti da sabbie, sabbie limose e livelli con argilla anche abbastanza potenti.

In particolare, nei pozzi a sud (702 e 703), i materiali permeabili del primo acquifero sono esplorati solo fino a 22 e 28 m, mostrando peraltro una scarsa percentuale di materiale ghiaioso e una prevalenza di sabbie con limo. La falda è captata su ampi spessori nella metà inferiore dell'acquifero, cioè tra 18 e 28 m e tra 12 e 22 m.

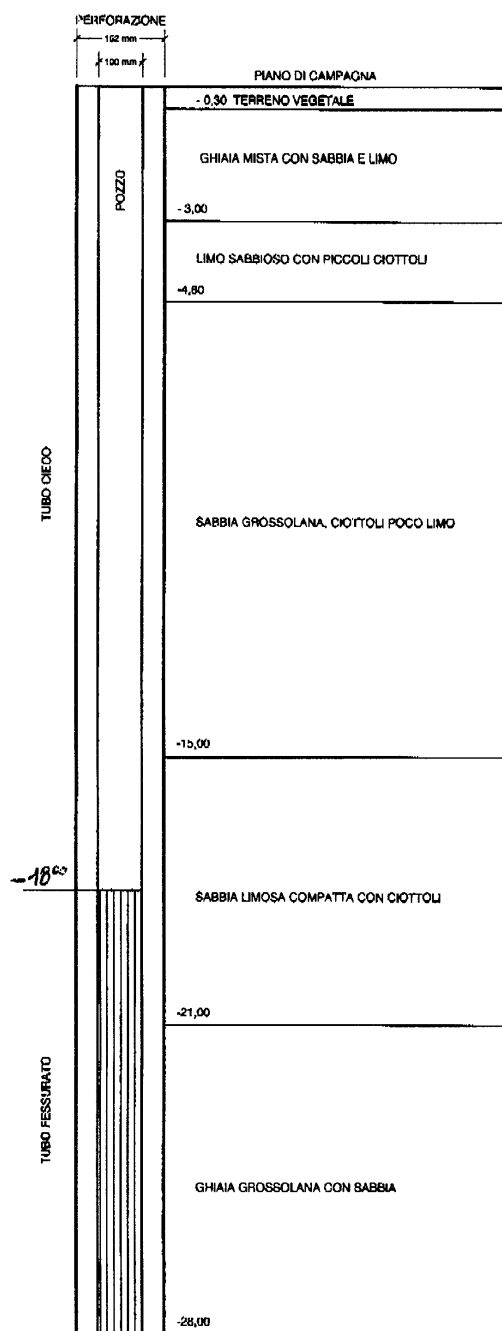
Negli altri pozzi (nord area) il primo acquifero può essere compreso tra la superficie e 29-32 m di profondità, ma con presenza di strati di argilla intercalati. Seguono in profondità materiali diversi, sabbie e sabbie argillose, orizzonti ghiaioso-sabbiosi, captati dai pozzi, e livelli argillosi di potenze variabili tra 3 e 7 m. I dati disponibili per l'analisi della parte profonda dell'acquifero B sono troppo scarsi per trarne valutazioni attendibili.

In generale si conferma quanto descritto in precedenza (parte generale), cioè l'incremento della percentuale dei materiali fini su quelli grossolani e ghiaiosi nel settore sud-occidentale del territorio milanese dove si rinvennero anche livelli argillosi a minori profondità rispetto all'area nord ed est.

