

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'Olona, 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 utilizzate 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.

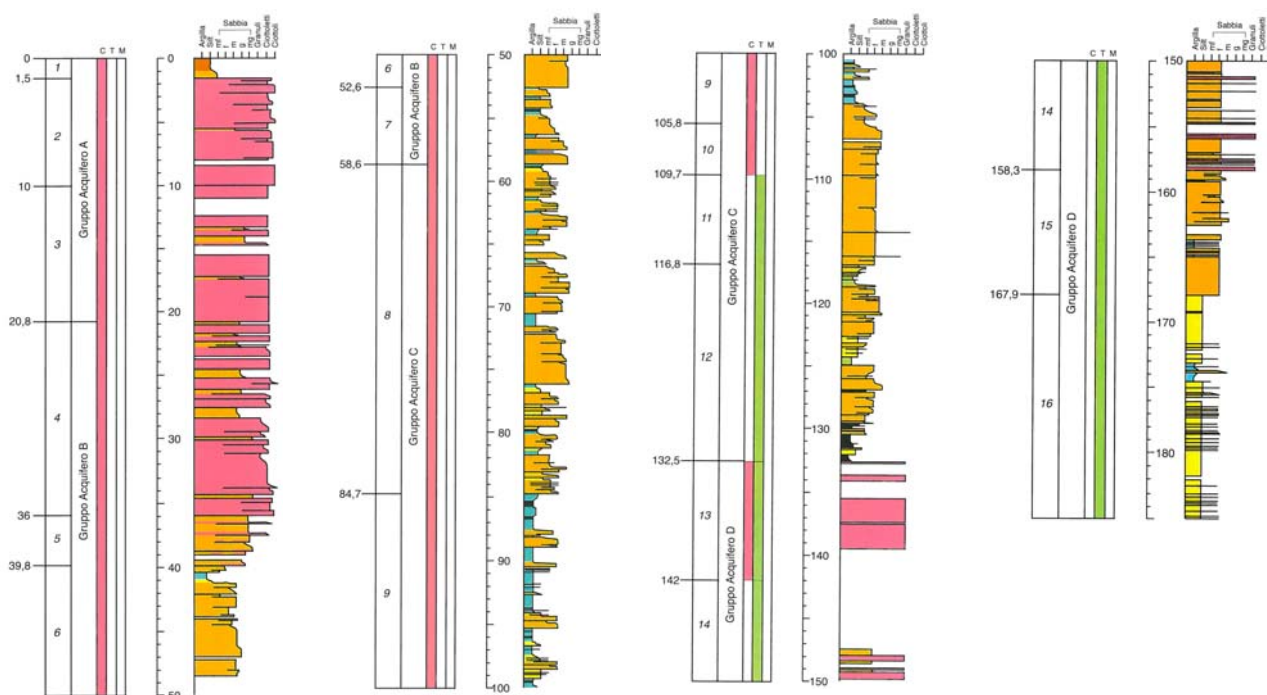


Fig. 3.1 Sondaggio Agrate – 185 m

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.

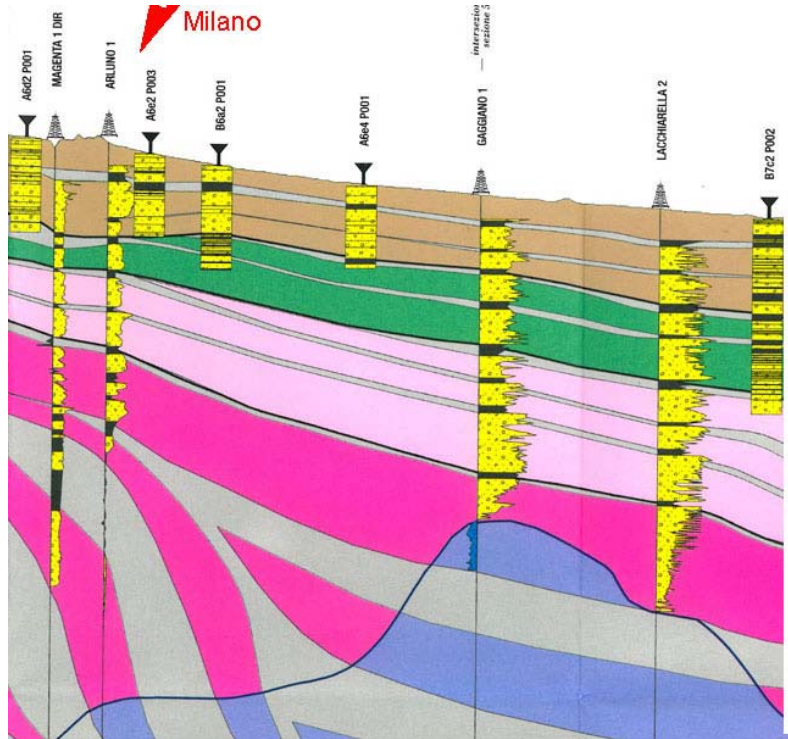
La sedimentazione ghiaiosa del gruppo B segna ovunque il passaggio agli ambienti deposizionali continentali (ambienti fluviali) e a materiali grossolani provenienti da nord, piuttosto che da ovest. La dimensione grossolana (sabbie e ghiaie) dei materiali mantiene alta la porosità del mezzo e la sua permeabilità.

Gruppo A

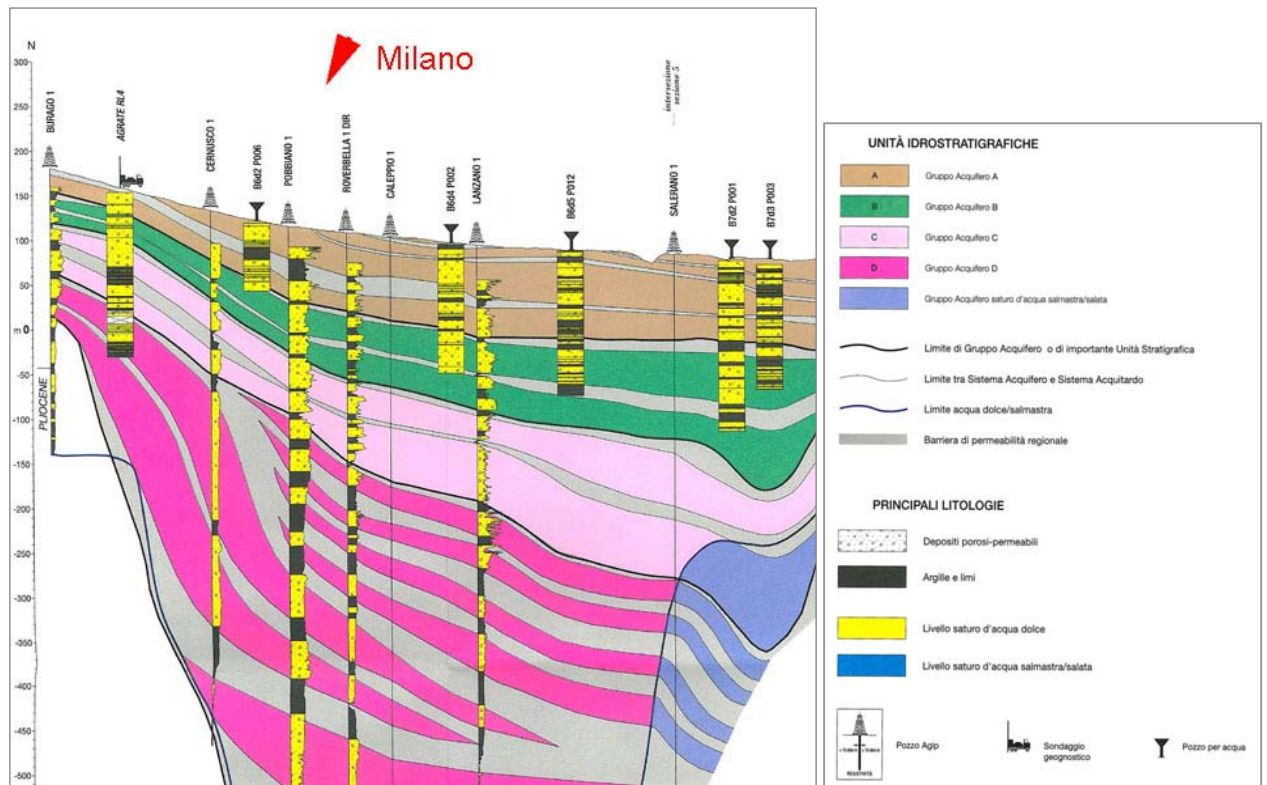
Lo spessore del gruppo è pari a 20-40 m (21 m ad Agrate) ed è molto simile al Gruppo B quanto a tipo di sedimenti e ambiente genetico. Si tratta di ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa con pochi intervalli sabbiosi. L'ambiente è di deposizione continentale fluviale ad alta energia, con apporti di provenienza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

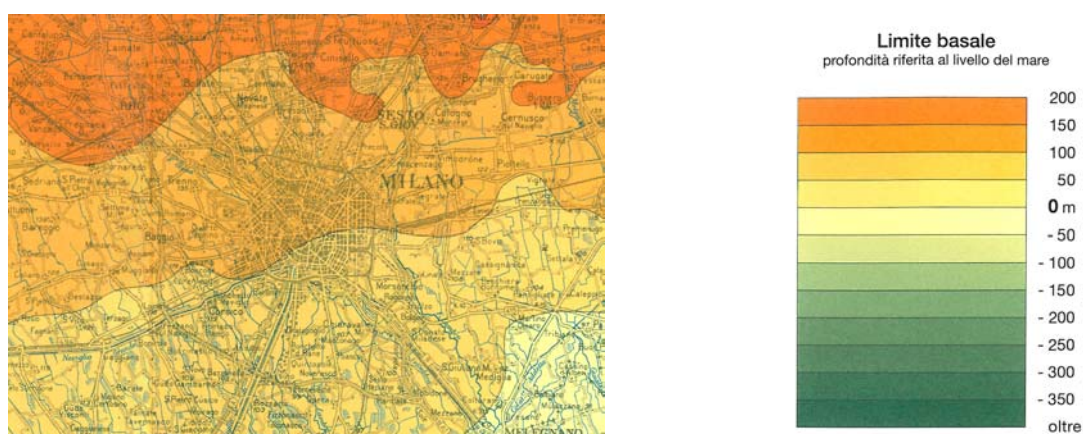
Si riferiscono ai Gruppi Acquiferi A e B e trattano delle isobate degli acquiferi, delle isopache degli stessi, dello spessore cumulo dei depositi permeabili e delle aree di ricarica diretta potenziale degli acquiferi.

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.

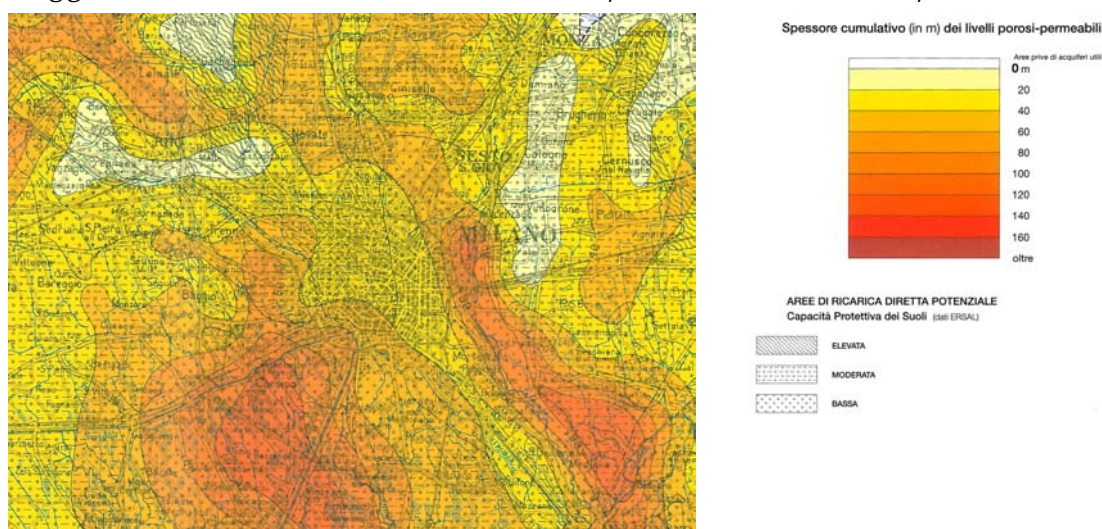
La figura successiva rappresenta invece (in colore) lo spessore cumulo della parte permeabile dei sedimenti dell'Acquifero A e, con retini, le aree a differente ricarica potenziale degli acquiferi corrispondente all'area di affioramento di ciascuno di essi. Qui affiora solo l'Acquifero A e la sua ricarica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

