



**Provincia di Milano
Assessorato All'Ambiente**

***Valutazioni
sull'innalzamento della
falda nella città di Milano
nei primi anni '90***

Ottobre 1996

a cura del Settore Ecologia - U.O. Tecnica Progetti Speciali

Valutazioni sull'innalzamento della falda nella città di Milano nei primi anni '90

Raffaelli L.¹, Raimondi P.¹, Rosti G.²

*Relazione presentata al Convegno
"Protezione e recupero delle acque sotterranee e dei terreni contaminati"
3 Ottobre 1996 - Geofluid, Piacenza.*

Ciclostilato in proprio dalla Provincia di Milano, Milano - Ottobre 1996

¹ *Geologo. Collaboratore esterno Provincia di Milano*

² *Geologo. Dirigente Provincia di Milano*

RIASSUNTO *La città di Milano è da tempo caratterizzata dalle problematiche tipiche delle grandi aree urbane, legate ai diffusi fenomeni di inquinamento e progressivo depauperamento delle risorse idriche sotterranee. Un elemento di novità si è venuto a creare negli ultimi anni in cui si sta assistendo ad un progressivo innalzamento della superficie piezometrica che sta creando gravi problemi alle grandi infrastrutture sotterranee. Lo stesso innalzamento piezometrico può inoltre comportare anche rilevanti fenomeni di dilavamento e mobilizzazione di inquinanti eventualmente presenti nelle porzioni di terreno in condizioni prima insature. L'obiettivo del presente lavoro è quindi di evidenziare e dare una prima quantificazione di questo fenomeno grazie anche all'utilizzo di molti dati che vengono pubblicati per la prima volta, cercando nel contempo di individuare i possibili rimedi al problema.*

1. INTRODUZIONE

La situazione idrogeologica della città di Milano negli ultimi decenni è stata caratterizzata da problematiche che hanno riguardato essenzialmente la necessità di assicurare un approvvigionamento che sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo risultasse consona al fabbisogno della popolazione e delle attività produttive.

Molto spesso questa esigenza ha condotto al sovrasfruttamento degli acquiferi naturalmente più protetti (seconda falda) ed un progressivo abbandono della prima falda non più idonea per l'approvvigionamento idropotabile.

La situazione che si è venuta a determinare è quindi data da un ingente prelievo di tipo industriale in prima falda e un sovrasfruttamento della seconda falda ad opera dei concentrati prelievi ad uso potabile. Conseguenza di ciò è stato un sempre maggiore depauperamento dell'acquifero "tradizionale", evidenziato da una tendenza all'abbassamento dei livelli piezometrici delle falde.

A partire dai primi anni novanta si è cominciato invece ad assistere, in corrispondenza del capoluogo, ad un costante ed ingente innalzamento dei livelli piezometrici, fenomeno che si è verificato con particolare evidenza per la prima falda.

Tale tendenza determina oggi gravi disagi, dovuti alla sempre più frequente interferenza delle acque di falda con le strutture sotterranee presenti (parcheggi, linee metropolitane, sottopassi, scantinati, etc.), la maggior parte delle quali, non essendo state progettate per affrontare questo tipo di situazione (molte volte soprattutto per l'assenza in fase di progettazione di studi di tipo idrogeologico), sono soggette a periodici o costanti fenomeni di allagamento che ne determinano l'inutilizzo o richiedono complessi interventi tecnico progettuali quali l'impermeabilizzazione delle strutture o l'abbattimento artificiale del livello della superficie piezometrica. Tali interventi oltre a risultare estremamente onerosi determinano come conseguenza uno spreco delle risorse idriche sotterranee.

Seppur nella consapevolezza della molteplicità dei fattori che concorrono alla determinazione di un tale fenomeno e quindi della conseguente difficoltà di interpretazione, si è cercato di produrre una prima quantificazione degli eventi in atto e attraverso l'analisi dei vari elementi che concorrono al bilancio idrico sotterraneo si è abbozzata una prima ipotesi riguardo le cause che lo determinano. Da ultimo si è passati alla individuazione delle ipotesi di intervento atte a risolvere, o perlomeno ridurre, il problema medesimo.

Nel presente lavoro per definire il fenomeno di innalzamento della falda sono stati utilizzati i dati disponibili nel Sistema Informativo Falda, nonché i dati gentilmente forniti dal Settore Acquedotto e dal Settore Fognature del Comune di Milano, dalla società MM Infrastrutture del territorio S.p.A., dal Consorzio Acqua Potabile e dal Consorzio Villorosi.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio interessa tutto il territorio del capoluogo lombardo con una superficie pari a 182 km².

Essa è caratterizzata dai tipici elementi di un'area metropolitana densamente urbanizzata con una elevata concentrazione di abitanti (circa 1.400.000). La presenza industriale sul territorio comunale di Milano è attualmente abbastanza limitata rispetto agli anni '70 a seguito della dismissione e/o rilocalizzazione di molte attività.

