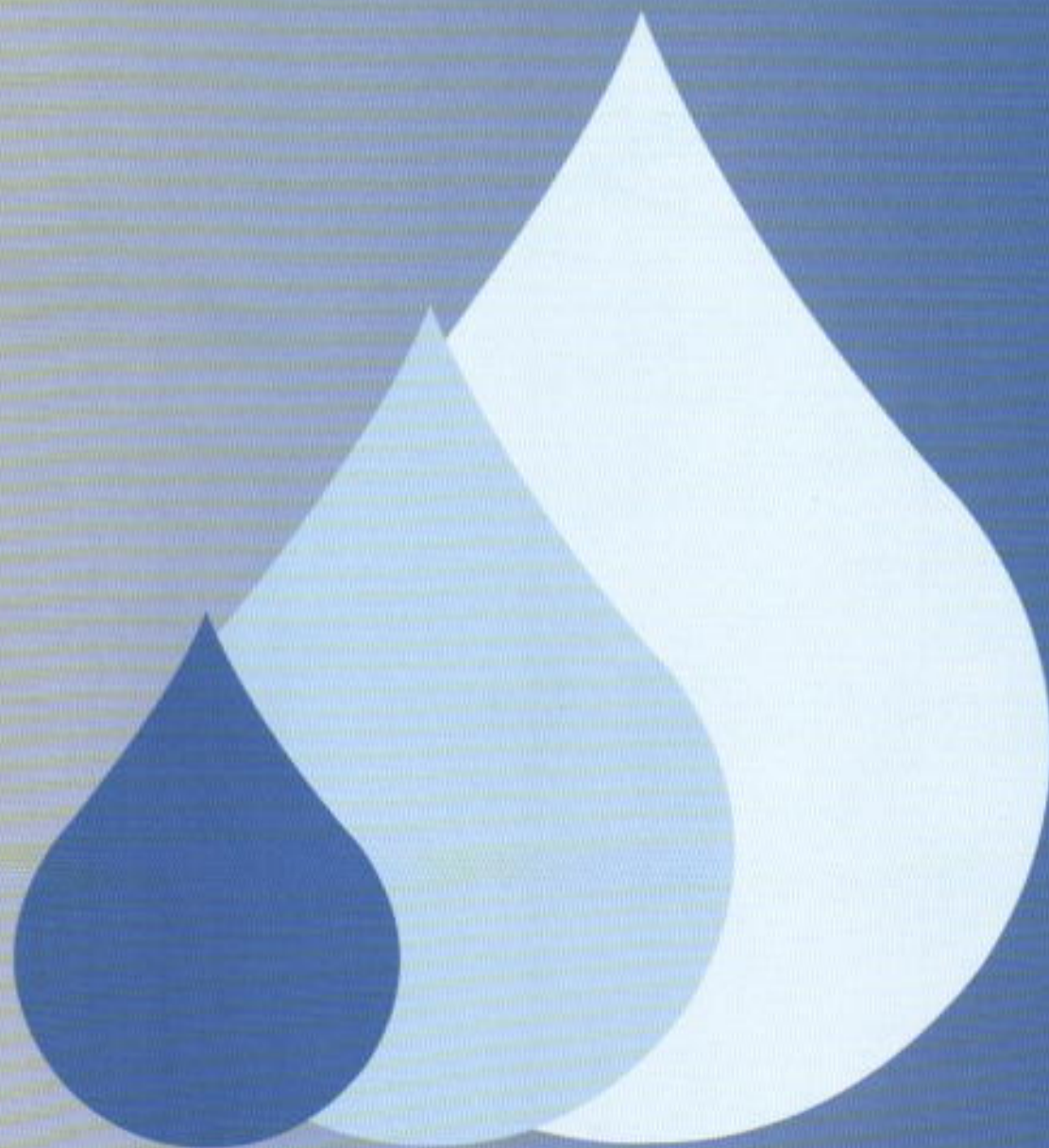




Provincia di Milano
Direzione Centrale Ambiente

Sistema Informativo Falda

**Le risorse idriche sotterranee
nella Provincia di Milano**



**Vol.2 - Stato qualitativo delle acque
anni 1990 - 1996 - 1997**



Provincia di Milano

Direzione Centrale Ambiente

Sistema Informativo Falda

e

Politecnico di Milano

D.I.I.A.R.