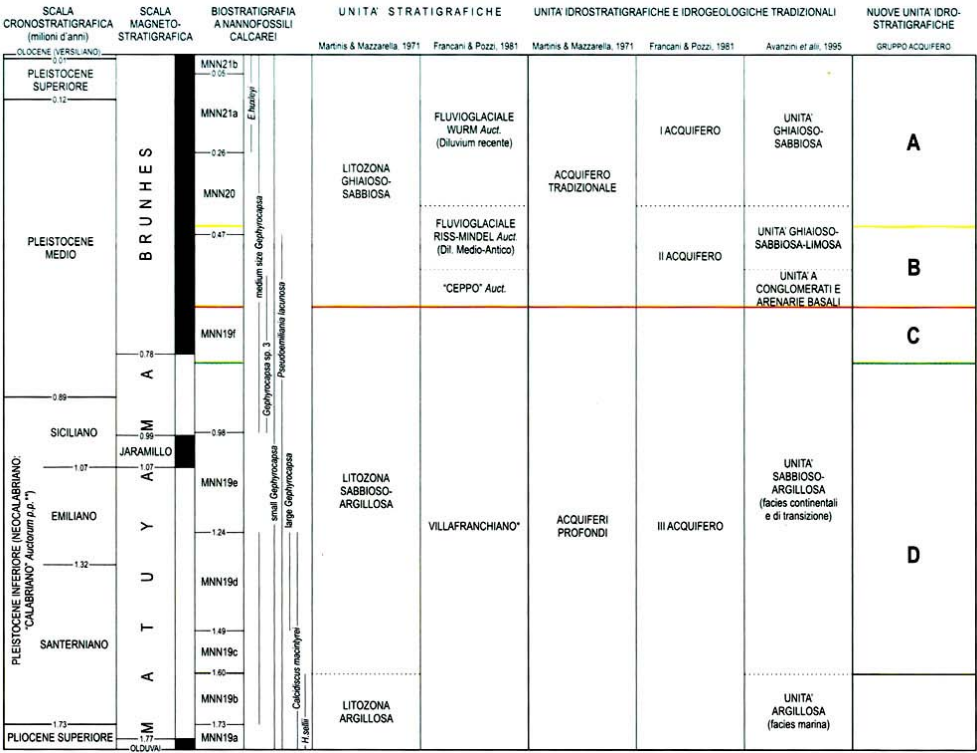
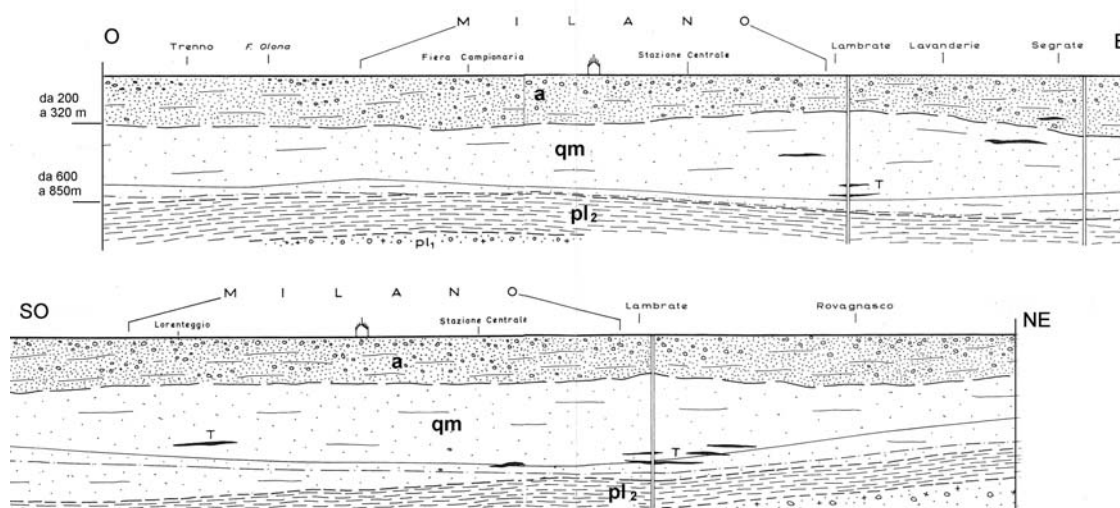


Fig. 3.7
Schema
stratigrafico
degli acquiferi
milanesi

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.

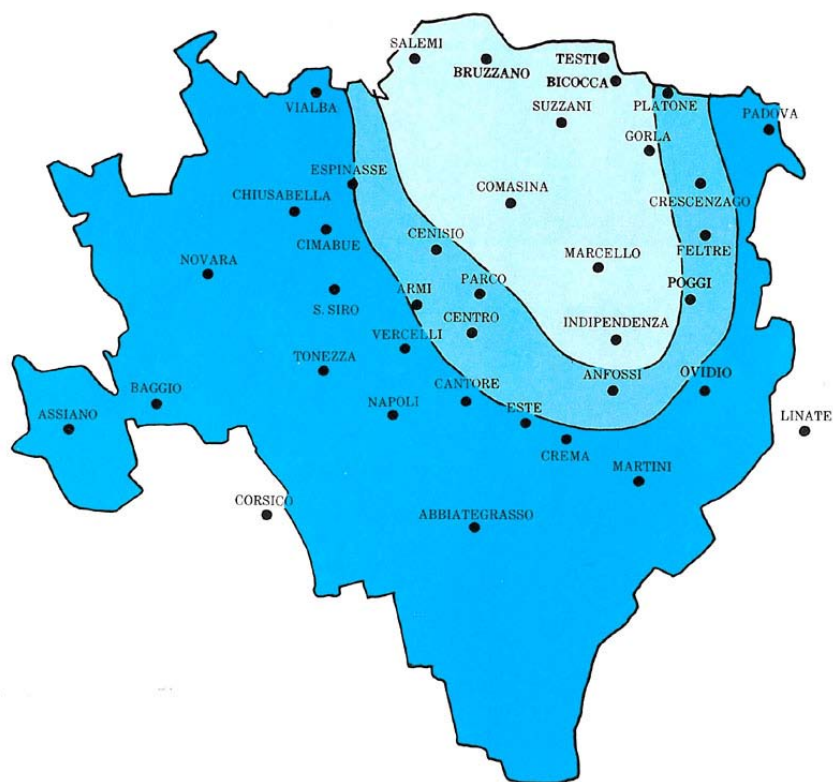


Fig. 3.9 Stratificazione delle falde idriche (in Airoidi, Casati 1989)

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 fig.3.9 (monostrato, bistrato, multistrato da nord a sud).

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

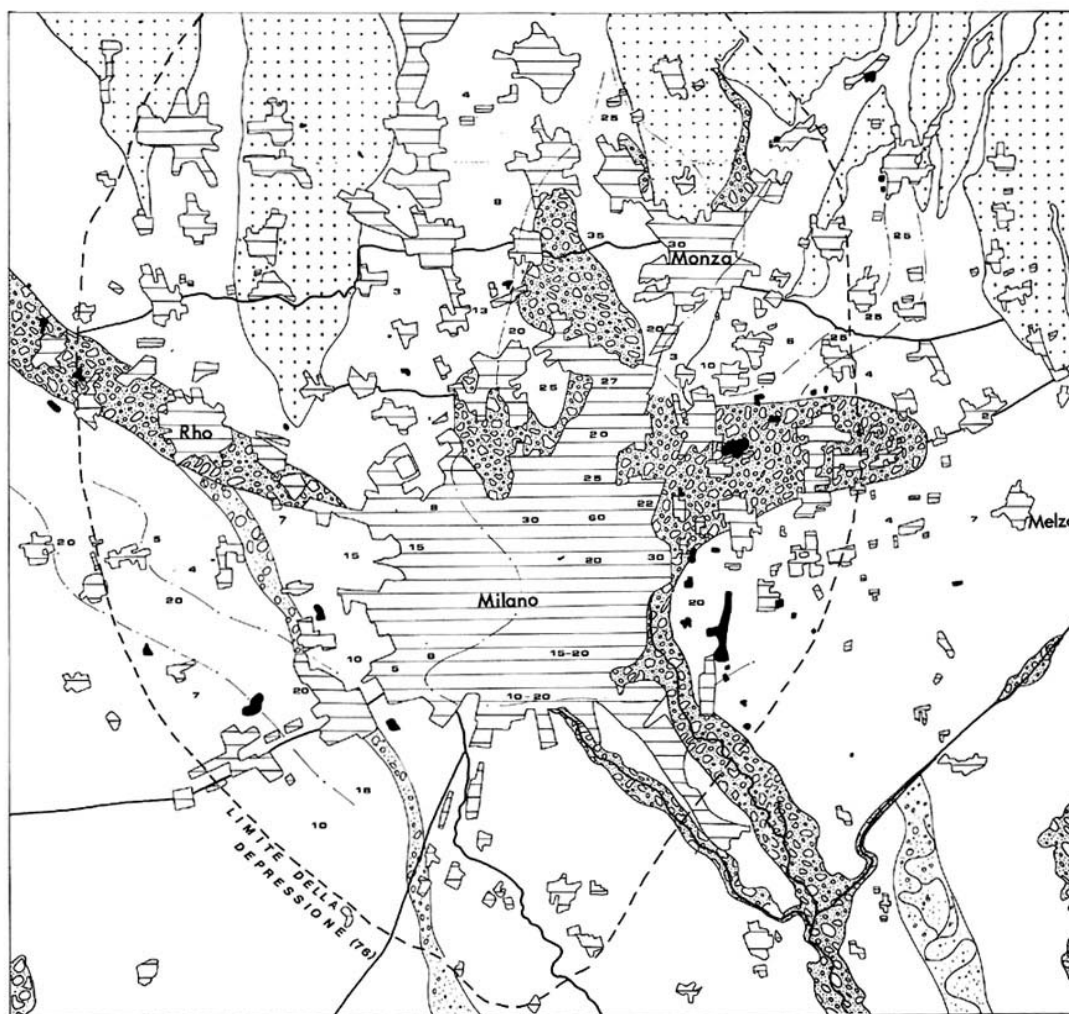


Fig. 3.10 Permeabilità dei terreni superficiali (V.Francani – IRSA CNR 1980)

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).

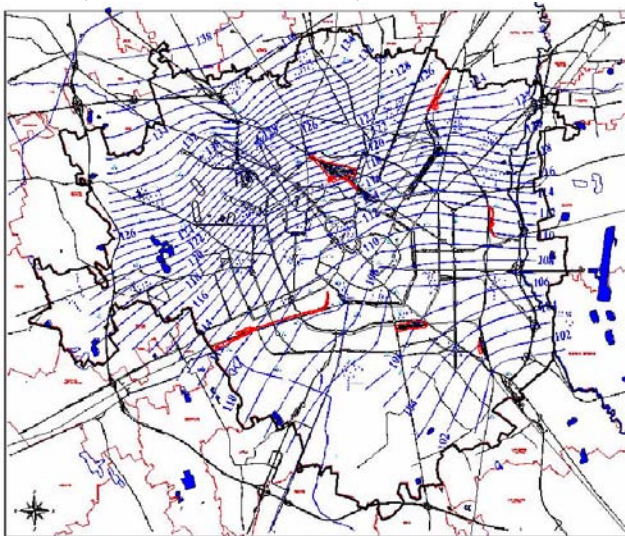


Fig. 3.11 isofreatiche 1954

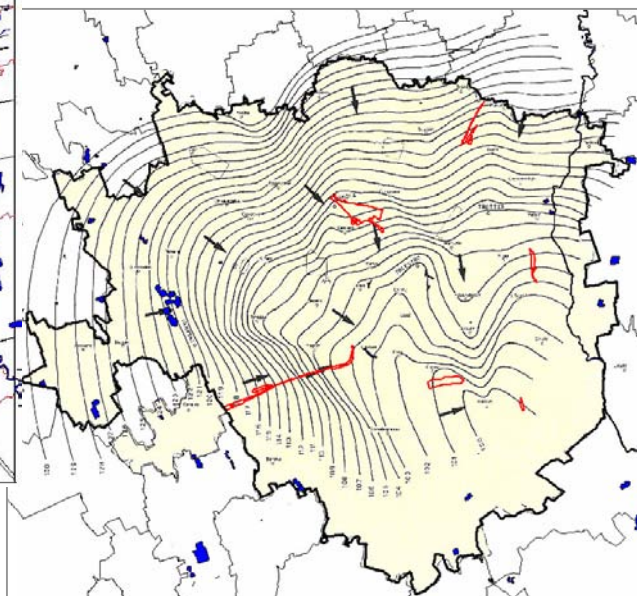


Fig. 3.12 isofreatiche 1960

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.