Gli elementi idrogeologici caratteristici dell'area sui quali è stata impostata la ricerca possono essere così riassunti:

- acquiferi costituiti dai depositi fluvioglaciali di natura essenzialmente ghiaioso-sabbiosa del Pleistocene superiore (Wurm Auct.) che sono dotati di un'ottima produttività idraulica e sostanzialmente non ha mai creato problemi quantitativi per l'approvvigionamento idrico sia pubblico che privato;
- presenza di oltre 900 pozzi, di cui circa 600 pubblici e circa 300 privati con tratte filtranti ubicate a differenti profondità. Di questi, molti risultano disattivati sia per problemi di contaminazione sia per dismissione delle attività industriali;
- elevato prelievo di acque sotterranee, pari a circa 13 m³/s, concentrato in centrali di pompaggio tutte collocate all'interno dei confini comunali o comunque nelle immediate vicinanze.

3. STRUTTURA IDROGEOLOGICA

Con riferimento agli studi sino ad oggi eseguiti nella pianura milanese, (AIROLDI R., CASATI P., 1989; AVANZINI M., BERETTA G.P., ET ALII, 1995; CAVALLIN A., FRANCANI V., ET ALII, 1983; NORDIO E. 1957; PROVINCIA DI MILANO, 1995) il sottosuolo dell'area in esame può essere suddiviso in tre distinte unità idrogeologiche, aventi nel loro insieme caratteri litologici e idraulici distribuiti con sostanziale omogeneità su settori arealmente significativi (COLOMBO ET ALII, 1996).

In particolare i sedimenti fluvioglaciali dell'unità "ghiaioso-sabbiosa" del Pleistocene superiore (Wurm Auct.), affioranti in superficie, sono sostituiti in profondità dalla unità "ghiaioso-sabbioso-limosa" del Pleistocene medio (Riss-Mindel Auct.) e quindi dall'unità a "conglomerati e arenarie basali" (Ceppo Auct.), quest'ultima non presente con continuità nell'area di studio. La successione sopra descritta si estende in profondità per circa 100 m e costituisce il cosiddetto "acquifero tradizionale", in quanto le falde in esso contenute (falda libera e falda semiconfinata) hanno costituito la risorsa idrica storicamente sfruttata nel milanese.

Nell'area esaminata la falda libera (unità ghiaioso-sabbiosa) si estende fino a circa 40-50 m di profondità ed è separata dalla sottostante falda semiconfinata da un livello limoso di spessore che varia tra qualche metro fino a 5-6 m. Tale livello si individua con una buona continuità laterale su tutta l'area e si caratterizza dal punto di vista idraulico come aquitard. I parametri idrogeologici medi caratteristici dell'acquifero tradizionale sono dati da trasmissività dell'ordine di 10⁻² m²/s, conducibilità idrica dell'ordine di 10⁻³ m/s e portata specifica di 10-20 l/s/m.

Le falde profonde sottostanti sono contenute all'interno di unità sia continentali e di transizione (unità sabbioso-argillosa), sia marine (unità argillosa) del Pleistocene inferiore e Calabriano. Litologicamente si tratta di sedimenti sabbioso-argillosi con una produttività idrica abbastanza limitata. Infatti non vengono superati valori di trasmissività di 5·10⁻³ m²/s, conducibilità idrica di circa 5·10⁻⁴ m/s e portata specifica con valori limitati a qualche unità. Lo schema strutturale riassuntivo è riportato in Figura 1.

DESCRIZIONE GEOLOGICA SECONDO I DIFFERENTI AUTORI						
UNITA' LITOLOGICHE		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		UNITA' STRATIGRAFICHE	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE
Mazzarella S. e Martinis B.		Francani V. e Pozzi R.		A.G.I.P.		Avanzini M. et Al.
LITOZONA GHIAIOSO-SABBIOSA	ACQUIFERO TRADIZIONALE	FLUVIOGLACIALE WURM AUCT. (Diluvium recente)	I ACQUIFERO	ALLUVIONE	PLEISTOCENE SUPERIORE	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSA
		FLUVIOGLACIALE RISS-MINDEL-WURM (Dil. Medio-Antico)	II ACQUIFERO		PLEISTOCENE MEDIO	UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSO-LIMOSA
		CEPPO AUCT.				UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI
LITOZONA SABBIOSO-ARGILLOSA	ACQUIFERI PROFONDI	VILLAFRANCHIANO	III ACQUIFERO	SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE INFERIORE	UNITA' SABBIOSO-ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)
LITOZONA ARGILLOSA					(CALABRIANO)	UNITA' ARGILLOSA (facies marina)

Figura 1: Schema stratigrafico e idrogeologico (da Avanzini et Al., 1995; mod.).

Da un punto di vista idraulico le unità dell'acquifero tradizionale sono in parte comunicanti e si caratterizzano quindi come un sistema monostrato multifalda. Infatti la falda libera superficiale e la falda semiconfinata hanno scambi idrici dovuti in particolare a cause naturali legate a fenomeni di drenanza e mancanza di continuità su tutto l'areale dell'aquitard interposto. Inoltre sono presenti scambi idrici legati alla mancata ricostruzione, nei pozzi più vecchi, degli orizzonti di separazione naturale tra le falde (presenza di dreno continuo all'esterno della colonna).