Sezione Ambientale

Geologia Applicata

**Le risorse idriche sotterranee
nella Provincia di Milano
Vol.2:
Rapporto sullo stato di inquinamento**

Anni 1990-1996-1997

Milano, Maggio 2000

A cura di:

Provincia di Milano, Assessorato all Ambiente

U.O. Interventi Acque, Suolo e Sottosuolo — Ufficio Sistema Informativo Falda

Politecnico di Milano, D.I.I.A.R., Sezione Ambientale

Dott. Guido Rosti,

(Direttore Centrale Ambiente)

Dott.ssa Cristina Arduini

(Funzionario responsabile Sistema Informativo Falda)

Dott.ssa Fiammetta Di Palma

(Funzionario geologo)

Prof. Vincenzo Francani

(Professore Ordinario Geologia Applicata)

Dott. Sergio Pirrotta

(Dottorando in Geologia Applicata)

Dott. Luca Alberti

(Dottore di ricerca in Geologia Applicata)

Dott. Andrea Parri

(Collaboratore a Geologia Applicata)

Elaborazione editoriale:

Dott. Sergio Pirrotta

Lo studio prende spunto dalla tesi di dottorato di: S. Pirrotta.

Si ringraziano i seguenti Enti appartenenti al S.I.F. — Sistema Informativo Falda:

Consorzio Acqua Potabile

Comune di Milano — Servizi Idrici Integrati

Asl Città di Milano

Asl Provincia di Milano 1

Asl Provincia di Milano 2

Asl Provincia di Milano 3

Arpa di Milano, Lodi, Monza e Parabiago.

©Provincia di Milano, Maggio 2000



PREMESSA

Questo volume che segue l'uscita, del primo lavoro sulla struttura idrogeologica dell'area della Provincia di Milano, si pone come obiettivo di analizzare lo stato qualitativo della risorsa acqua, approfondendo, grazie alle basi poste con la prima parte dello studio, le problematiche connesse alle caratteristiche idrochimiche dei diversi acquiferi e soprattutto ai loro legami ed interconnessioni.

Sono questi infatti i fattori che guidano la diffusione in senso areale delle contaminazioni ed è su questi che è necessario impostare le scelte e gli interventi volti a proteggere o - dove già compromessa - a riqualificare la risorsa acqua.

Gli obiettivi di questa elaborazione sono essenzialmente indirizzati perciò a fornire un quadro generale dello stato di salute della risorsa, effettuato mediante la revisione e l'elaborazione dei dati disponibili presso il Sistema Informativo Falda.

E' ormai noto che il Sistema Informativo Falda nasce nel 1989 proprio con l'intento di raccogliere ed organizzare su base informatica tutti quei dati disponibili presso diversi Enti e permettere di costruire una base di conoscenza indispensabile per le attività inerenti la tutela della falda.

Dopo numerosi anni di raccolta dati, di validazione degli stessi è stato perciò possibile effettuare uno studio, che rispetto ad altri precedenti, può fornire una rappresentazione più realistica dello stato qualitativo delle risorse idriche sotterranee.

Tale studio, che necessita di notevoli sforzi in termini di risorse professionali, è stato realizzato grazie alla fattiva collaborazione con il Politecnico di Milano (D.I.I.A.R.-Sez. di Geologia Applicata) che ha fornito le risorse umane indispensabili.

Abbiamo ritenuto utile e importante continuare sulla strada precedentemente tracciata e fornire un ulteriore strumento di conoscenza soprattutto a tutti coloro che operano in materia di risorse idriche.