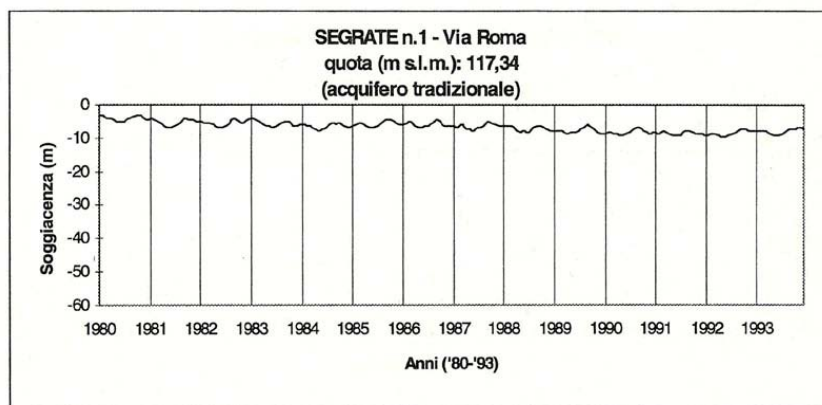


Fig. 3.13 Grafico oscillazioni freatiche a Segrate

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

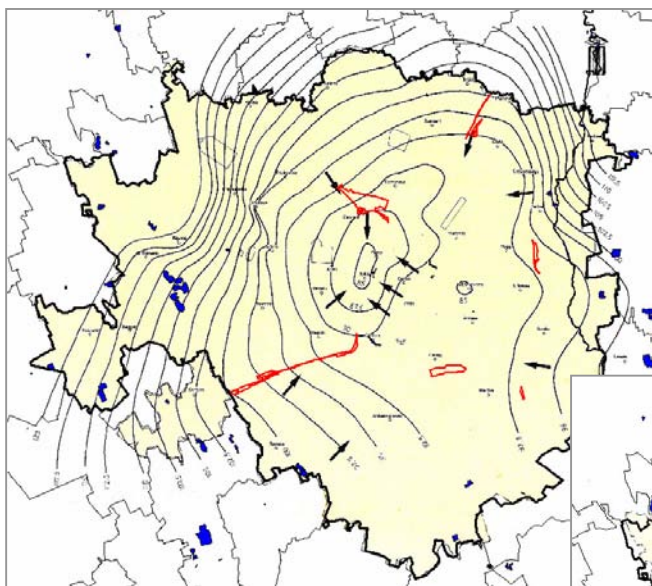


Fig. 3.14 isofreatiche 1975

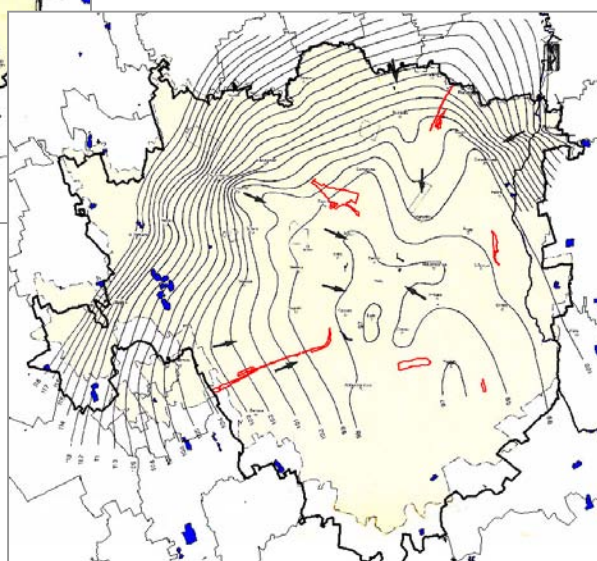


Fig. 3.15 isofreatiche 1989

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.

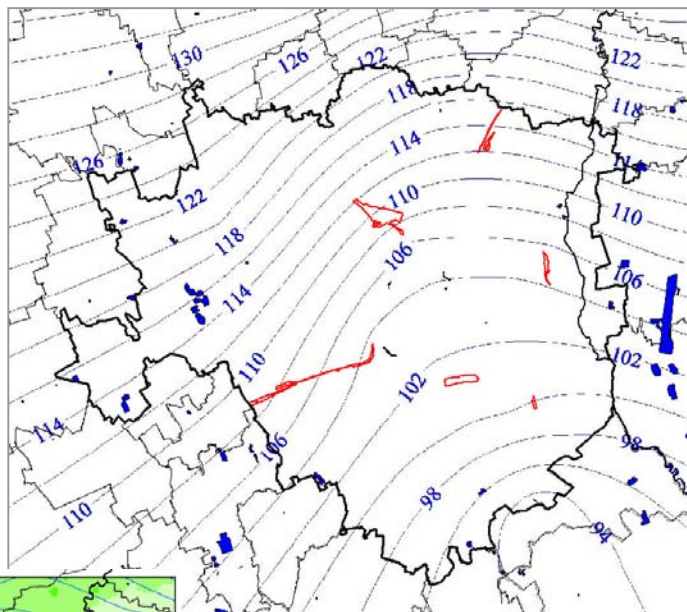
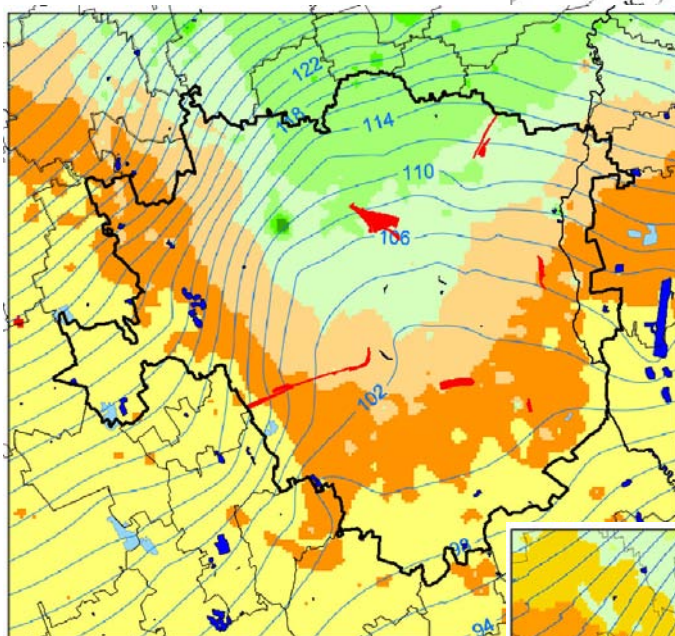


Fig. 3.16 isofreatiche marzo 2001

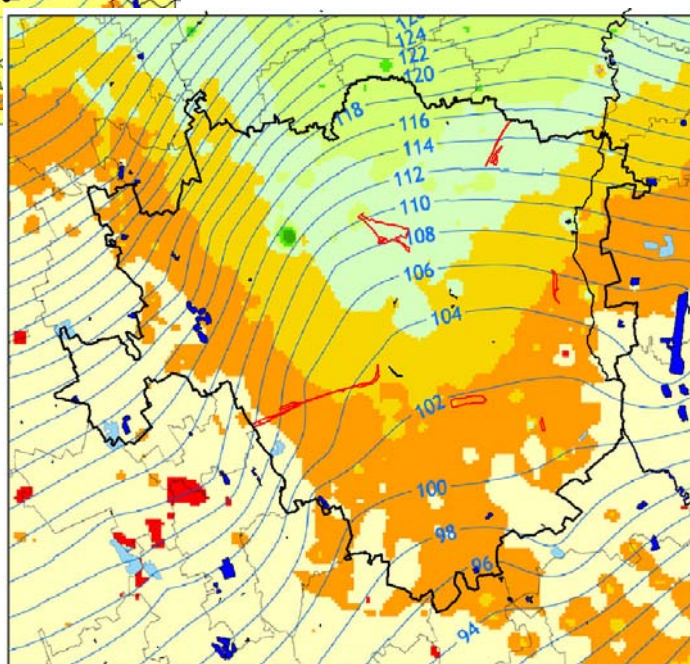
Fig. 3.17 isofreatiche settembre 2008

Fig. 3.18 isofreatiche marzo 2009



Soggiacenza

- Aree con falda sub-affiorante
- 0 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 15 m
- 15 - 20 m
- 20 - 30 m
- 30 - 40 m
- >40 m
- stimata



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.

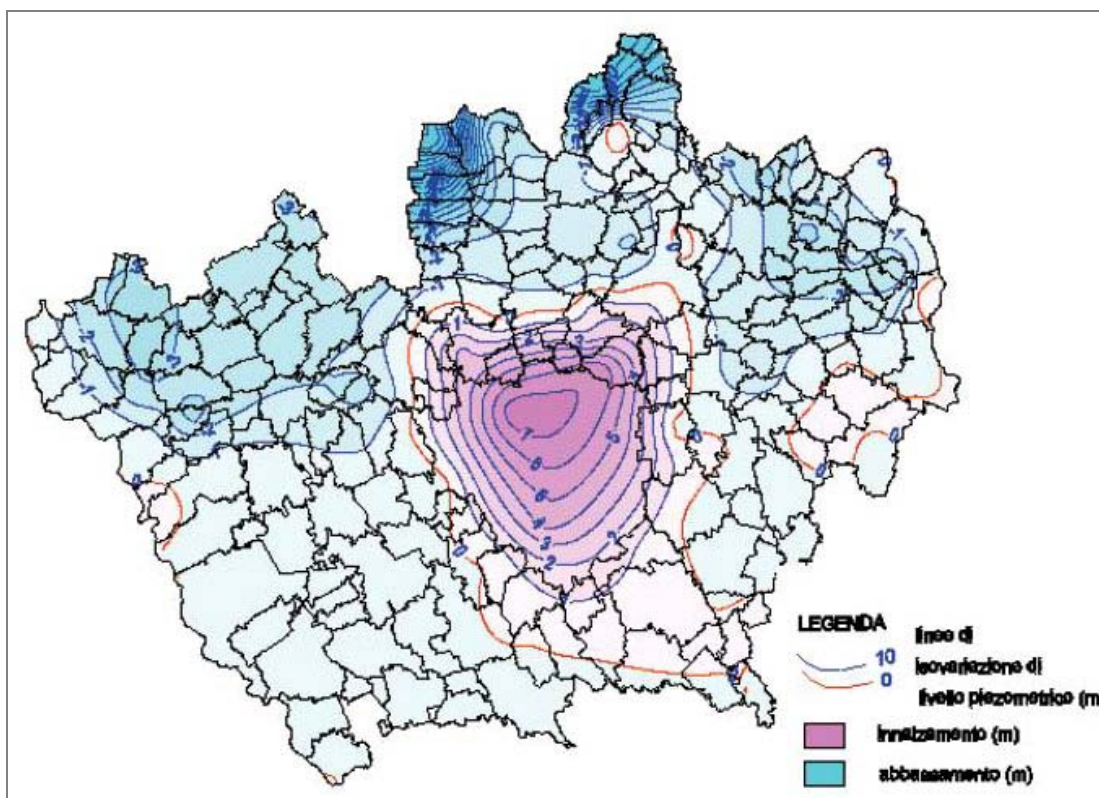


Fig. 3.19 Variazioni della superficie freatica tra 1985 e 1997

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.

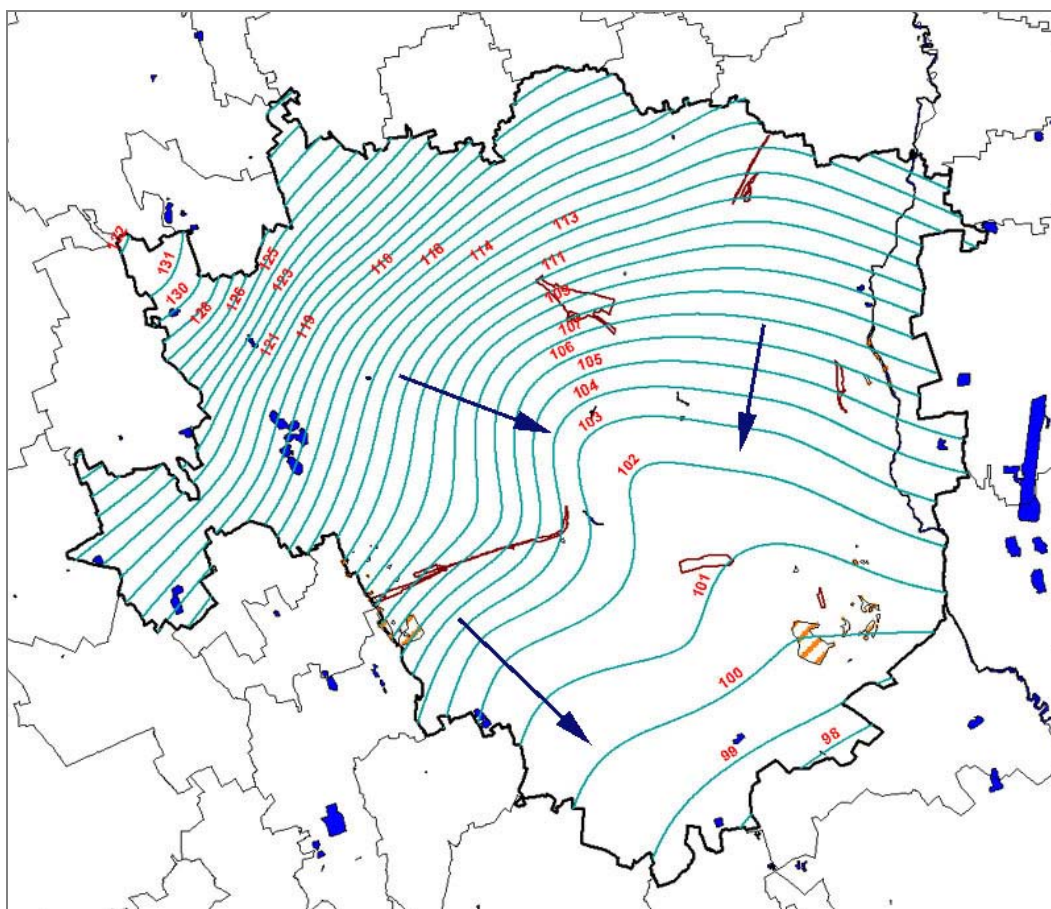


Fig. 3.20 Isopiezometriche marzo 2007 (Comune di Milano)

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).