Le falde profonde sono invece idraulicamente separate da quelle più superficiali. Questa evidenza è testimoniata non solo dai diversi valori dei rispettivi carichi idraulici, ma soprattutto da caratteristiche idrochimiche e dai dati derivanti da specifici test di pompaggio eseguiti in pozzi "multifalda" dai tecnici dell'Acquedotto di Milano (MOTTA V., 1981).

4. ANDAMENTO DELLE SUPERFICI PIEZOMETRICHE

Le carte delle isopiezometriche sono state elaborate utilizzando il variogramma per lo studio della struttura della variabile ed il kriging per la stima del dato ai nodi della griglia prescelta. I pozzi esistenti sono stati suddivisi per falde captate sulla base del modello concettuale preliminare.

In particolare la ricostruzione della piezometria della prima falda è stata resa possibile grazie alla collaborazione della MM Strutture ed Infrastrutture del Sottosuolo S.p.A. che dell'Ufficio Fognature del Comune di Milano.

Le piezometrie della falda libera superficiale (Figure 2a-2b) relative al marzo 1990 e al marzo 1995, sono entrambe caratterizzate da una struttura radiale convergente che interessa tutta l'area di studio e che si attenua solo nella parte più meridionale. Molto pronunciata risulta la differenza tra il gradiente idraulico nel settore occidentale e quello del settore orientale, nel quale lo stesso si riduce di quasi il 50 %.

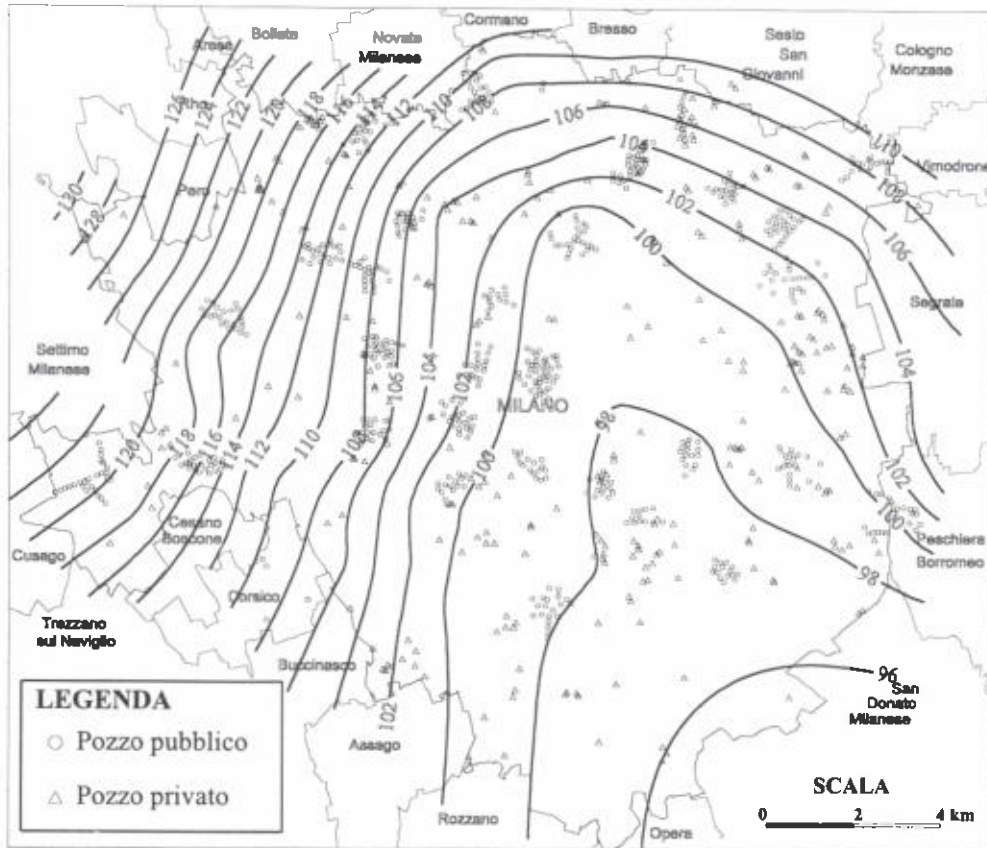


Figura 2a: Superficie piezometrica della prima falda (m s.l.m.) nel marzo 1990.