IL PRESIDENTE
On. Ombretta Colli

L'ASSESSORE ALL'AMBIENTE
Luigi Cocchiario

SOMMARIO

1. Generalità sull'area esaminata.....	7
1.1. Inquadramento geografico.....	7
1.2 La struttura idrogeologica.....	9
1.2.1 Sintesi degli studi precedenti.....	9
1.2.2 Schema semplificato della struttura idrogeologica.....	13
2. Caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi.....	15
2.1 Permeabilità degli acquiferi.....	15
2.2 Distribuzione dei valori di trasmissività.....	15
2.2.1 L'acquifero TR.....	16
2.2.2 L'acquifero C.....	17
3. Valutazione del carico inquinante.....	17
3.1 Raccolta e analisi dei dati.....	17
3.1.1 Guida alla lettura delle carte.....	19
3.2 Nitrati.....	21
3.2.1 Nitrati 90,96,97 primo acquifero.....	22
3.2.2 Nitrati 90,96,97 secondo acquifero.....	23
3.2.3 Nitrati 90,96,97 falda mista.....	24
3.2.4. Considerazioni di riepilogo (1990, 1996, 1997).....	25
3.3 Cromo.....	25
3.3.1 Cromo 90,96,97 primo acquifero.....	26
3.3.2 Cromo 90, 96, 97 secondo acquifero.....	26
3.3.3 Cromo 90, 96, 97 falda mista.....	27
3.3.4 Considerazioni di riepilogo (1990, 1996, 1997).....	27
3.4 Composti organoalogenati.....	27
3.4.1 Composti organoalogenati 90, 96, 97 primo acquifero.....	29
3.4.2 Composti organoalogenati 90, 96, 97 secondo acquifero.....	30
3.4.3 Composti organoalogenati 90, 96, 97 falda mista.....	31
3.4.4 Considerazioni di riepilogo (1990, 1996, 1997).....	31
3.5 Antiparassitari.....	32
3.5.1 Antiparassitari 90, 96, 97 primo acquifero.....	32
3.5.2 Antiparassitari 90, 96, 97 secondo acquifero.....	33
3.5.3 Antiparassitari 90, 96, 97 falda mista.....	33
3.6 Analisi dei grafici.....	33
3.6.1 A carattere generale.....	34
3.6.2 Sul chimismo.....	37
3.6.3 Zone a maggior rischio.....	41
3.6.4 Note di riepilogo.....	43
4. Proposte per il miglioramento qualitativo delle acque sotterranee.....	44
4.1 Fase di impostazione del modello idrogeologico.....	45
4.2 Modello concettuale.....	45
4.3 Il carico inquinante affluente a Milano.....	46
4.4 Identificazione delle aree a rischio.....	47
5. Considerazioni finali.....	48
6. Bibliografia.....	49



1. Generalità sull'area esaminata

L'area d'indagine riveste un elevato significato socio-economico a scala regionale e nazionale, ed è quindi di grande interesse la conservazione del suo patrimonio idrico sotterraneo; dalla risorsa idrica discende, infatti, la possibilità di sviluppo urbano e industriale che non a caso si è concentrata nell'area milanese, una delle più ricche del continente sotto quest'aspetto.

L'urbanizzazione del territorio è più elevata nel settore centrale dove la superficie agricola totale, con punte minime del 12% nei comuni più urbanizzati, costituisce il 30% del territorio, contro il 50% del settore occidentale e orientale. Lo sviluppo urbanistico si accompagna ad una rilevante industrializzazione, con aziende prevalentemente di tipo elettro-metalmeccanico, metallurgico e tessile. Si associano quindi industrie fortemente idroesigenti con altre che sono potenzialmente molto inquinanti (ad esempio quelle chimiche, di lavorazione conciaria e dei metalli).

La vulnerabilità degli acquiferi assume inoltre connotazioni differenti da altre aree della pianura lombarda, e da quelle della pianura padana in generale, per la complessità della struttura idrogeologica della Provincia di Milano. Considerando gli elementi descritti, è pertanto di rilevante interesse tracciare un quadro del rischio di inquinamento del territorio, utilizzando i dati finora esistenti.

A tal fine si è suddivisa l'esposizione del lavoro eseguito nei seguenti argomenti:

- a) una descrizione il più possibile sintetica della struttura idrogeologica e degli acquiferi, con lo scopo di evidenziare i settori maggiormente esposti alle contaminazioni, quelli in cui le contaminazioni sono più acute e quelli nei quali si ha un maggiore degrado qualitativo;
- b) un inquadramento del chimismo degli acquiferi, con la finalità di evidenziarne le caratteristiche idrochimiche fondamentali;
- c) la caratterizzazione dei parametri degli acquiferi che condizionano il trasporto degli inquinanti, in modo da porre in luce i settori dai quali provengono le contaminazioni che più rapidamente si propagano e quelle che apportano il maggior carico di inquinanti verso le opere di captazione poste più a valle;
- d) simulazione del carico inquinante fluente verso valle tramite un modello idrogeologico, in particolare su Milano, dove convergono buona parte delle acque della Provincia;
- e) valutazione degli interventi più idonei a contrastare il degrado qualitativo delle acque, e dell'ordine di priorità degli stessi in accordo con la pericolosità del carico inquinante risultante dalle valutazioni precedentemente esposte.