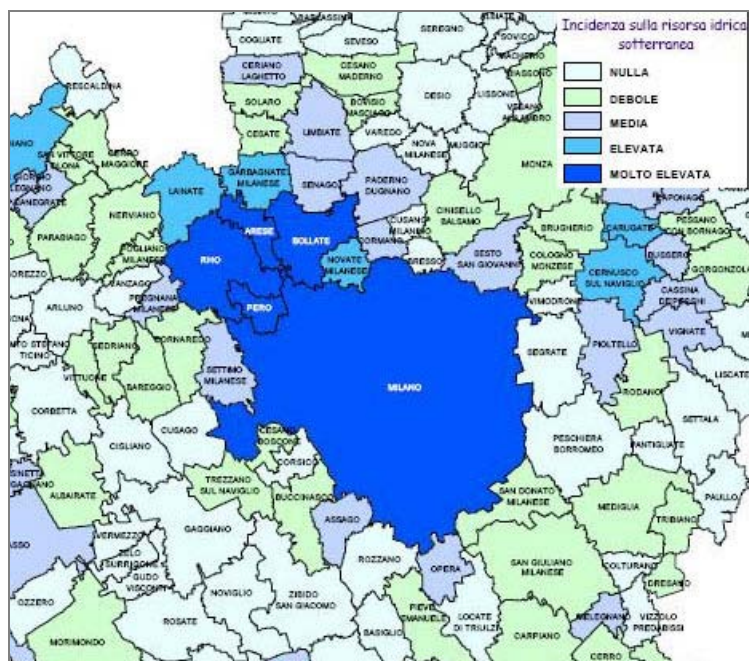


Fig. 3.21 Incidenza dell'inquinamento sulla disponibilità di acque sotterranee (Provincia di Milano)

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

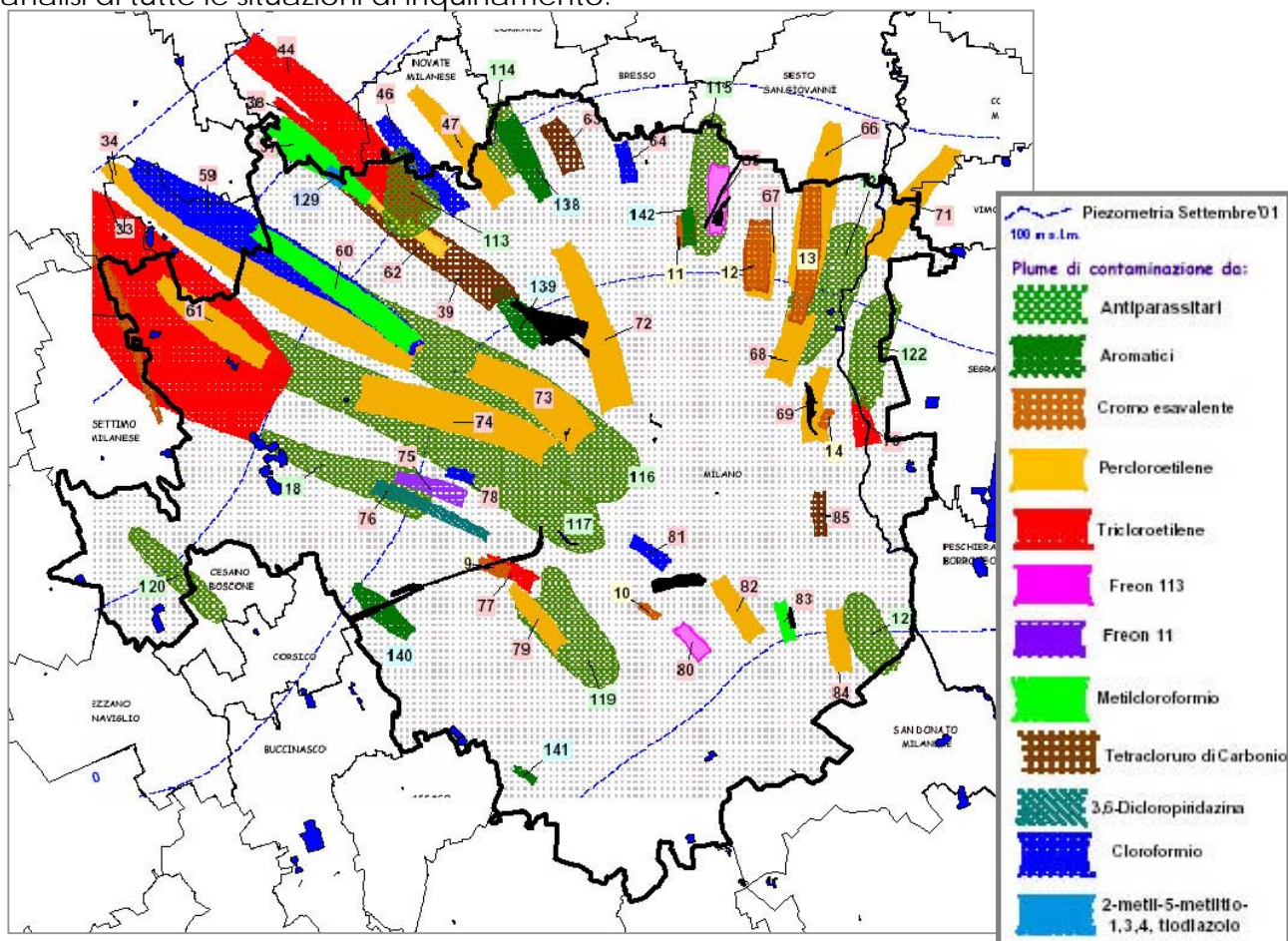


Fig.3.22 Focolai e plume inquinanti a Milano e dintorni nel 2002

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.

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.

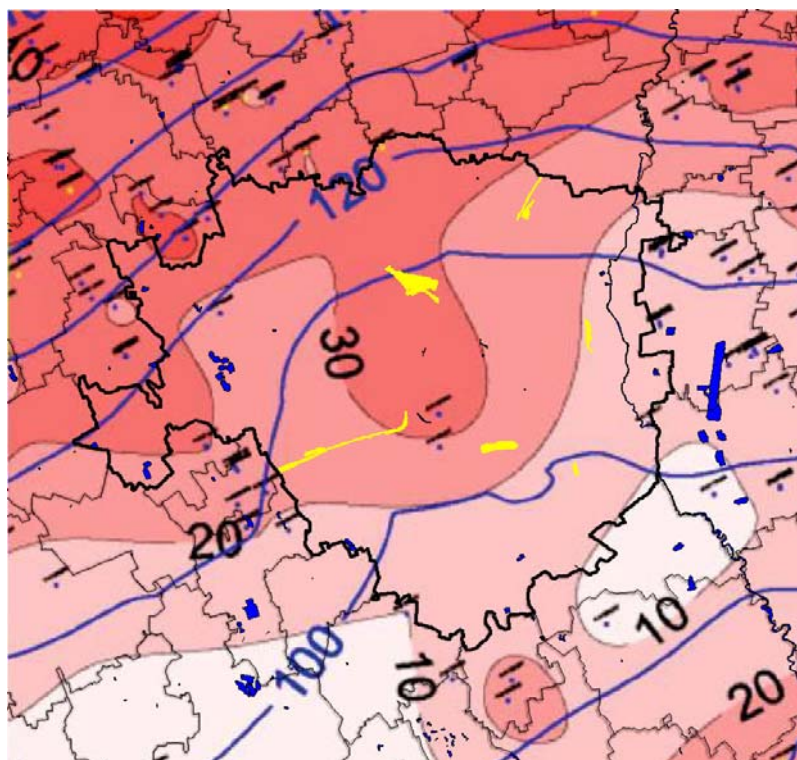


Fig. 3.23 Nitrati in falda in mg/l

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 CaCO_3)

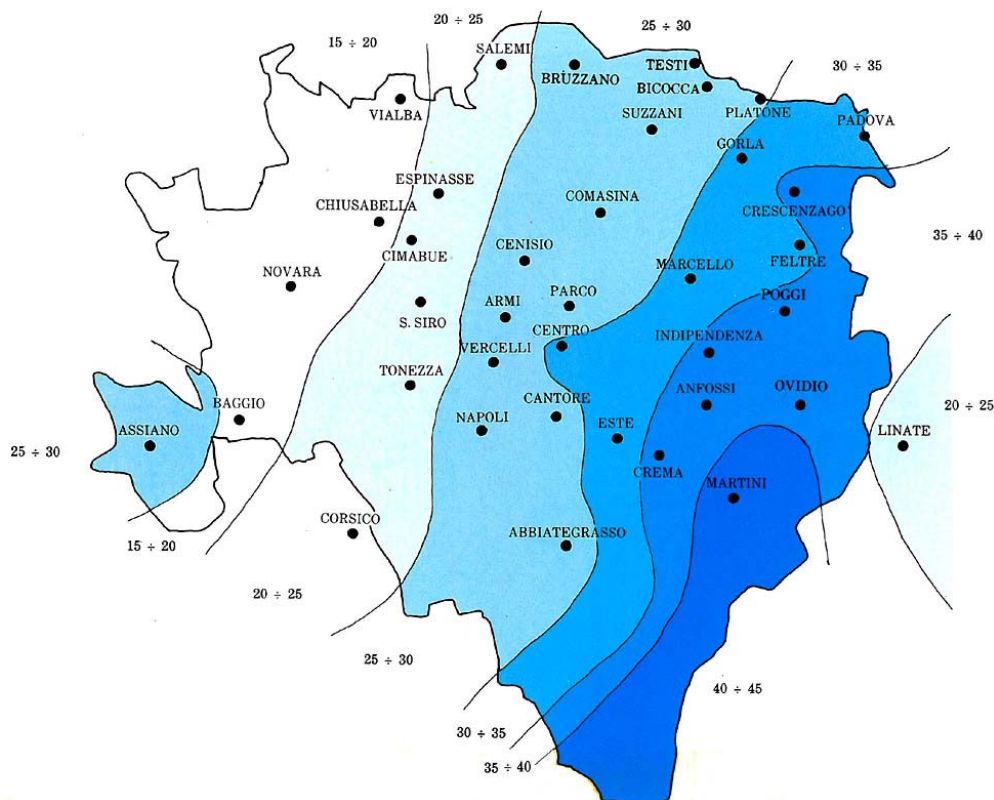


Fig. 3.24 Valori di durezza in ° francesi nelle acque sotterranee di Milano (Airoldi, Casati 1989)

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.

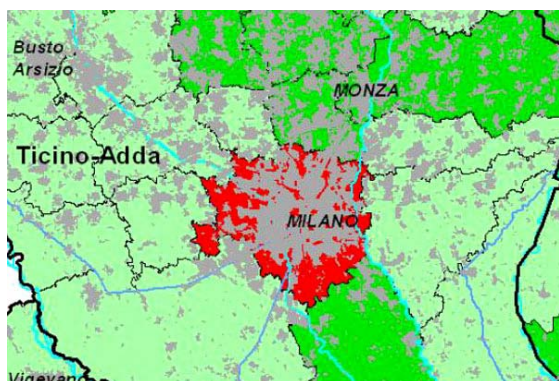


Fig. 3.25

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.