Pozzo 0151462702



Pozzo 0151460703



Figg. 3.33-34  
Stratigrafie pozzi privati 702 e 703



## 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 2007.

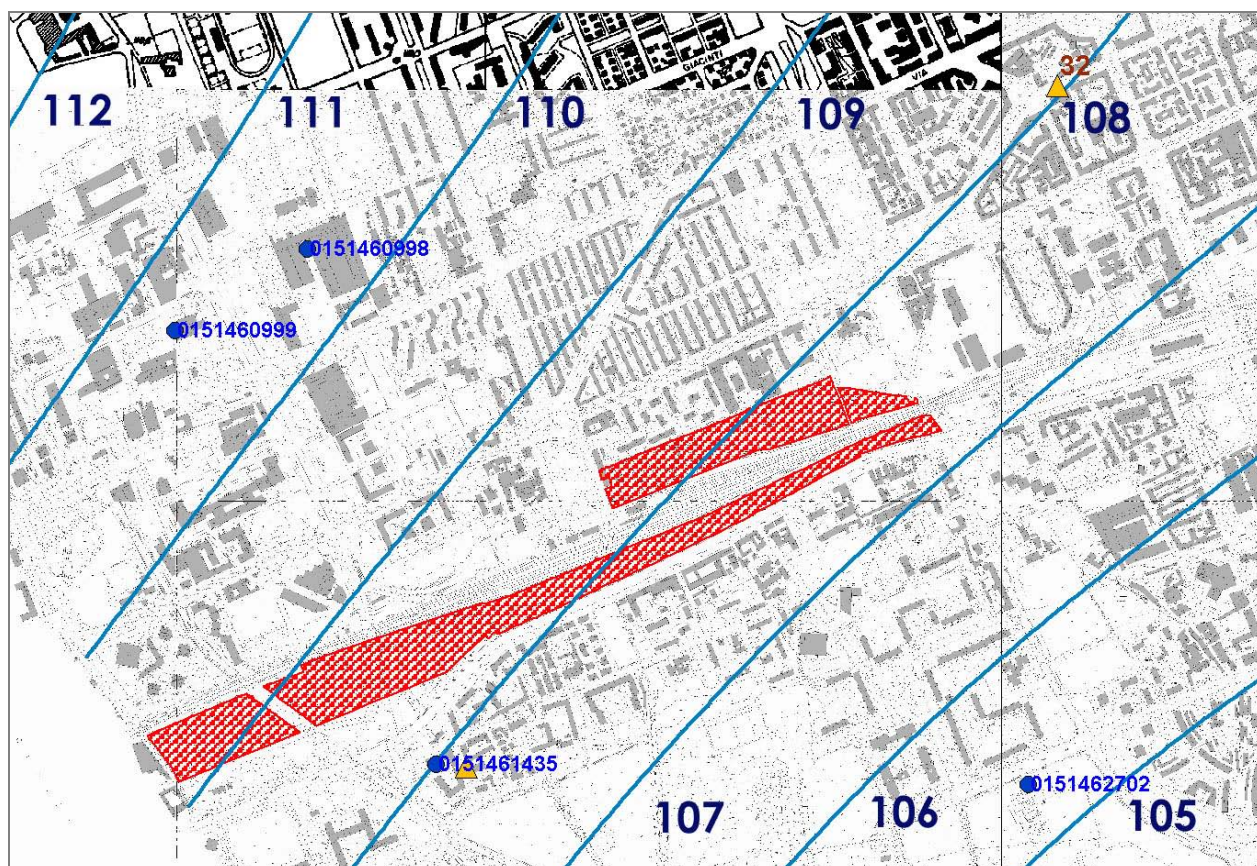


Fig. 3.35 Curve isopiezometriche marzo 2007 (Politecnico Milano)

E' senz'altro utile il confronto con situazioni pregresse, nello specifico rappresentative degli anni 1960 e 1975.

Si può intanto notare che attualmente le direzioni del gradiente di flusso siano rivolte a sud-est, rispetto a quelle dirette ad est di 50 e 35 anni fa; siano cioè tornate ad essere un po' più simili al loro andamento naturale qualora in assenza del richiamo determinato dalla depressione del centro città di Milano.

E' anche evidente che nel '60 la falda era ancora decisamente (9 m) più alta dell'attuale, nonostante l'abbassamento della superficie freatica fosse iniziata da tempo. Il '75 rappresenta invece un momento di forte abbassamento, subito precedente alle alluvioni del '76 e poco prima della inversione di tendenza degli anni '80-90. La superficie di falda si trovava infatti 18 m circa più bassa del 1960 (1,3 m/anno di abbassamento) mentre, oggi, risulta aver recuperato esattamente la metà di quanto perso tra '60 e '75.