L'interesse maggiore dello studio, per quanto concerne gli aspetti idrogeologici, risiede nell'aver portato ad una distinzione delle caratteristiche idrochimiche proprie di ciascun acquifero, differenziate a seconda dei parametri ricavati dai pozzi che estraggono acqua a diverse profondità nel sottosuolo della Provincia. Si è così resa più semplice l'interpretazione dei dati idrochimici, ai fini della ricostruzione dell'andamento delle aree contaminate e della loro evoluzione nel tempo.

1.1. Inquadramento geografico

L'area oggetto di questo studio è il territorio della Provincia di Milano che si estende tra il corso del fiume Ticino ad occidente, il corso del fiume Adda ad oriente e le pendici delle Prealpi a nord; a Sud il limite è costituito dal confine amministrativo con la Provincia di Lodi. L'area è situata nella parte centrale della Pianura Padana, racchiusa tra Alpi e Appennino Ligure, ma aperta verso il mare

Adriatico. Essa è delimitata dalle colline briantee nella parte settentrionale e degrada poi a Sud verso la fascia pianeggiante ed irrigua lungo il corso del fiume Po, tra le quote di circa 300 e 90 m s.l.m. La forma dell'area risulta pressoché rettangolare, allungata in direzione Est-Ovest; è situata in posizione centrale rispetto all'intera area della regione Lombardia e si inserisce al passaggio tra i rilievi prealpini che sfumano nelle colline moreniche nella zona più a Nord, negli orli meridionali dei terrazzi fluvio-glaciali spostandosi verso Sud per spegnersi nella pianura vera e propria, dove la pendenza media non supera lo 0.3%. Il reticolo idrografico naturale è molto ben sviluppato in direzione Nord-Sud, mentre una fitta rete di canali artificiali si sviluppa in direzione trasversale, mettendo in comunicazione da Ovest verso Est i principali corsi d'acqua. Tra il limite occidentale dell'area di studio, che è stato fatto coincidere con il corso del fiume Ticino e quello orientale, corrispondente al fiume Adda, si sviluppano il fiume Olona, il torrente Bozzente, il torrente Lura, il torrente Guisa, il torrente Seveso, il fiume Lambro e il torrente Molgora. Il settore centrale dell'area di studio è in particolare caratterizzato dalla presenza della zona dei fontanili, che si estende lungo una fascia allungata in direzione Ovest-Est. I fontanili rappresentano emergenze dell'acqua di falda che viene poi drenata lungo rogge artificiali verso le zone di utilizzo. Un'altra particolarità dell'area di studio è data dall'elevata urbanizzazione dei settori settentrionale e centrale e dalla destinazione agricola delle zone più a Sud. Si tratta di un fattore fortemente influente sia sul bilancio idrologico dell'area sia sullo stato di qualitativo delle acque sotterranee del primo e del secondo acquifero.