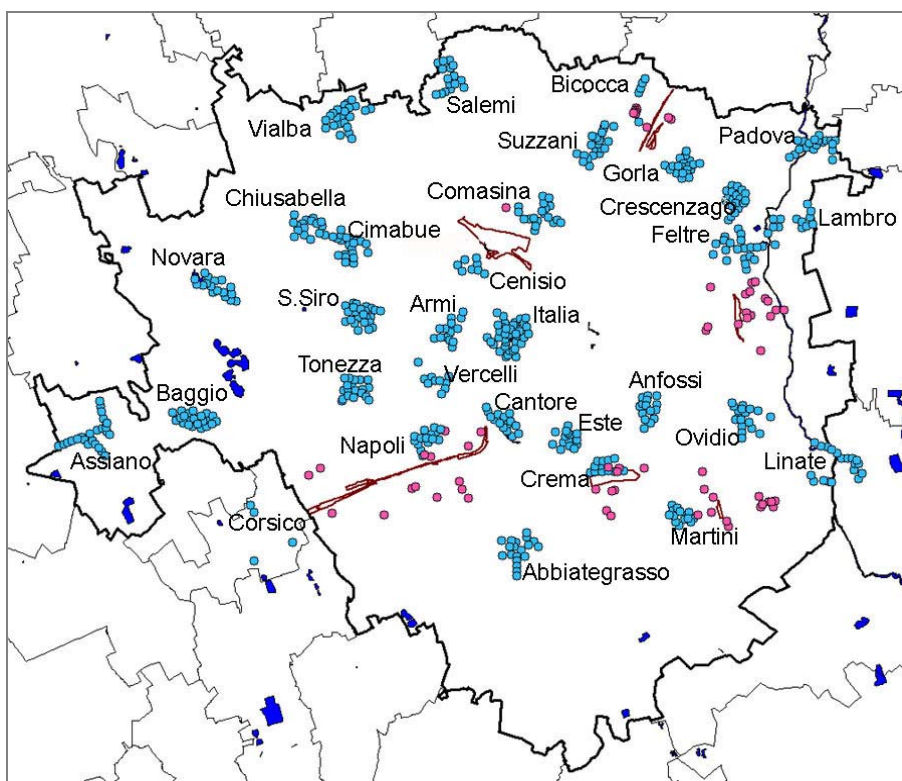
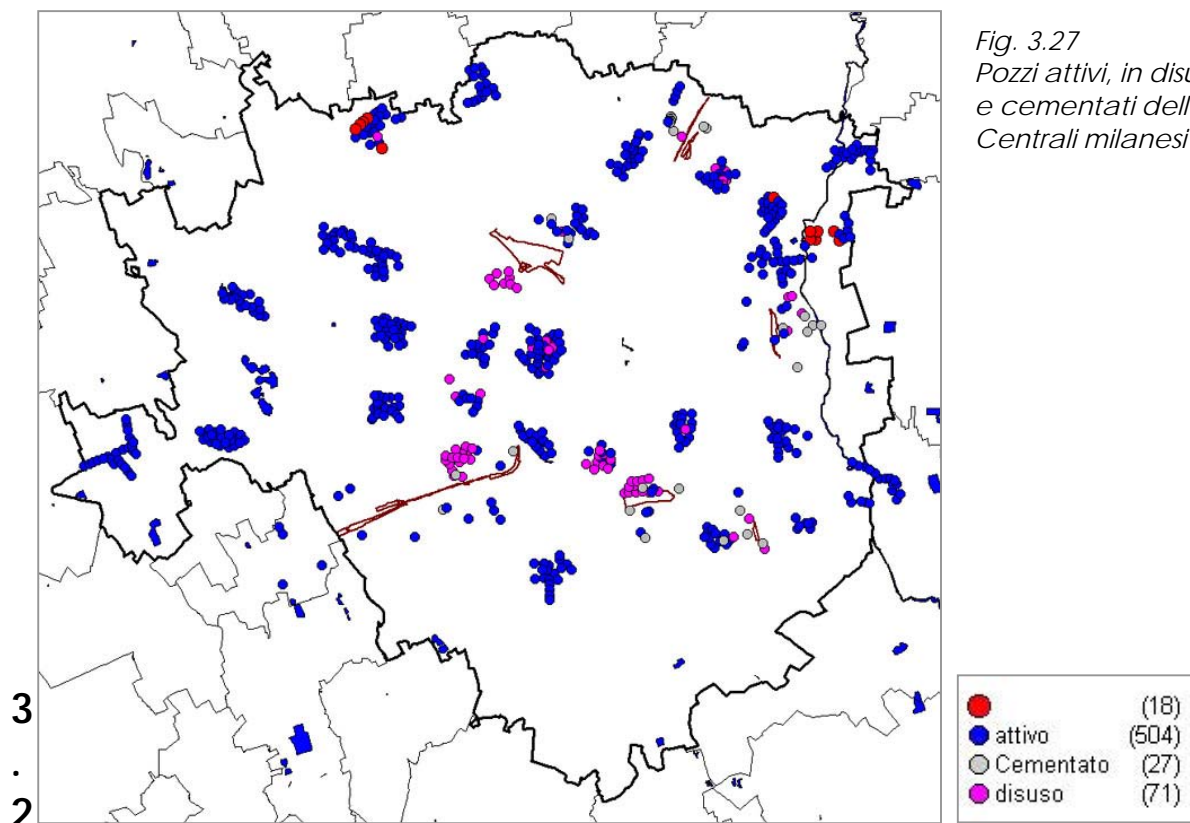


Fig. 3.26

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



3.2 Caratteri e problemi dell'area

Note sulla struttura idrogeologica locale

La struttura idrogeologica del sottosuolo dell'area dello scalo Rogoredo 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 Lambrate, indicato dalla freccia, può essere illustrato dalla sezione O-E 13 e dalla sezione H diretta N-S.

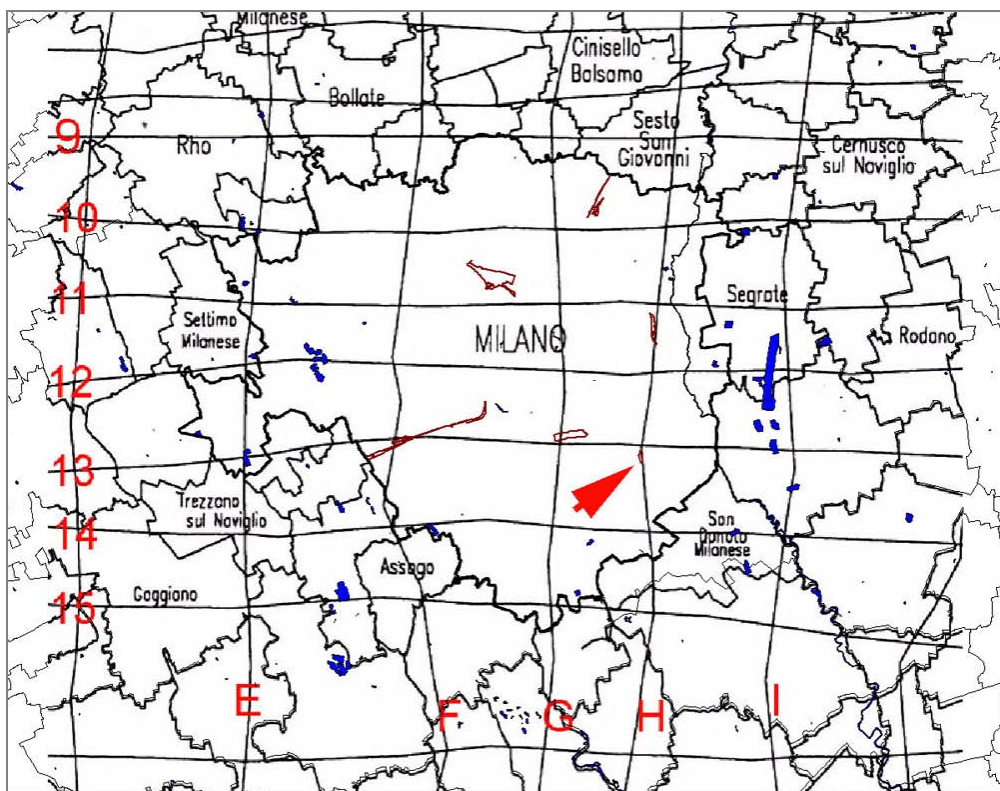


Fig. 3.28
Traccia delle sezioni
idrogeologiche da
"Provincia di Milano 1995"

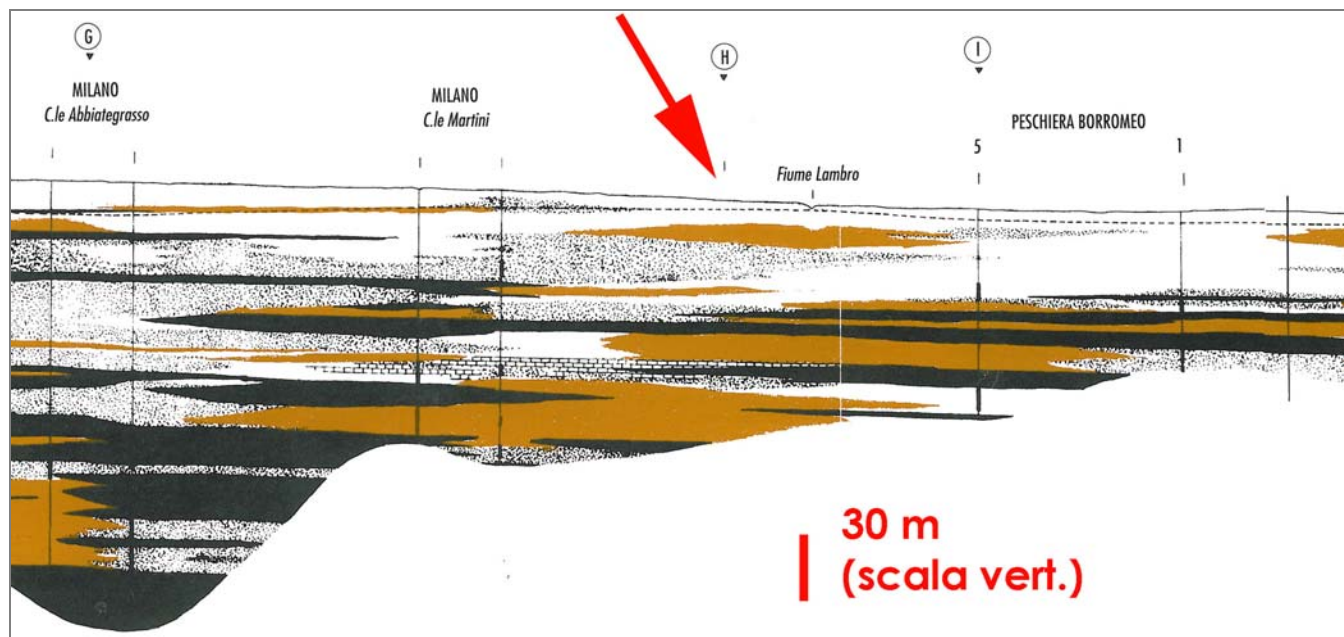
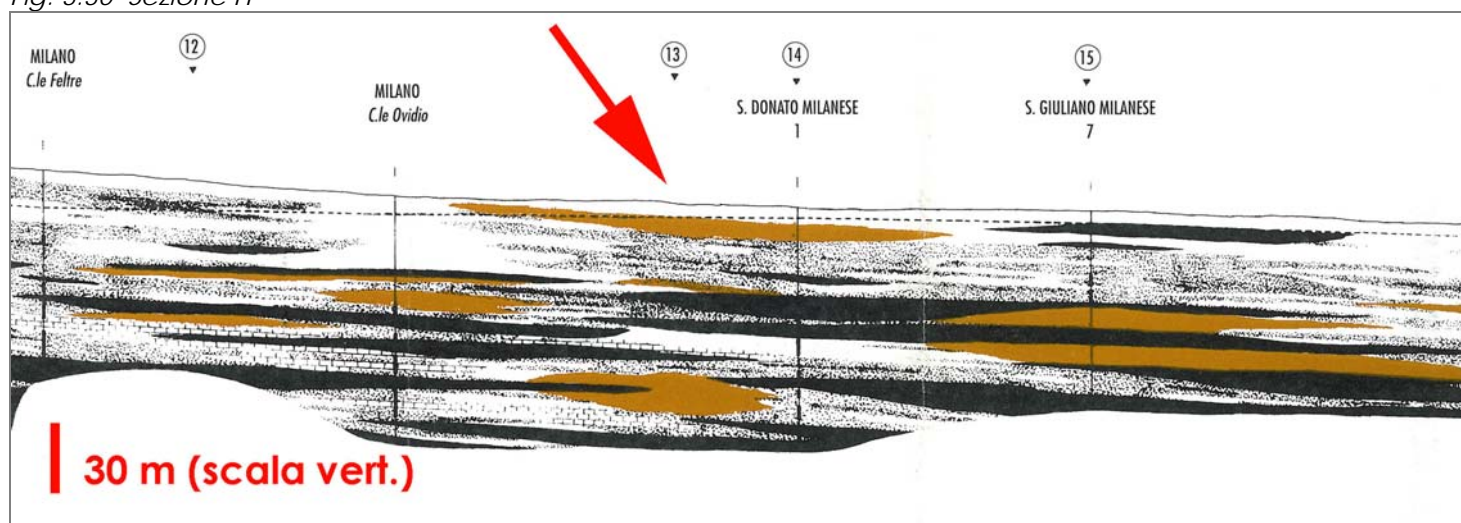


Fig. 3.29 Sezione 13

Fig. 3.30 Sezione H



Dall'analisi delle sezioni che si incrociano in corrispondenza dell'area dello scalo emerge un quadro stratigrafico abbastanza simile alla interpretazione generale dell'area milanese.

Il primo acquifero (sistema acquifero A), parte della litozona ghiaioso sabbiosa, si estende dalla superficie per 30-40 m, ma con la presenza possibile di un orizzonte limo sabbioso di discreta estensione e spessore.

Il secondo acquifero, prevalentemente sabbioso, raggiunge almeno gli 80 m (o più ?) di profondità ed è caratterizzato, stando alle sezioni, da una elevata potenza cumulata degli orizzonti fini o limo-sabbiosi rispetto ai grossolani. Ci si dovrebbe attendere una potenzialità non elevata della falda captabile, ma anche una certa protezione dei livelli relativamente più profondi del secondo acquifero.

La situazione della successione stratigrafica locale è analizzata anche per mezzo dei dati puntiformi rappresentati da stratigrafie di pozzi idrici, alcuni dei quali sono del resto già utilizzati per la redazione delle sezioni idrogeologiche. Nella figura seguente sono rappresentati pozzi privati (viola), soprattutto ad est dell'area e pubblici (blu), una parte dei quali è attiva e rappresentata con le aree di rispetto di 200 m di raggio, definite secondo il Dlgs 152/2006 (Centrale Martini, ad ovest).