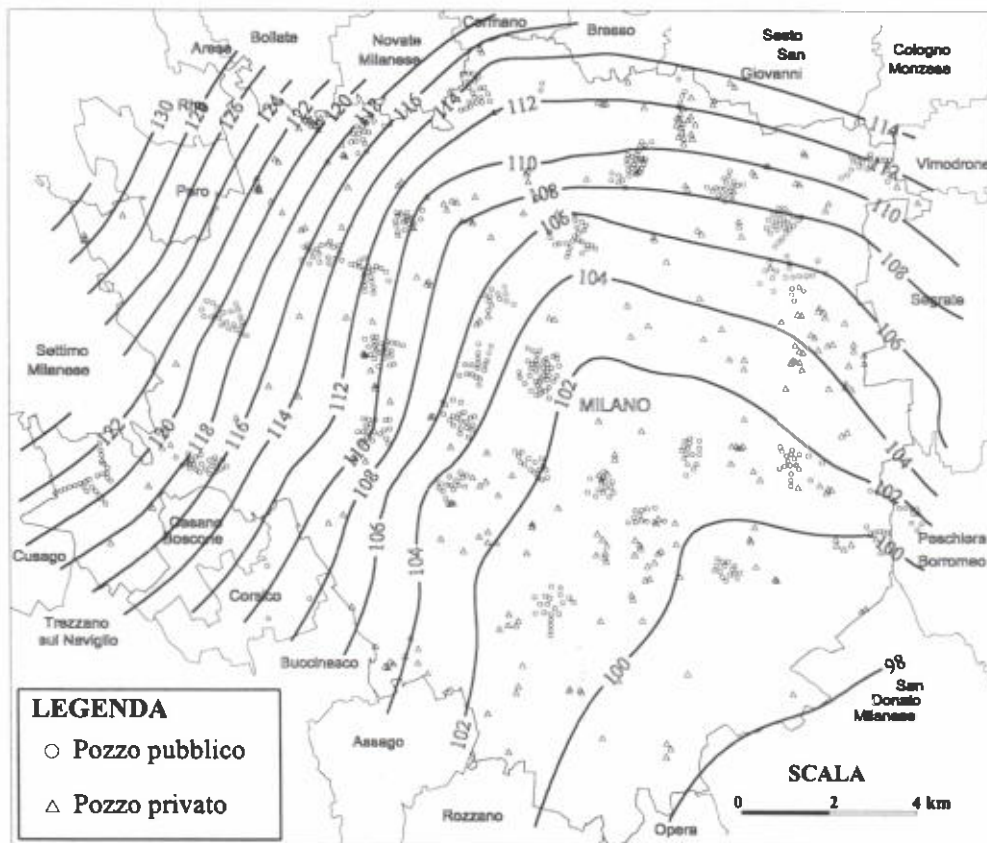


Figura 2b: Superficie piezometrica della prima falda (m s.l.m.) nel marzo 1995.

Dall'esame della carta della soggiacenza della prima falda riferita al marzo 1995 (Figura 3) si rileva un andamento delle isolinee speculare rispetto all'andamento delle isopiezometriche con valori minimi di soggiacenza a Sud del Comune (6 metri) e massimi nella zona centro Nord con valori che superano i 25 metri. Quest'ultima area, come si vedrà in seguito, corrisponde alla zona di maggiore innalzamento della superficie piezometrica registrato negli ultimi 5 anni.

Si può inoltre facilmente rilevare che, in considerazione delle profondità raggiunte dalle infrastrutture sotterranee, in una vasta parte della città sono presenti valori di soggiacenza inferiori ai 10 metri e pertanto potenzialmente "a rischio".