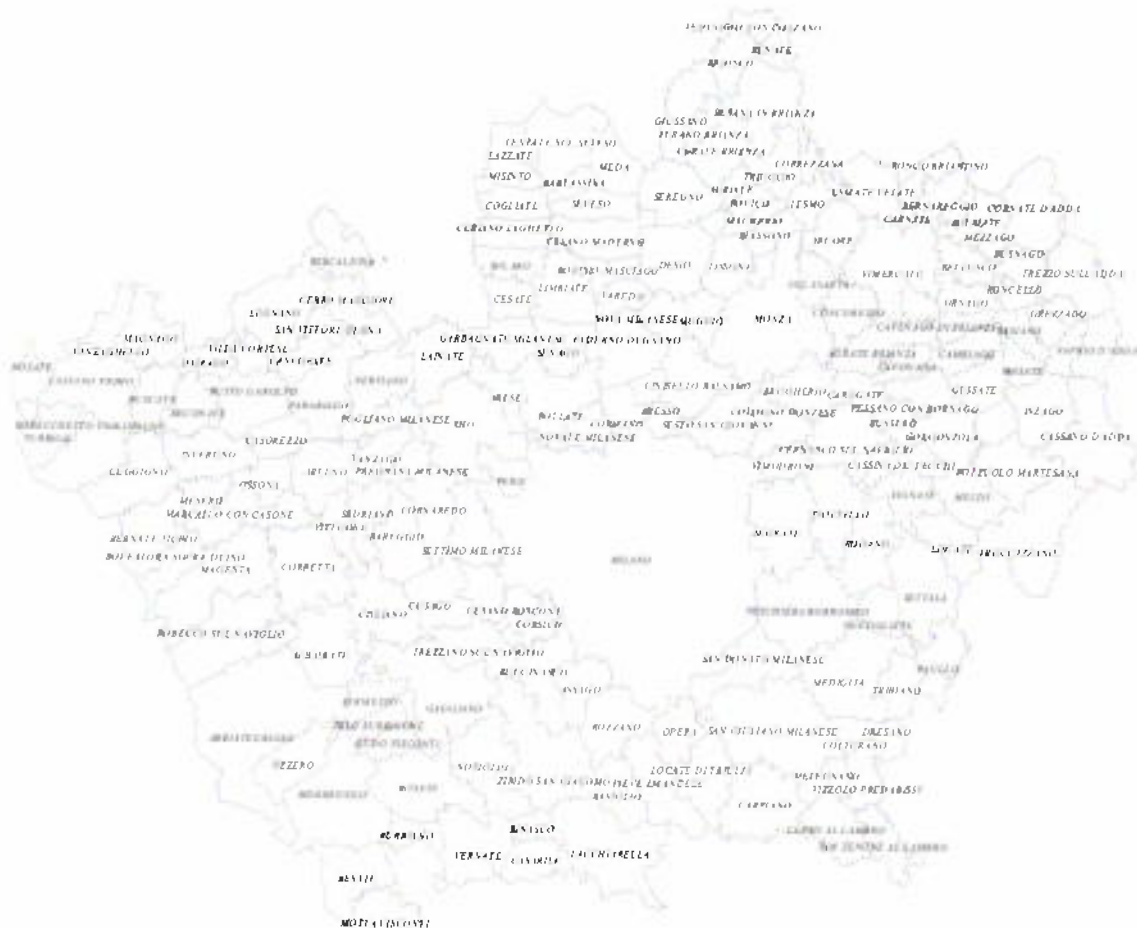


Fig. 1.1.1: Carta dei comuni dell'area in studio.

1.2 La struttura idrogeologica

La geologia della pianura è particolarmente complessa; vi si possono, infatti, riconoscere diverse unità idrogeologiche, come risulterà dalla successiva descrizione, fatto che, ai fini dello studio, rende necessaria una semplificazione che consenta di comprendere meglio i meccanismi di propagazione dei contaminanti.

Riteniamo opportuno esporre dapprima la struttura idrogeologica come risulta dagli studi finora pubblicati, e successivamente lo schema semplificato adottato per il presente lavoro.

1.2.1 Sintesi degli studi precedenti

Il sottosuolo della pianura milanese è formato da una successione di sedimenti plio-pleistocenici, costituiti prevalentemente da limi e argille d'origine marina con rare sabbie e ghiaie nella parte basale, mentre nella parte sommitale si hanno alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille d'origine alluvionale e fluvioglaciale.

Verso la fine del Pleistocene inferiore si determinò, infatti, una modifica delle condizioni di sedimentazione poiché la regressione marina, favorita dal sollevamento dell'area alpina, causò la formazione di sedimenti di tipo deltizio lagunare, formati da depositi a granulometria fine e grossolana.

Con l'avvento delle glaciazioni si verificò la formazione di corsi d'acqua uscenti dai fronti glaciali, con deposizione di materiali alluvionali a granulometria prevalentemente ghiaioso-sabbiosa, nel cui ambito si ritrovano acquiferi di notevole estensione areale e di elevata potenzialità idrica (Quaternario continentale).

Nella serie padana le principali variazioni litologiche sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limosi argillosi, la quale si verifica sia con l'aumento della profondità, che procedendo da nord verso sud; nel primo caso esse sono legate alle già evidenziate modifiche dell'ambiente di sedimentazione, mentre nel secondo sono connesse con la diminuzione dell'energia di trasporto degli agenti deposizionali e quindi con la distanza dalle strutture vallive.