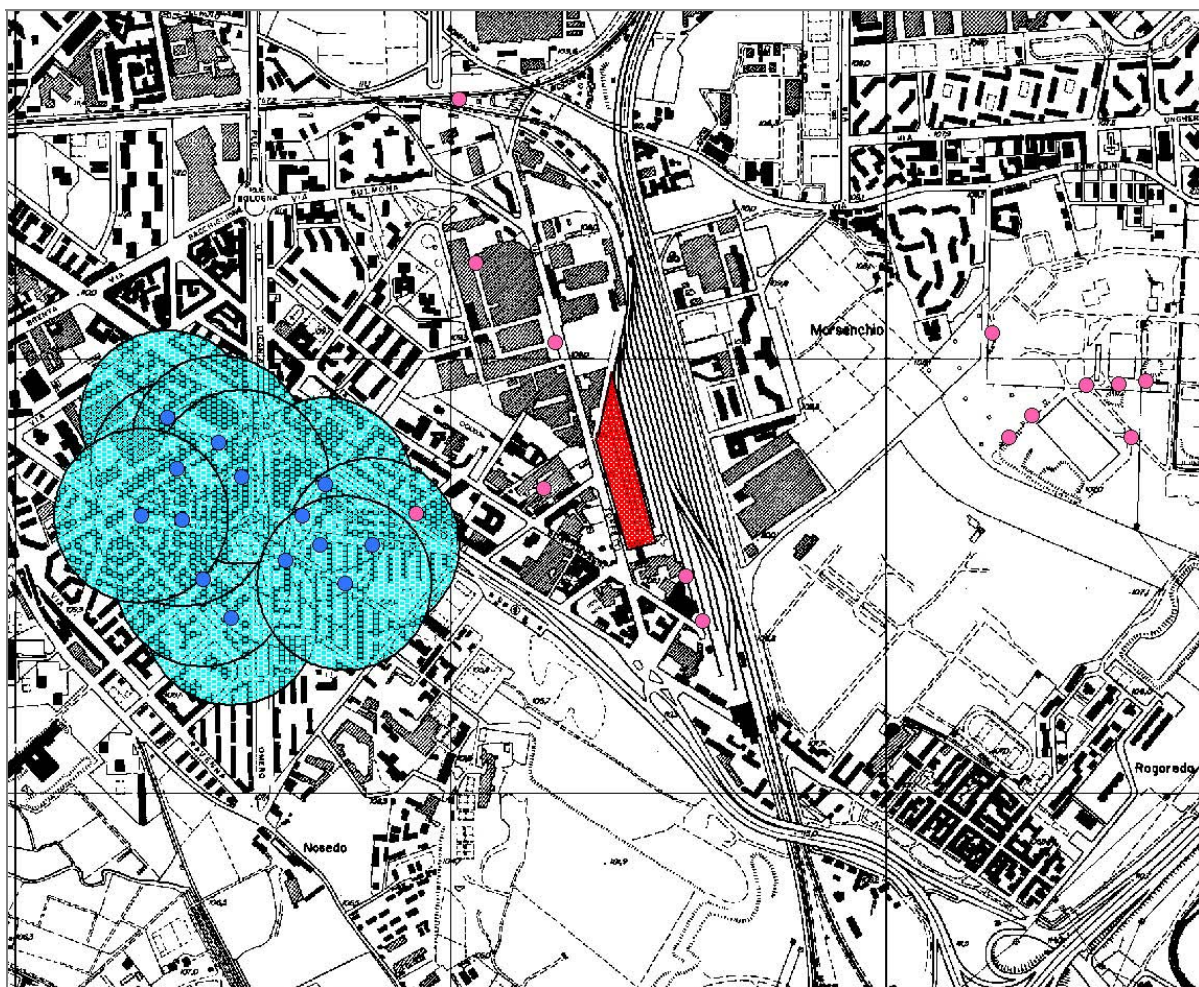


Fig. 3.31 Pozzi pubblici attivi e relative aree di rispetto

La figura successiva rappresenta la situazione dello stato attuale dei pozzi, se cioè attivi, in disuso o cementati, indipendentemente che si tratti di pozzi pubblici o privati. La tabella indica comunque gli elementi caratteristici principali di 3 pozzi collocati relativamente vicino all'area dello scalo, 1 a nord, 1 a sud e uno ad ovest.

codice	indirizzo	profondità m	stato
0151460364	Via Barzoni 11A/22	121,59	attivo
0151460874	Via Boncompagni 101	82	cementato
0151460878	Via Caviglia 3	101	disuso

I pozzi raggiungono la profondità della litozona ghiaioso sabbiosa, a parte quelli della zona industriale ad est dell'area, attestati su modeste profondità.

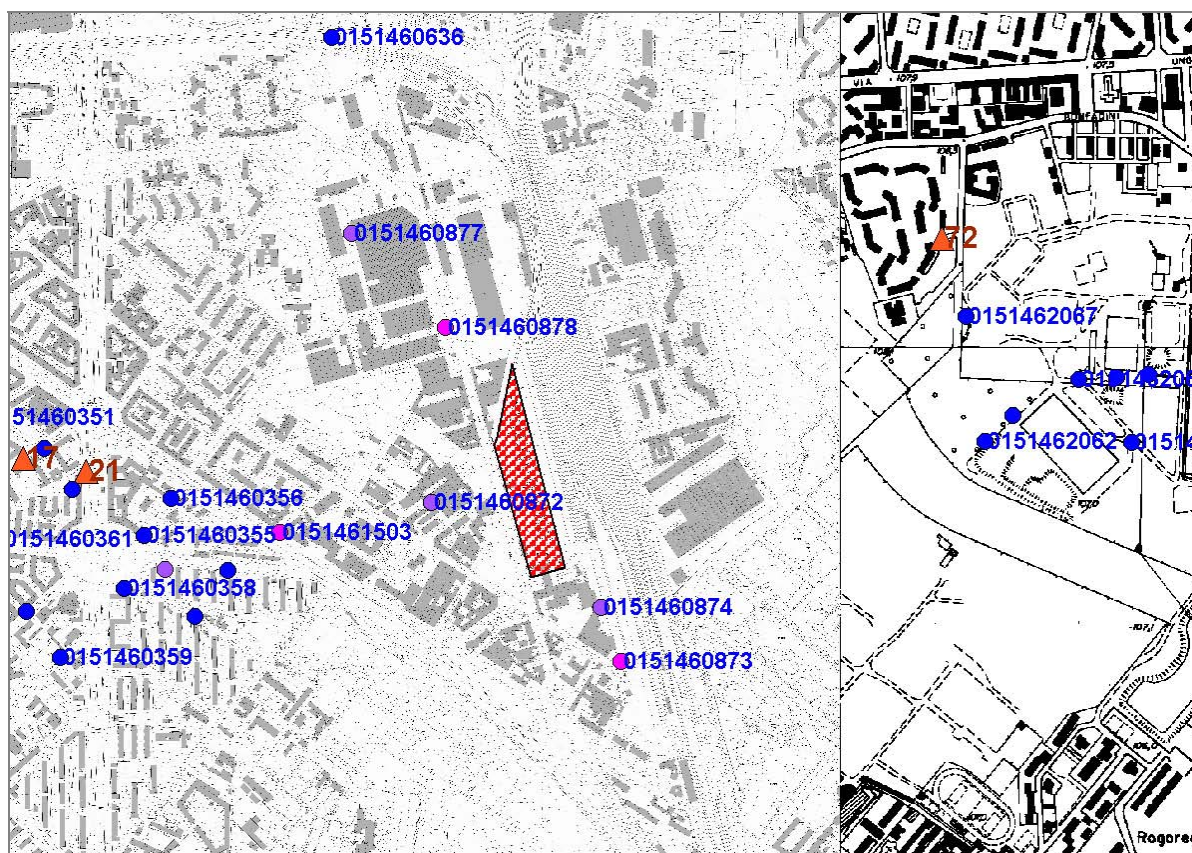


Fig. 3.32 Pozzi pubblici e privati con relativi codici identificativi

La successione degli orizzonti e le sequenze stratigrafiche delle stratigrafie considerate, riportate nel seguito, sono in accordo con il quadro idrogeologico già descritto nella parte generale.

Il pozzo 0151460364, ad ovest dell'area (Centrale Martini) presenta una sequenza di materiali prevalentemente sabbiosi o ghiaioso-sabbiosi fino a circa 45 metri, intercalata da livelli argillosi di 0,5-1 m. La frequenza e lo spessore degli strati argillosi aumenta procedendo in profondità nel secondo acquifero, fino alla base di questo, collocabile a 95 metri circa o a 120 m. Strati poco potenti calcarenitici o conglomeratici sono presenti negli ultimi 20 m di questa parte della sequenza sedimentaria.

La stratigrafia del pozzo privato 874, subito a sud dello scalo, presenta i primi livelli argillosi a 47 m di profondità, dopo una sequenza grossolana di sabbie e ghiaie. I primi filtri sono collocati già in questo intervallo permeabile attribuibile al primo acquifero (da 28 m). Nel secondo acquifero orizzonti sabbiosi si alternano ad altri definiti come argille, anche se probabilmente si deve parlare di limi e argille. L'ultimo livello captato si trova tra 76 e 80 m e la colonna del pozzo si chiude a 82 m senza poter chiarire se si tratta della base della litozona sabbioso-ghiaiosa.