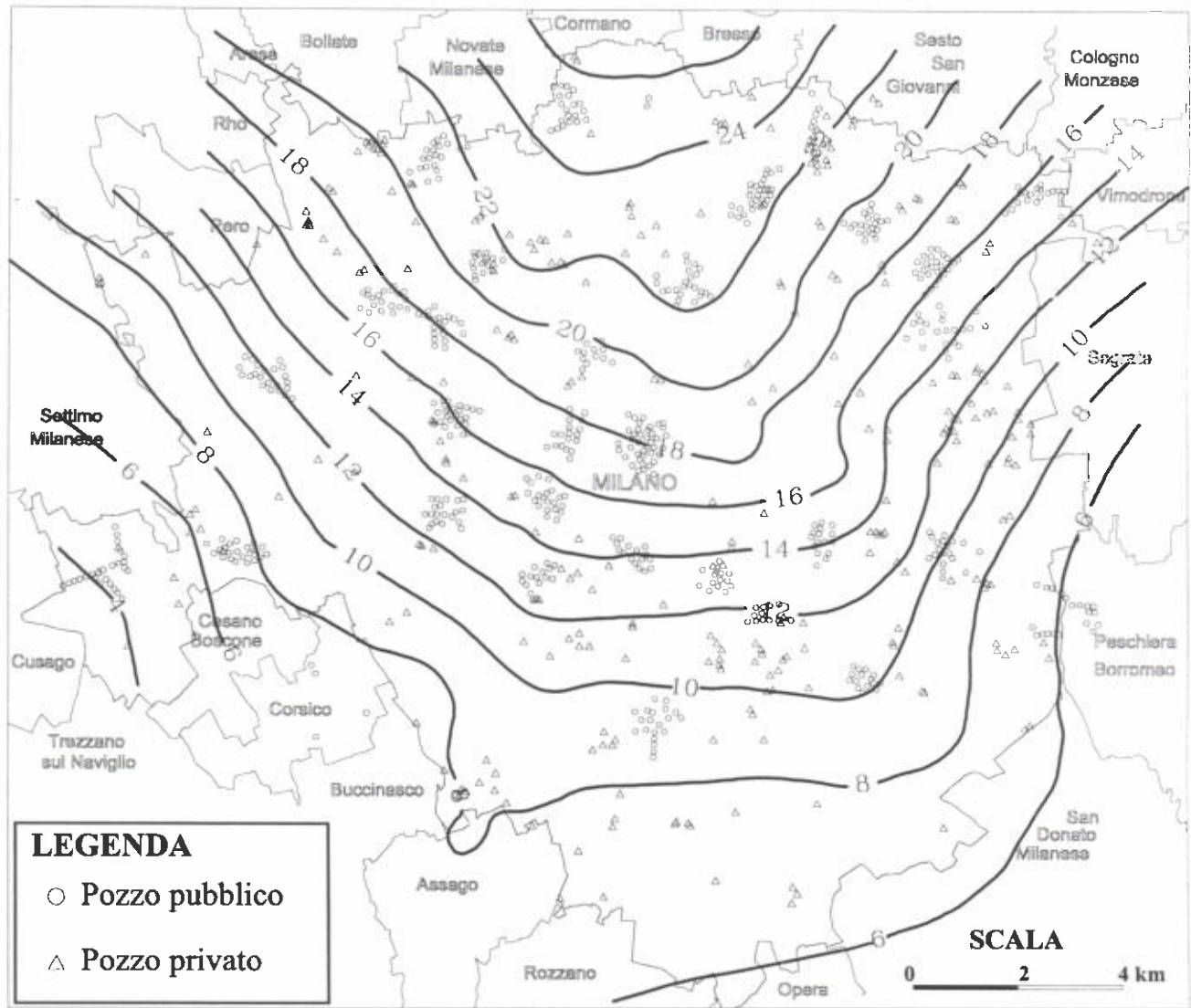


Figura 3: Soggiacenza della superficie piezometrica della prima falda (m) nel marzo 1995.

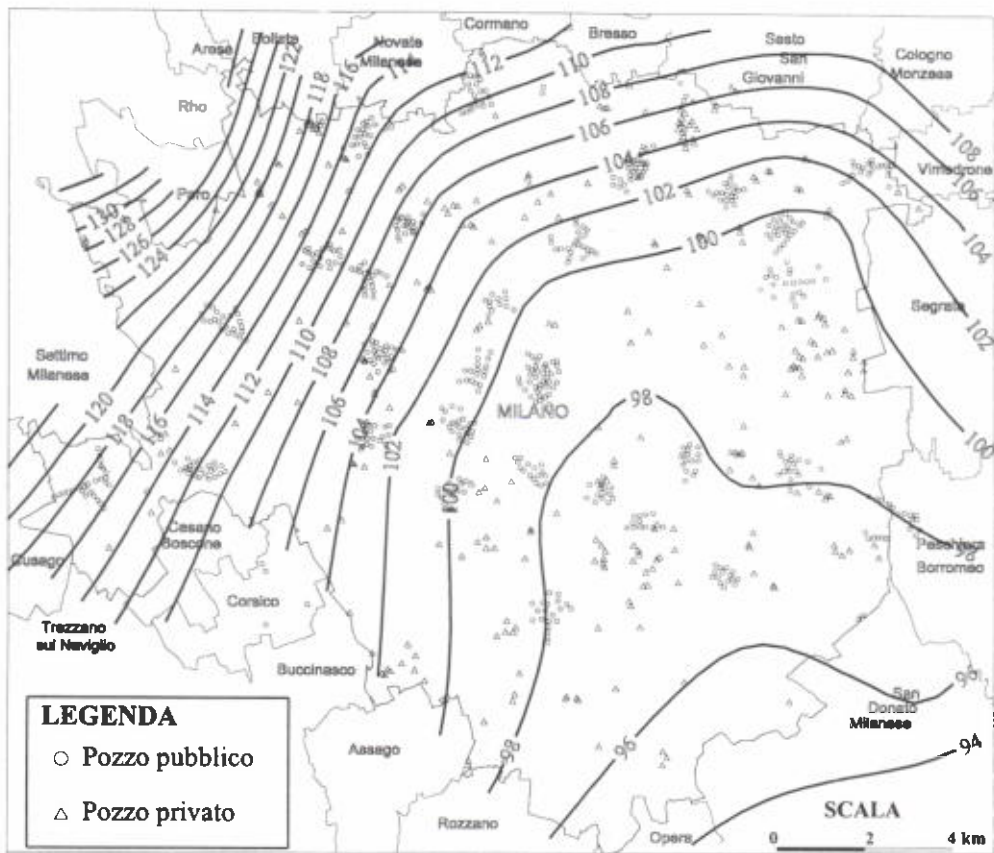


Figura 4a: Superficie piezometrica della falda semiconfinata (m s.l.m.) nel marzo 1990.