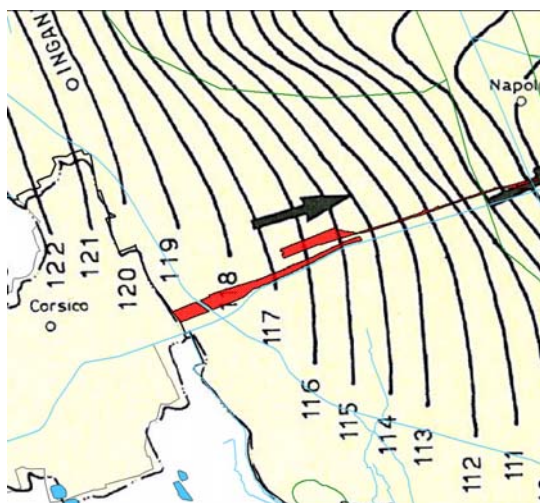


Fig. 3.36 isopiezometriche 1960

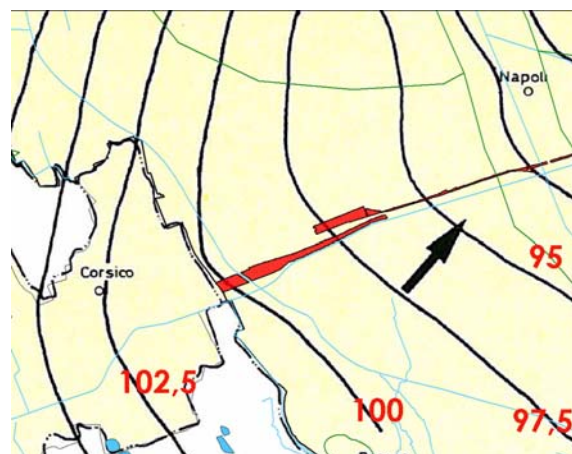


Fig. 3.37 isopiezometriche 1975

Nella figura sottostante sono direttamente indicati i valori di soggiacenza ricavati dalla differenza tra punti quotati significativi e le isolinee di quota freatica del rilievo 2007. La soggiacenza della falda rispetto al piano campagna cresce da ovest verso est, dove raggiunge gli 8-9 metri.

All'estremo ovest dell'area dello scalo e a sud di esso, anche in corrispondenza di vecchi scavi di cava, si verificano le condizioni di minima soggiacenza, valori cioè inferiori a 5 metri.