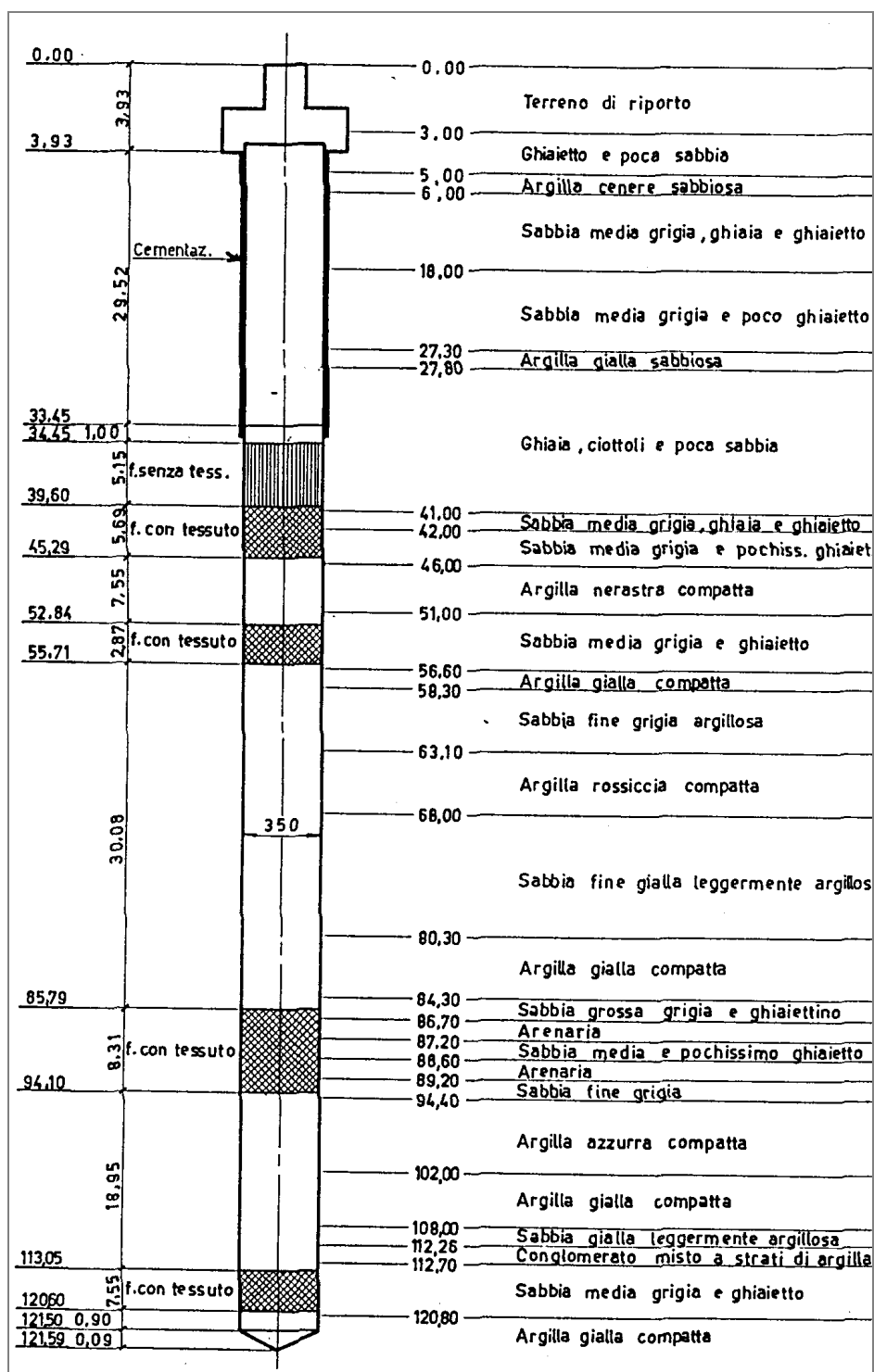


Fig. 3.33 Pozzo 0151460364 Centrale Martini

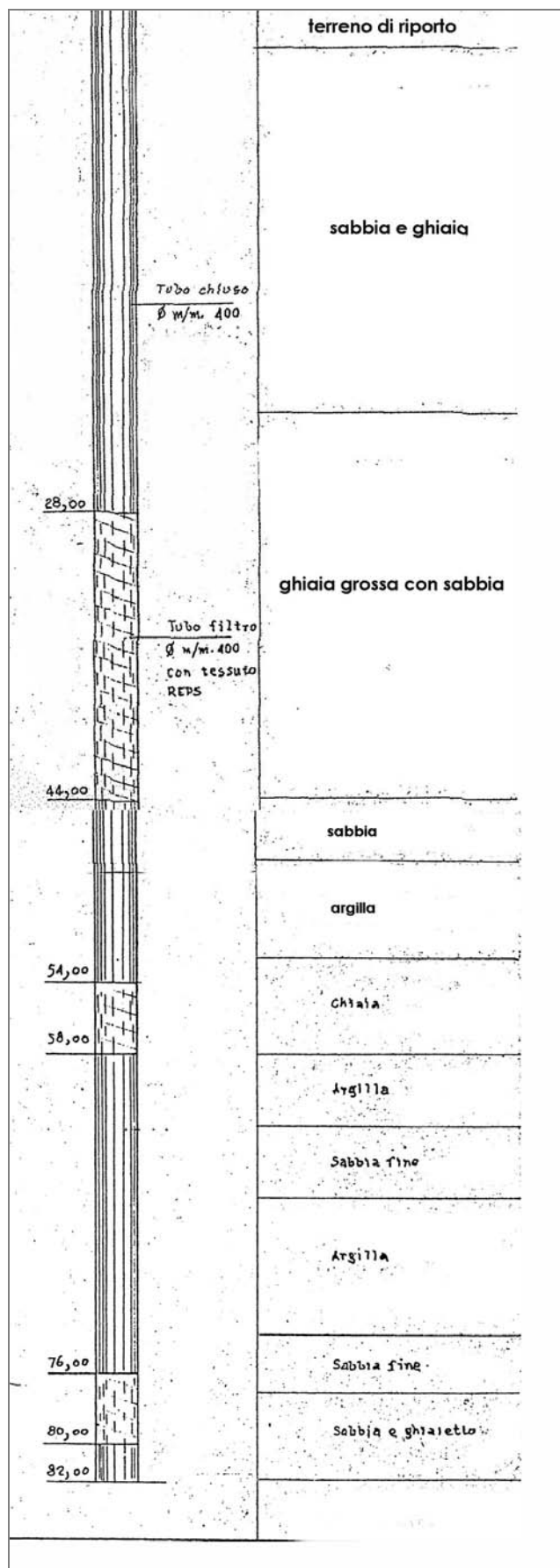


Fig. 3.34 Pozzo 0151460, privato, via Boncompagni

Infine, il pozzo 0151460878, subito a nord dell'area, dispone di una stratigrafia molto dettagliata redatta all'atto della perforazione, nel 1952. A parte alcuni livelletti argillosi intercalati nei primi metri di terreno, la sequenza dei materiali del primo acquifero è prevalentemente ghiaiosa fino a circa 45 m (si veda 364). Qui i livelli argillosi si intercalano a quelli sabbiosi o sabbioso ghiaiosi e possono assumere spessori sensibili, da 2 a 6 metri, con ciò producendo la compartimentazione del secondo acquifero in livelli poco comunicanti tra loro, almeno alla scala locale. Sono presenti, in profondità, anche un livelletto di conglomerato e uno di torba. A 101 m non sembra sia stata ancora raggiunta la base della litozona grossolana.

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.

Nella carta sono riportati anche i pozzi pubblici e privati censiti e i piezometri della rete provinciale di monitoraggio.

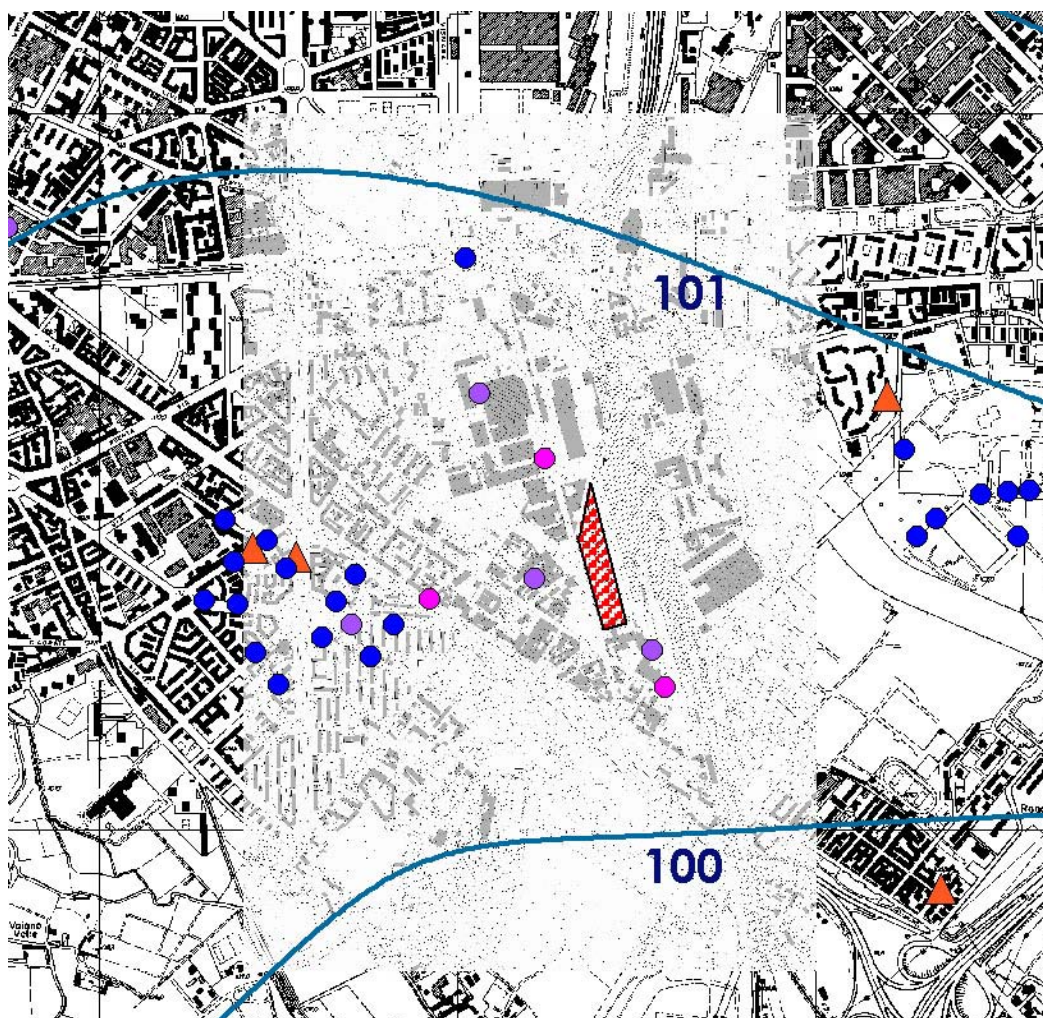


Fig. 3.35 Isopiezometriche 2007 (Politecnico di Milano)

Molto 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.

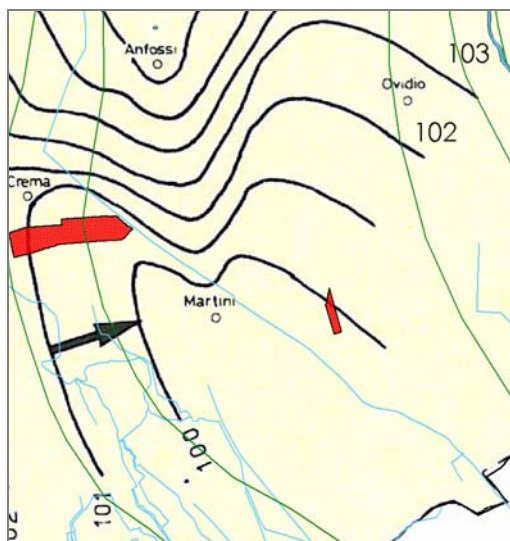


Fig. 3.36 Isopiezometriche 1960

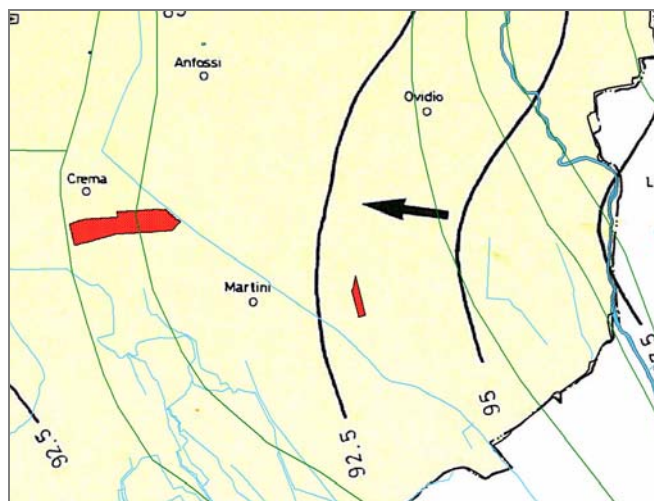


Fig. 3.37 Isopiezometriche 1975

Nell'area del margine sud-orientale del territorio comunale le indicazioni ottenute sulla base dei dati puntuali appaiono piuttosto anomale e forse non completamente realistiche. L'andamento delle isofreatiche nel 1960 mostra un forte richiamo operato dai pozzi della Centrale Martini e una quota di poco inferiore a quella registrata nel 2007. Naturalmente si deve tenere presente che differenze dell'ordine di 1-2 metri nelle misure riportate dalle carte possono benissimo giustificarsi con le eventuali differenze della data di rilevazione.

Nella carta del 1975 il flusso idrico sembra diretto verso ovest e verso il centro, segnalando un fenomeno di forte convergenza causata dal massimo emungimento urbano. La profondità del livello idrico è circa 7 m inferiore a quella del '60; un valore sensibile, ma inferiore a quello (doppio) di molte altre parti della città tra '60 e '75.

Evidentemente questa area ha risentito in minore misura del cono depressivo urbano e i livelli idrici sono tornati quelli del '60.

Riportati nelle stratigrafie dei pozzi vi sono peraltro molte indicazioni di livelli statici e dinamici ed altre interessanti informazioni sulle portate ordinarie e le portate per metro di abbassamento.

Si tratta tuttavia di informazioni prevalentemente rese in forma di appunti, non sempre sicuramente collegabili ad una data ed utilizzabili solo con una ricerca dettagliata su più punti.

La soggiacenza, cioè la distanza del pelo libero della falda freatica, e le sue oscillazioni nel tempo, sia pluriennale che infrannuale, è un carattere di notevole importanza per valutare sia la fattibilità tecnica di un intervento di trasformazione, sia i rischi a cui la stessa integrità quali-quantitativa della falda viene sottoposta.

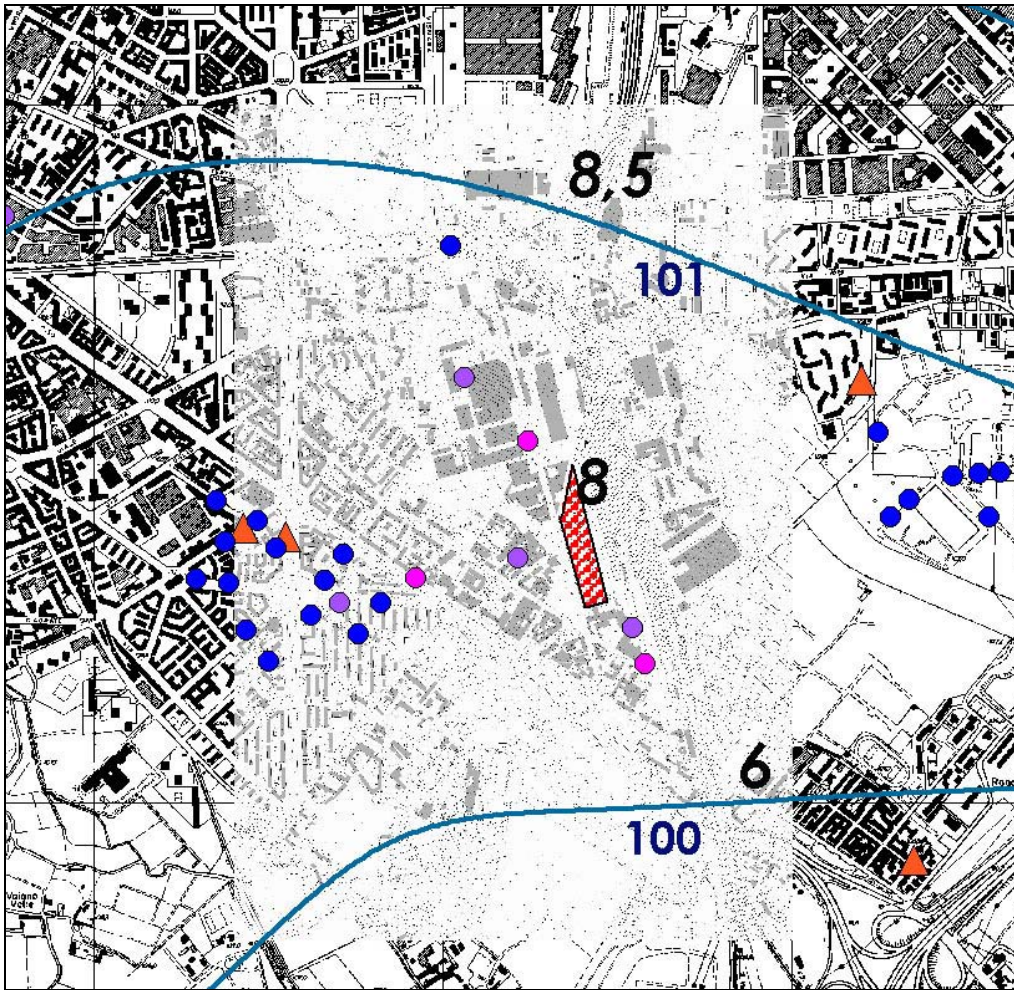


Fig. 3.38 Isopiezometriche 3/2007 e valori della soggiacenza calcolati (nero)

La figura precedente riporta la carta delle isopiezometriche rappresentata in precedenza. Inoltre, utilizzando la base C.T. quotata, si sono indicativamente riportati alcuni valori puntuali rappresentativi della soggiacenza locale della falda al momento del rilievo del marzo 2007.