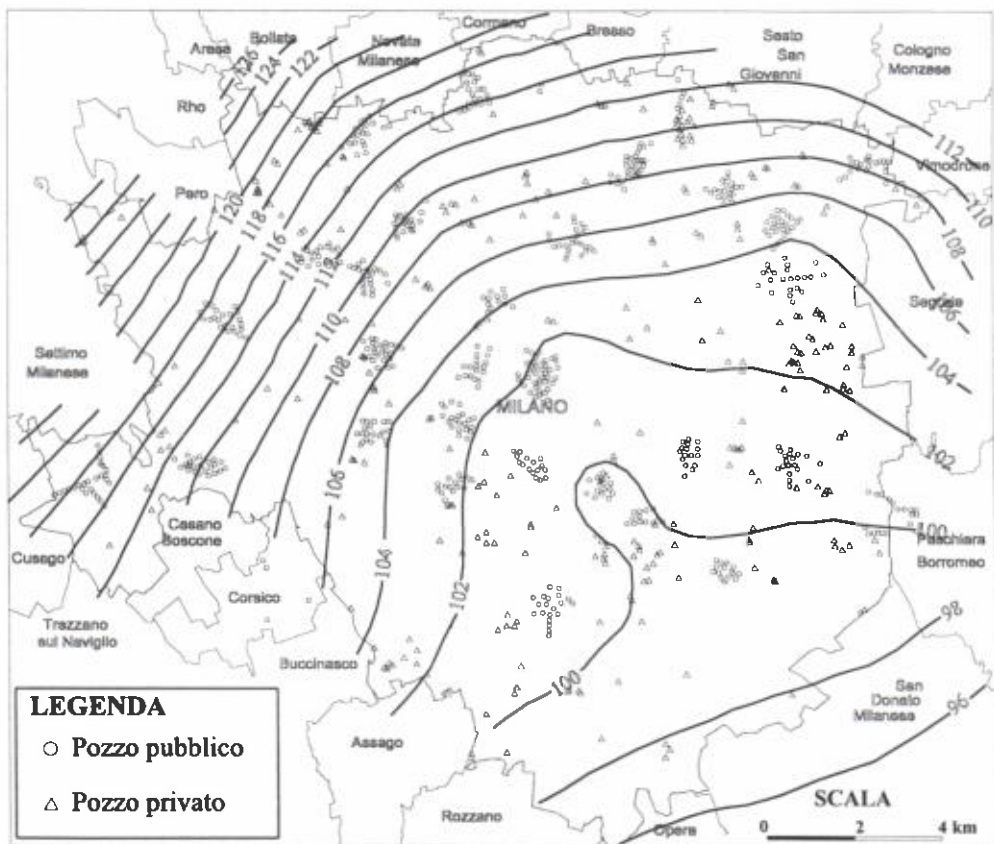


Figura 4b: Superficie piezometrica della falda semiconfinata (m s.l.m.) nel marzo 1995.

L'andamento delle piezometrie della seconda falda (Figure 4a-4b) riferite al marzo 1990 e al marzo 1995, non è morfologicamente molto dissimile da quello della falda superficiale. Le osservazioni precedenti sono ancora valide ma in questo caso l'interferenza sulla falda delle centrali di pompaggio è molto marcata, in quanto la maggior parte del prelievo effettuato dall'Acquedotto di Milano è localizzato in questa falda.

5. OSCILLAZIONI DELLE SUPERFICI PIEZOMETRICHE

Oltre all'andamento della piezometria sono anche state elaborate le oscillazioni della superficie piezometrica (espresse come soggiacenza) per le due falde più superficiali (Figura 5), con un periodo di osservazione a partire dagli anni '50 per la prima falda e dagli anni '60 per la seconda.

Il diagramma evidenzia una sostanziale uniformità degli andamenti pluriennali dei livelli piezometrici delle due falde superficiali. In particolare tali andamenti sono caratterizzati da una tendenza negativa (con abbassamenti superiori anche a 10 metri) che a partire dagli anni '60 si protrae sino alla metà degli anni '70 in cui si raggiunge il minimo del periodo considerato. Tale fenomeno è legato al progressivo aumento del prelievo sia civile (dai 280 milioni di m³ nel 1960 a 340 milioni di m³ nel 1974) che industriale ed in secondo luogo alla scarsità delle precipitazioni verificatesi in tali anni. Successivamente si osserva una notevole ripresa dei livelli, culminata nel 1978, seguita dal secondo minimo verso la fine degli anni '80 che è evidente soprattutto per la prima falda ed è legato ad un periodo caratterizzato da scarse precipitazioni. A partire dall'inizio degli anni '90 si evidenzia un rapido incremento dei livelli che raggiungono valori paragonabili a quelli della metà degli anni '60.