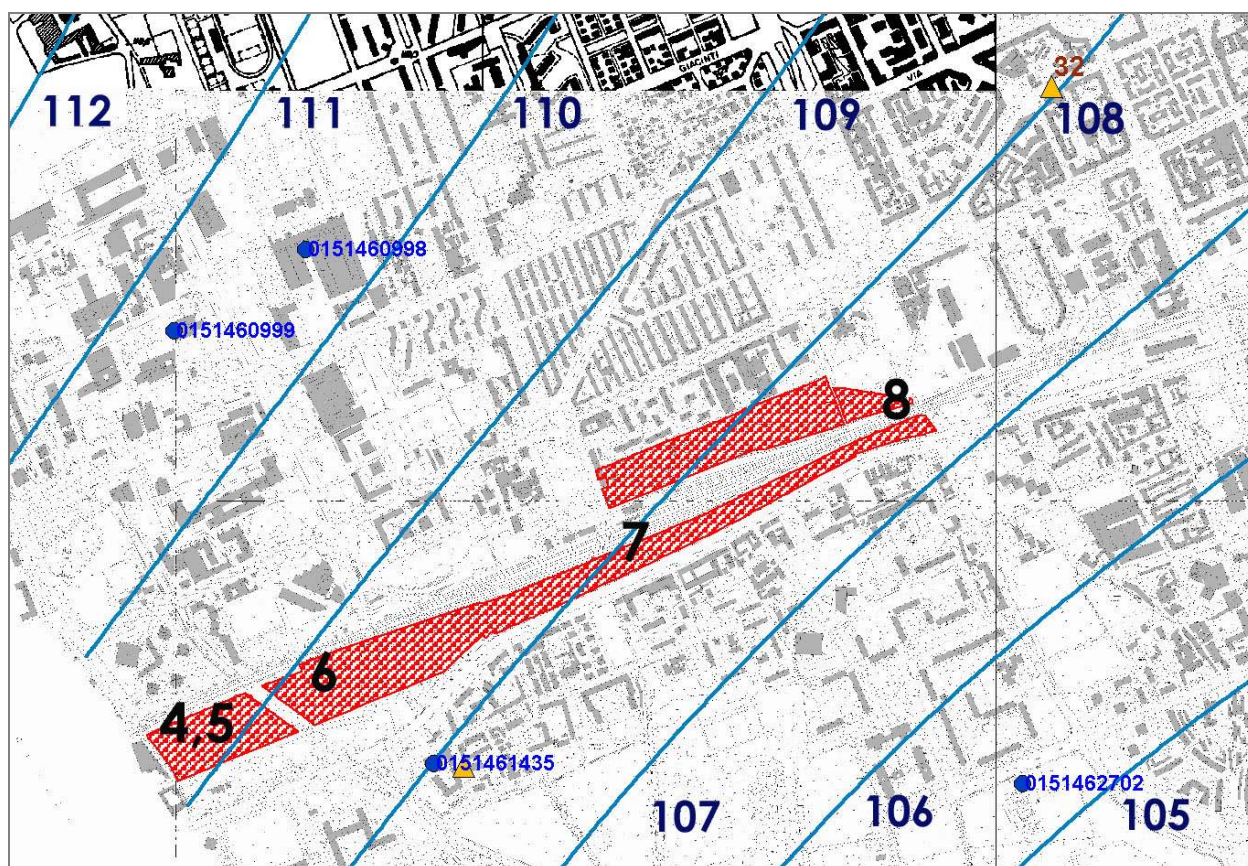


Fig. 3.38 Isopiezometriche 2007 e valori puntuali di soggiacenza

Si deve inoltre tenere presente che tra il marzo 2007 e il mese di febbraio 2009 la falda freatica è risalita di 1 metro, soprattutto per la forte piovosità del 2008. Per questo nell'area dello