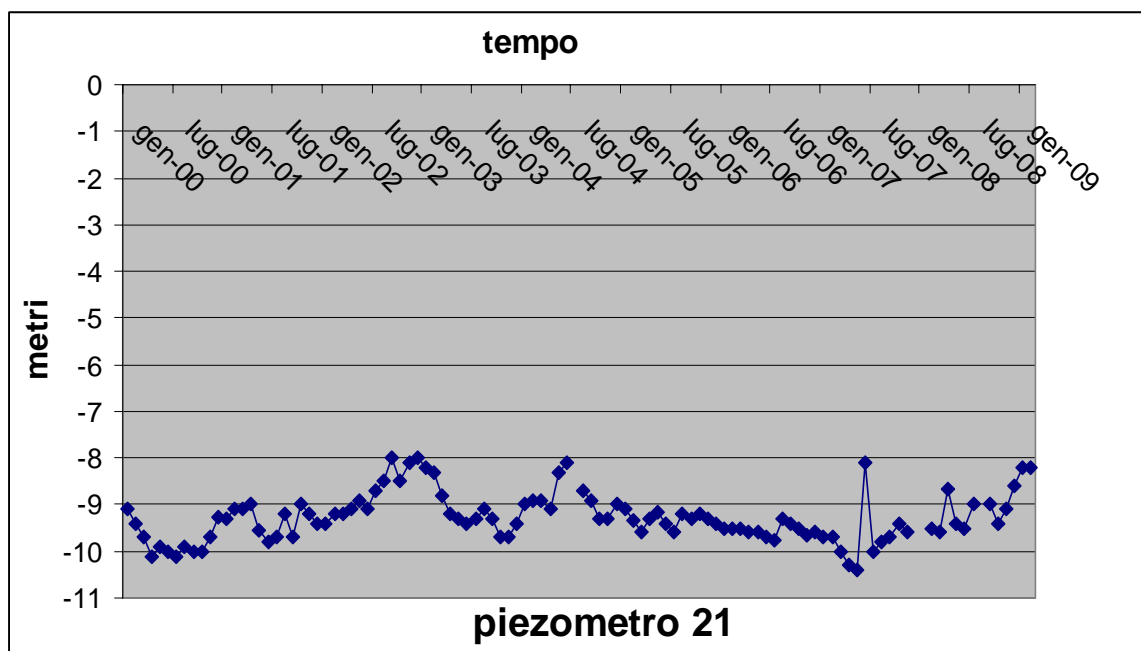
La profondità rilevabile nella elaborazione sopra rappresentata varia da 6 a 9 metri nell'area e si attesta attorno ad 8 m metri dal piano campagna nella zona scalo. Tuttavia occorre tenere presente che tra il marzo 2007 e il febbraio 2009 il livello freatico ha subito variazioni significative, in genere con un incremento di circa 1 metro. Nel caso specifico, i dati rilevati nei piezometri della rete di controllo provinciale posti attorno all'area considerata, offrono indicazioni molto contraddittorie, con incrementi di quota compresi tra 1,4 e 3,65 m e leggeri decrementi, in un solo caso.

Valori medi plausibili alla data odierna sono dunque quelli indicati in viola nella carta successiva.

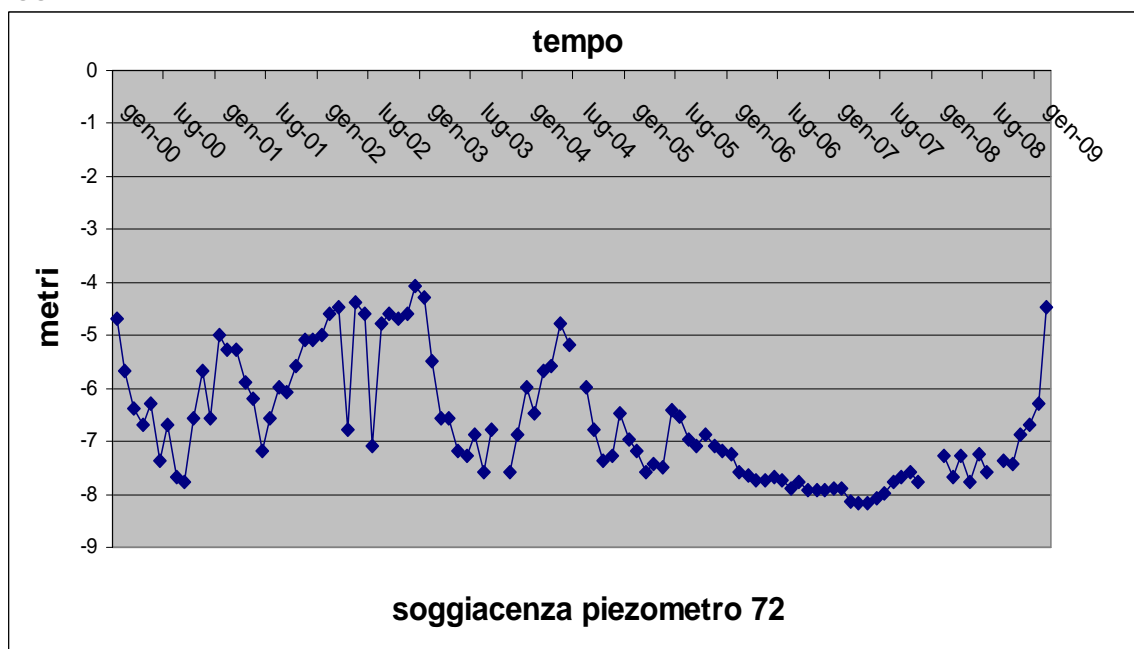
Tuttavia, per l'esame della situazione recente della soggiacenza in dettaglio e delle oscillazioni interannuali si possono consultare anche i dati rilevati mensilmente dalla rete SIF provinciale. Per questo motivi sono riportati i grafici dei piezometri 21 e 72, rispettivamente collocati a 800 m circa ad ovest dell'area dello scalo e a 900 m a nord est dello stesso.

Le profondità segnalate al piezometro 21 sono comprese tra 8 e 10 m, con tendenza alla risalita verso questo valore nel corso degli ultimi 2 anni e valori finali a 8,2 m di

soggiacenza. I rilievi, invece, del piezometro 72, risultano instabili fino al 2005 e si stabilizzano successivamente, ma con un ulteriore picco poco plausibile nella ultima rilevazione effettuata (4,5 metri al febbraio 2009). Naturalmente è possibile che questi punti di controllo non siano indipendenti dal regime dei prelievi delle centrali di pompaggio dell'acquedotto o da altri emungimenti ed anche da possibili fonti di reintroduzione di acqua in falda.



Figg. 3.39-40 Oscillazioni freatiche ai piezometri 21 e 72



La carta successiva sintetizza questi valori di soggiacenza, ricavati da calcoli da carta (in nero), da calcoli corretti (in viola) e da misure ai piezometri (rosso scuro).

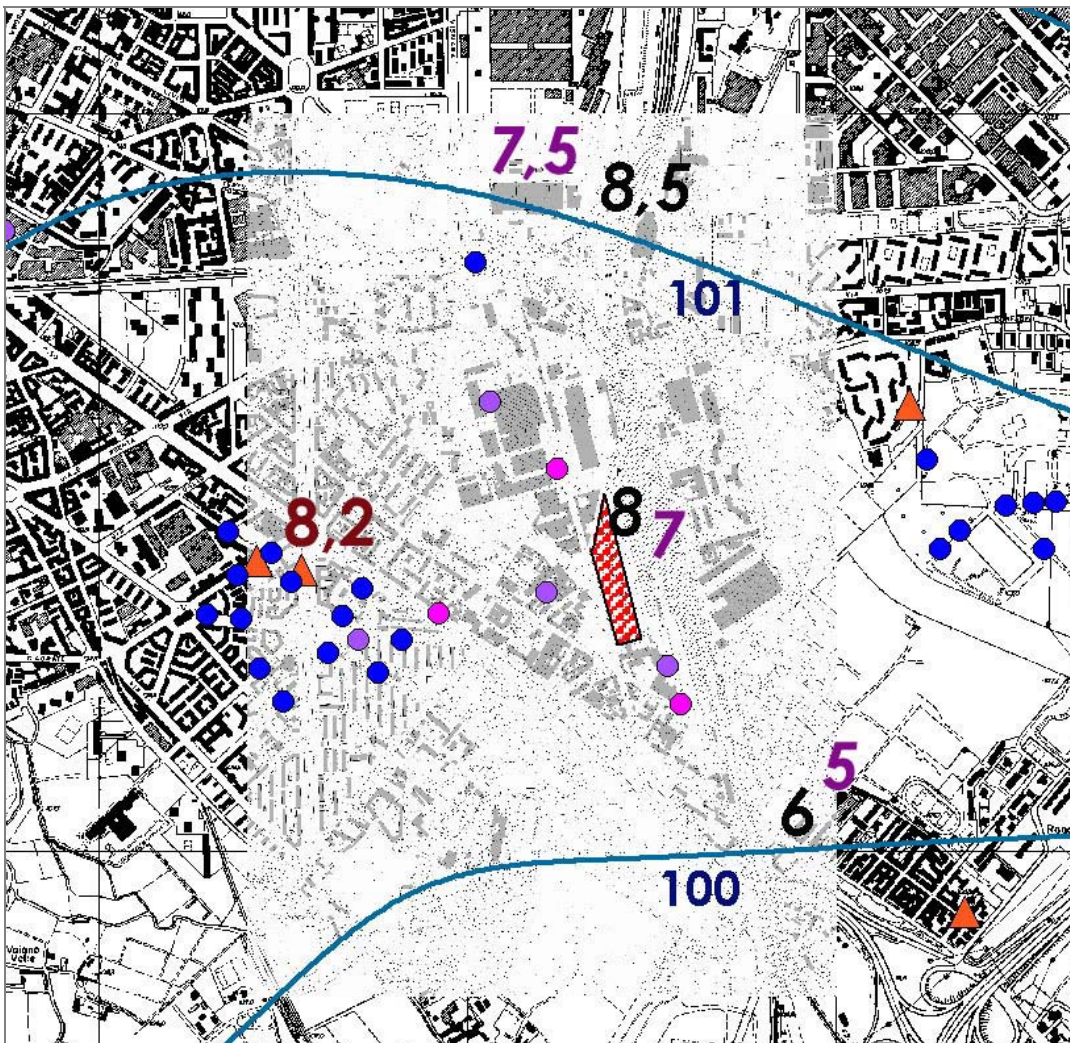


Fig. 3.41 Valori di soggiungenza al 2007 (in nero) e corretta al 2009 (in viola)

3.2.3 Elementi di valutazione della 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 tra 3-4 e 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, ha relativa importanza la conoscenza degli altri 0-15 m di materiali ghiaiosi naturali insaturi sottostanti, fino alla falda naturale. Sono infatti molto rari, e comunque sottili e discontinui i livelli di materiali fini rinvenibili a piccole profondità, al di sopra del livello freatico.

L'insaturo naturale non rappresenta una barriera significativa alla idrovelicolazione 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 variabili tra 2 e 6 metri, rimane uno spessore veramente limitato (2-4 metri circa) di materiali insaturi naturali a difesa della falda qui rinvenibile a profondità inferiori a 10 m.

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 possibile solo dove gli apporti meteorici non siano drenati dalla rete fognaria e sottratti alla infiltrazione.

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 (vulnerabilità intrinseca). 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.

In zona, considerando soprattutto i dati dei pozzi della Centrale Martini, i valori di portata specifica sembrano attestarsi tra 15 e 25 l/s x m, con significative eccezioni sia al ribasso, che al rialzo.

Si tratta comunque di valori elevati che abbinati alla assai modesta soggiacenza devono far ritenere la vulnerabilità intrinseca (infiltrabilità dell'insaturo e potenziale elevato di trasferimento e dispersione in falda) come molto elevata.