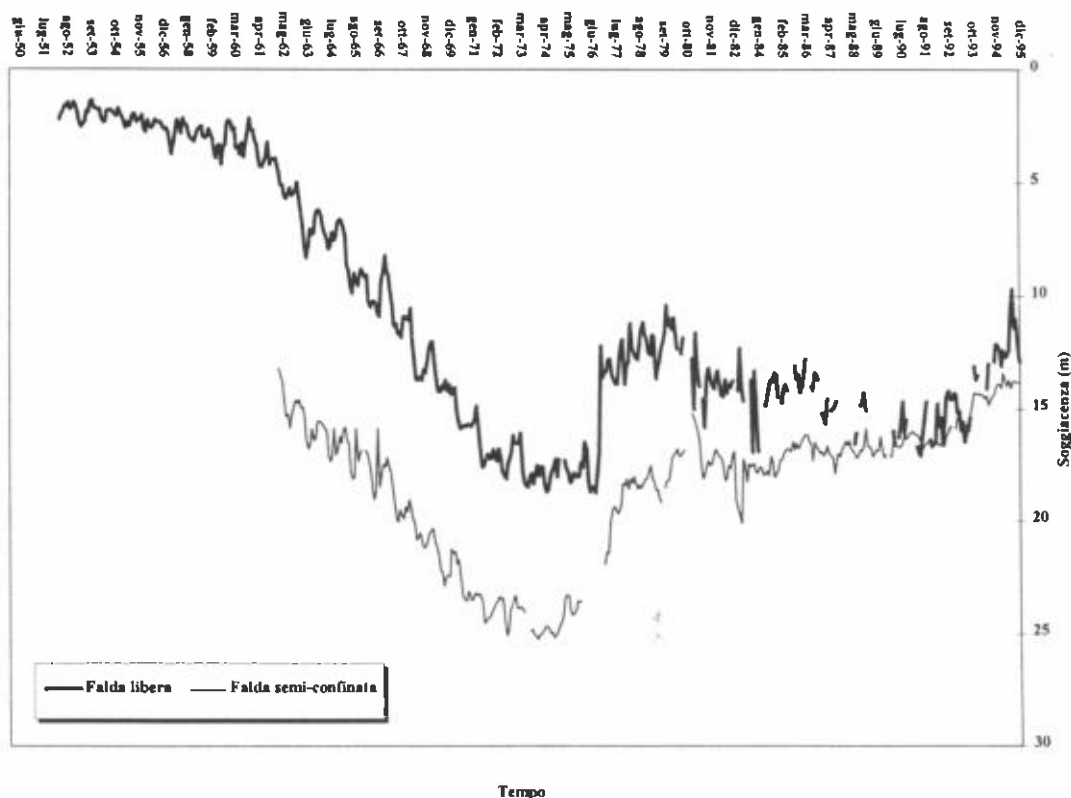


Figura 5: Andamento temporale dei livelli di soggiacenza delle falde superficiali

Al fine di dettagliare il fenomeno per il periodo che va dall'anno 1990 all'anno 1995 sono stati ricostruiti i grafici delle oscillazioni piezometriche della prima falda (misurate a cadenza mensile dai tecnici del Settore Fognature del Comune di Milano) su una maglia di circa 30 piezometri, distribuiti omogeneamente su tutta l'area in esame. I grafici, scelti come rappresentativi dei diversi settori dell'area di interesse, sono riportati nella Figura 6, indicando i valori di soggiacenza rispettivamente nella zona Nord (piezometro n. 69) e nella zona Sud del Comune di Milano (piezometro n.77). Questo innalzamento può essere quantificato in circa 1 m/anno, evidenziando tuttavia che la zona a sud è quella che presenta un regime delle variazioni più limitate.

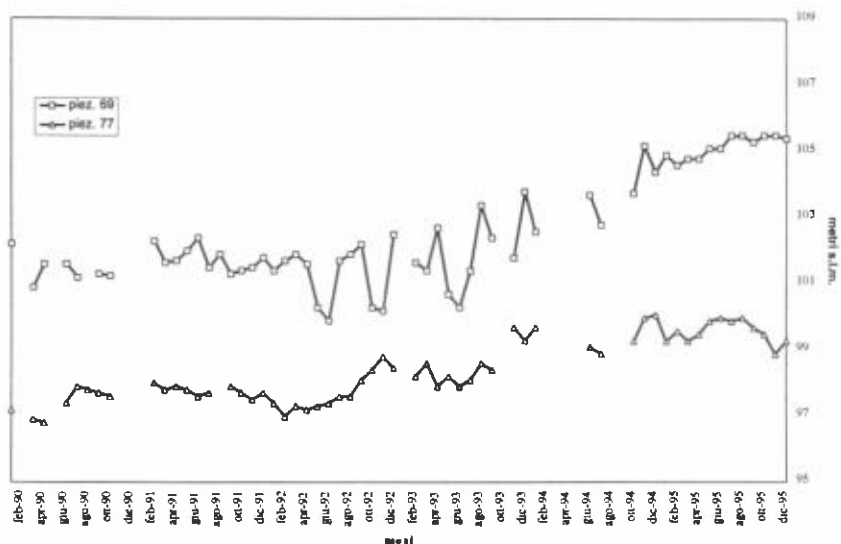


Figura 6: Oscillazioni dei livelli piezometrici della prima falda

Tale fenomeno è verificabile anche a più ampia scala. Infatti dall'analisi delle escursioni piezometriche dei pozzi localizzati nei Comuni esterni al capoluogo lombardo (Figure 7a, 7b, 7c e 7d) si rileva sostanzialmente che l'innalzamento più marcato sembra essere più evidente nella zona del nord Milano, mentre appare sostanzialmente più debole a sud e verso le principali aste fluviali Adda e Ticino.

A livello areale il fenomeno è stato studiato attraverso l'elaborazione per le due falde superficiali delle differenze tra i livelli piezometrici registrati nel marzo 1995 rispetto a quelli registrati nello stesso periodo dell'anno 1990.