scalo sono anche indicati (nella carta successiva, in viola) i valori di soggiacenza aggiornati ai probabili valori attuali.

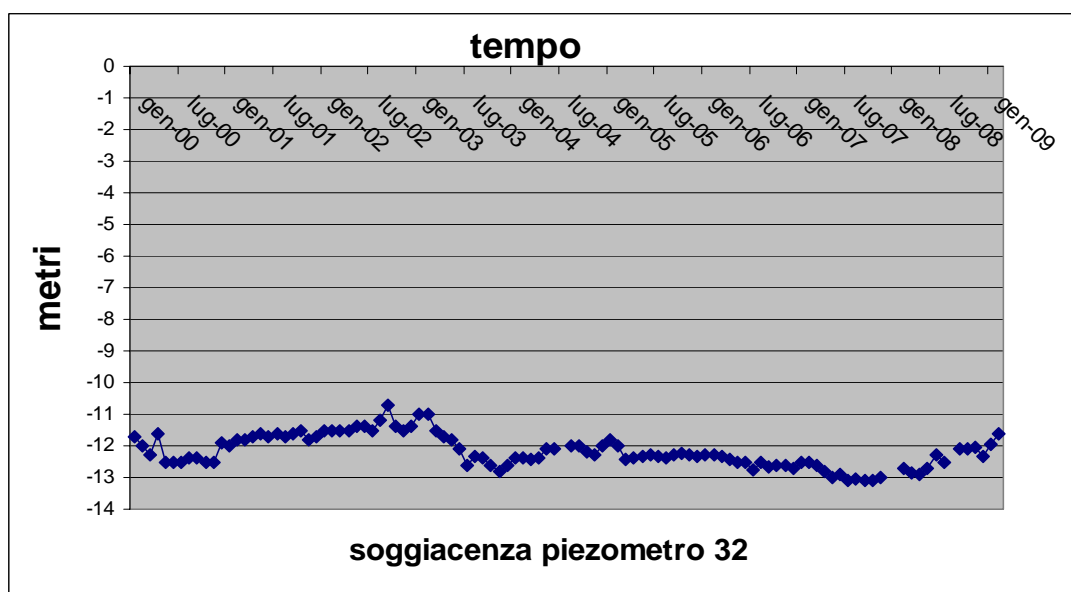
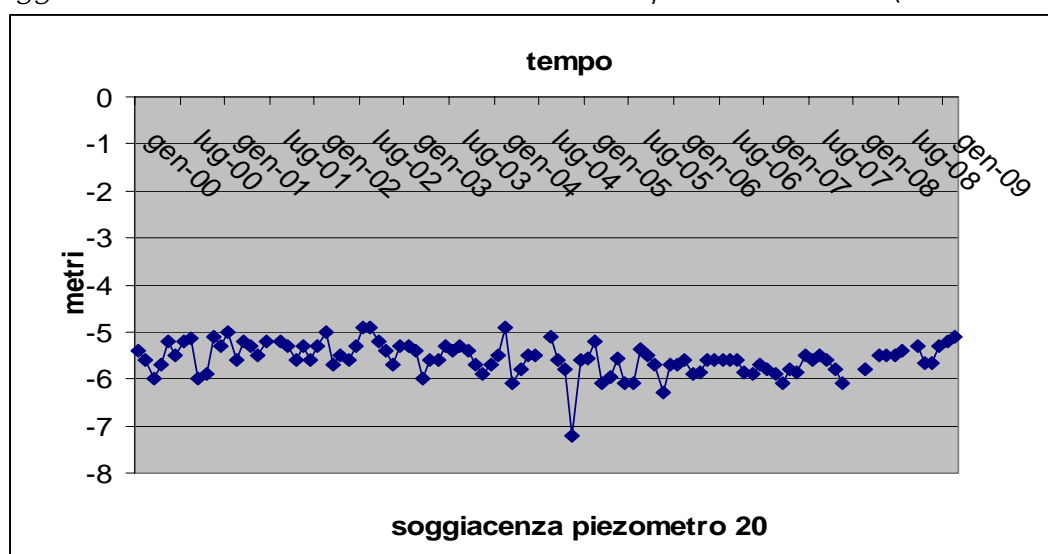
Si tratta di valori molto bassi che pongono seri problemi di vulnerabilità diretta della falda.