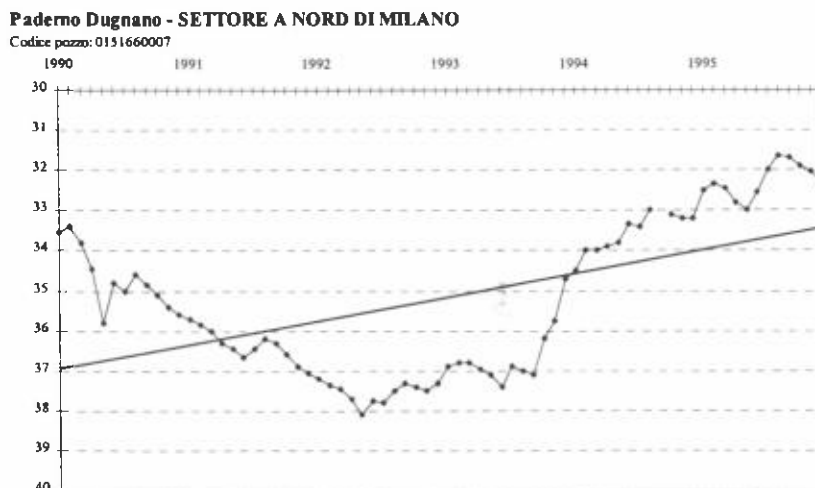


Figura 7a: Andamento temporale dei livelli di soggiacenza (metri) della falda.

Melegnano - SETTORE A SUD DI MILANO

Codice pozzi: 0151400003

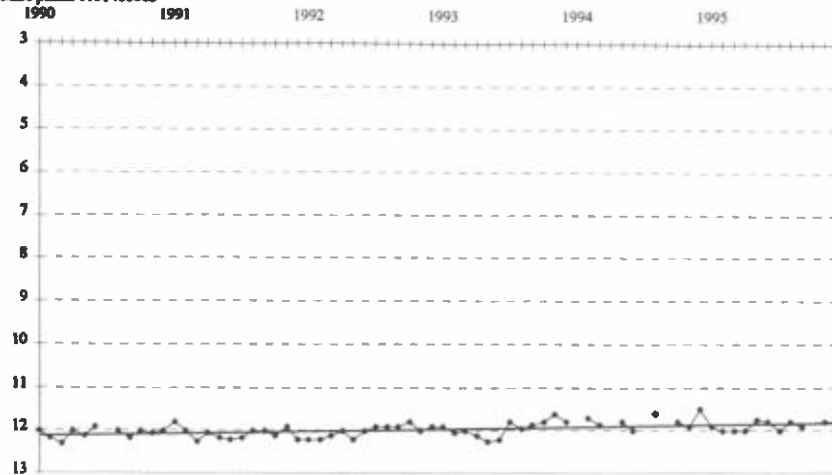


Figura 7b: Andamento temporale dei livelli di soggiacenza (metri) della falda.

Cassano d'Adda - SETTORE AD EST DI MILANO

Codice Pozzi: 0150590001

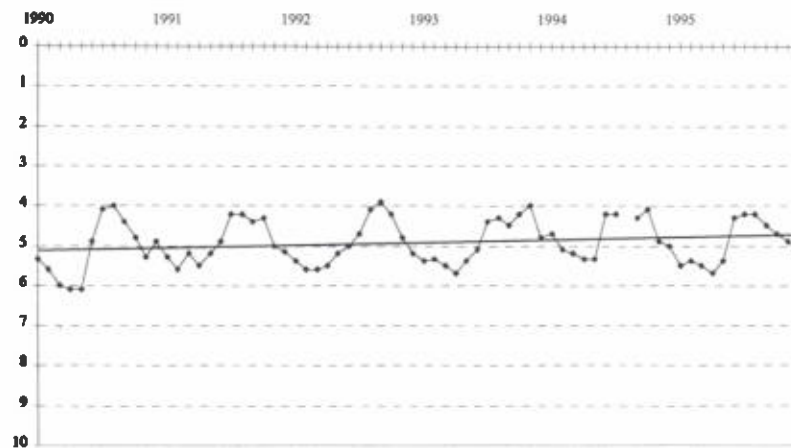


Figura 7c: Andamento temporale dei livelli di soggiacenza (metri) della falda.

Castano Primo - SETTORE AD OVEST DI MILANO

Codice pozzi: 0150620014

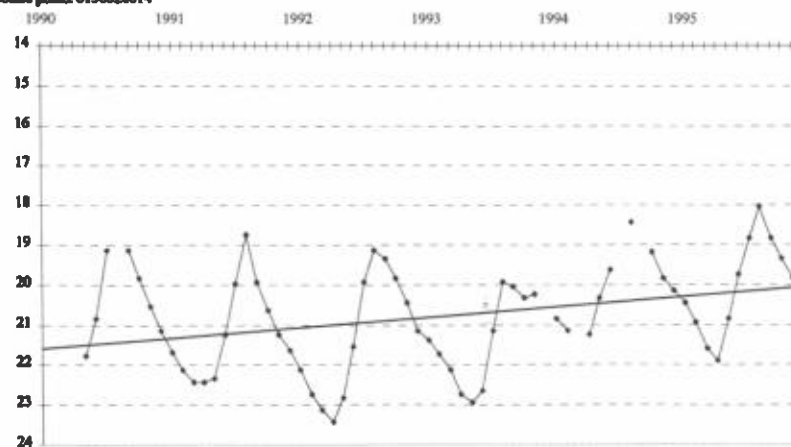


Figura 7d: Andamento temporale dei livelli di soggiacenza (metri) della falda.