La soggiacenza della falda e le sue oscillazioni sono peraltro anche valutabili in corrispondenza dei piezometri della rete provinciale di monitoraggio. Da essi, tra l'altro, si ricava il valore della variazione freatica tra 2007 e 2009.

I piezometri 20 e 32, citati in precedenza, non sono molto prossimi all'area dello scalo, ma possono comunque fornire una idea delle oscillazioni stagionali e pluriennali, limitate peraltro al periodo dal 2000 al 2009.

Il grafico seguente ne illustra i valori.

*Figg. 3.39-40 Grafici delle oscillazioni freatiche dei piezometri 20 e 32 (Provincia di Milano)*





Come si può vedere, il piezometro 20 fornisce nel periodo considerato valori di 5-6 m di soggiacenza, attualmente attorno a 5 m.

Il piezometro 32 invece, a circa 900 m dall'area indica invece soggiacenze variabili tra 11 e 13 m. All'inizio 2009 i valori risultavano di circa 11,5 m. Questo valore appare un po' più elevato di quello ricavabile dalla differenza tra piano campagna e quota freatica rilevata nel 2007, aumentata di 1 m, pari a 10 m circa.

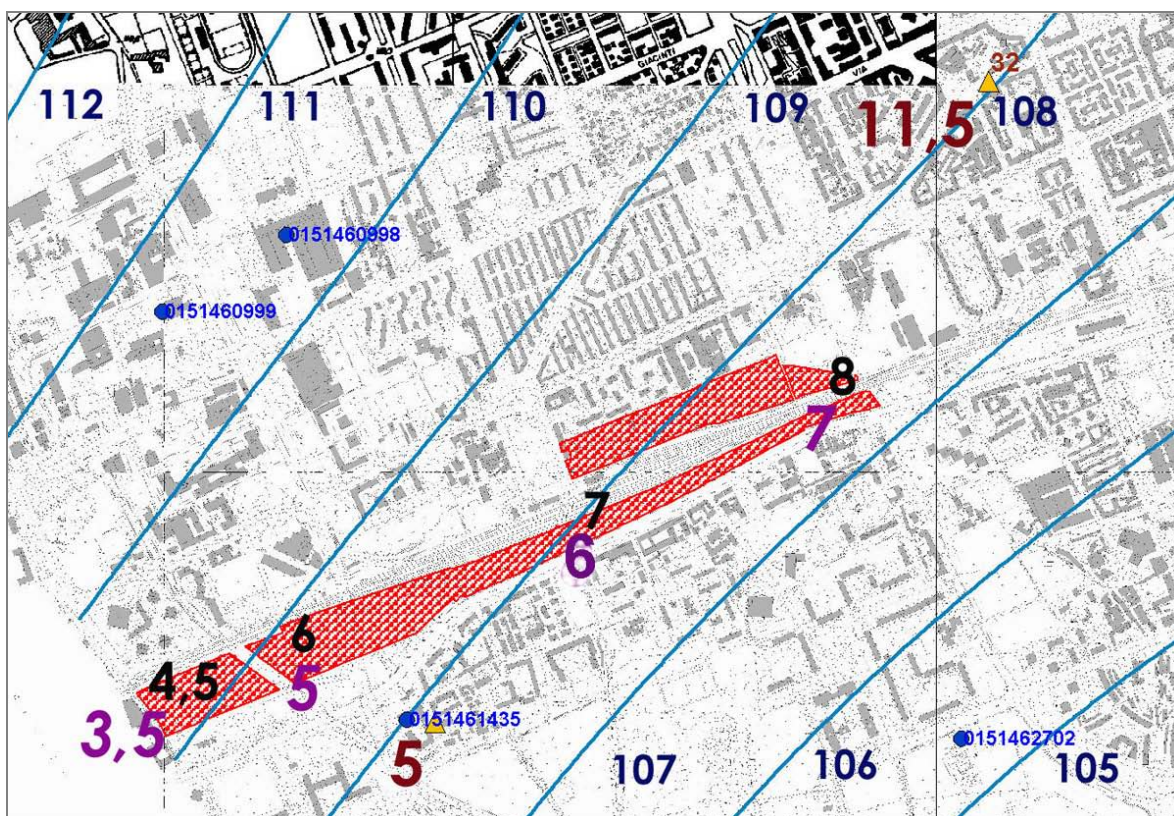


Fig. 3.41 Valori di soggiacenza calcolati per il 2007 (in nero) e correzione al 2009 (in viola). Valori di soggiacenza ai piezometri (rosso scuro)

## 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 collocazione (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 5-15 m di profondità, e che in media 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, ha relativa importanza la conoscenza degli altri 0-10 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.

Nel caso specifico, esclusi gli spessori antropici, comprensivi di suoli rimaneggiati, segnalati nei pozzi presi in considerazione come relativamente modesti (0,5-2 m) e viste anche le situazioni di pozzi collocati già a discrete profondità (-3,5 m), rimane uno spessore veramente limitato (3-6 metri circa) di materiali insaturi naturali a difesa della falda qui decisamente poco profonda.

Anche la componente limosa, che in questa zona, come descritto in precedenza, appare maggiore che in altre aree di Milano anche nel primo acquifero, non sembra significativa nei primi metri del sottosuolo, stando alle stratigrafie disponibili.

I materiali sabbioso-ghiaiosi possono dunque 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 di uno spessore insaturo di pochi metri anche inferiore ad un giorno. Naturalmente si parla sempre di conducibilità sature, cosa già di per se puramente teorica, considerato che la gran parte degli apporti meteorici sono drenati dalla rete fognaria e non contribuiscono alla saturazione del terreno.

Integrando poi questo dato con elementi di caratterizzazione della falda e, in particolare, dei suoi parametri idrodinamici, come permeabilità o trasmissività si può ottenere una valutazione più completa della vulnerabilità della falda che dipende infatti anche dalla sua capacità di trasferire velocemente gli inquinanti. 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 e possibili aree a valori bassi nell'area sud ovest. Del resto, l'unico dato di portata e abbassamento relativo segnalato nelle stratigrafie disponibili,

riferito al pozzo 998, risulta di 5,1 l/s per metro di abbassamento (prova realizzata al momento del collaudo, nel 1962 ).

Considerata comunque la limitatissima soggiacenza , 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.