Nella parte sommitale del Quaternario continentale (entro i primi 100 m) si rinvengono gli acquiferi di maggiore potenzialità, sede di falde libere che traggono alimentazione dall'infiltrazione superficiale delle acque meteoriche, e di quelle provenienti dai corsi d'acqua naturali e artificiali; più in profondità si hanno ulteriori acquiferi sabbiosi o più raramente sabbioso-ghiaiosi con falde confinate, intercalati a prevalenti limi e argille, che traggono la loro alimentazione nelle aree poste più a Nord e per scambio con gli acquiferi soprastanti laddove i setti argillosi di separazione sono discontinui.

La ricostruzione idrogeologica è stata compiuta al fine d'individuare un modello concettuale di flusso per l'area d'indagine. In questa fase si è fatto riferimento a ricostruzioni per la pianura milanese pubblicate da precedenti Autori. La definizione delle unità stratigrafiche è tuttora in continua evoluzione ed oggetto di studio di linee di pensiero diverse; per questo motivo nelle prossime pagine si farà riferimento ad unità idrogeologiche, la cui descrizione in termini stratigrafici viene qui affrontata in modo marginale, al solo scopo di rendere comprensibile a tutti a quali unità, fra quelle descritte dagli Autori, si stia facendo riferimento: si è quindi scelto di fare riferimento a distinzioni litostratigrafiche ben note.

1.2.1.1 Unità idrogeologiche

Unità argillosa

Questa unità attribuita al Pleistocene inferiore (MARTINIS e MAZZARELLA 1971, MARTINIS e ROBBA 1978, CASATI 1986) si rinviene nei pozzi con profondità superiore ai 220-280 m nella media pianura e 130-180 m nell'alta pianura. Si tratta prevalentemente di argille e limi di colore grigio cinereo-azzurro con micro e macro fossili marini, alle quali sono subordinati livelli sabbiosi generalmente di modesto spessore.

Autori precedenti, in base alla distribuzione dei foraminiferi, hanno individuato tre associazioni caratteristiche che identificano un ambiente di sedimentazione, che evolve dal basso verso l'alto da condizioni di mare profondo a habitat costieri. Il ritrovamento di macrofossili marini in numerose perforazioni condotte nella provincia di Milano ha permesso agli Autori di ricostruire con discreto dettaglio l'andamento del tetto dell'unità argillosa (All. 18B) in tutta l'area milanese, evidenziando una generale immersione dell'unità verso sud con inclinazione di 0.6-1.5%, e un aumento dello spessore, passando da circa 100 metri nelle zone dell'alta pianura, sino a 1000 m a sud di Milano.



Unità sabbioso-argillosa

Si tratta di un'unità formata in prevalenza da argille-limi di colore grigio e giallo con frequenti alternanze nella colorazione e presenza di torbe, a cui si interpongono lenti più o meno estese di sabbie, ghiaie e conglomerati che formano acquiferi con falde solitamente confinate. Si tratta di depositi del Pleistocene inferiore di tipo litorale, lagunare e alluvionale originatisi a seguito della

fase di regressione marina. L'unità nei suoi livelli superiori non contiene macrofossili mentre risultano abbondanti i resti vegetali e le torbe. Nella zona della media e bassa pianura è stata definita anche come litozona-sabbioso argillosa (MARTINIS e MAZZARELLA 1971). Il tetto di questa unità ha un'inclinazione media verso sud di 0.5-0.8 % ed è caratterizzato da leggere ondulazioni solitamente di origine erosiva, che aumentano avvicinandosi alle aree pedemontane (AVANZINI M. *et al.*, 1995). Per questa ragione e per la maggiore presenza di materiali grossolani, i limiti con l'unità sovrastante nei settori dell'alta pianura non sono facilmente riconoscibili, tanto da non potere in alcuni casi, permettere una distinzione nella circolazione idrica delle due unità.

Unità a conglomerati e arenarie

L'unità è formata da litologie prevalentemente conglomeratiche con arenarie in subordine passanti localmente a ghiaie e sabbie. Si estende in gran parte del settore pedemontano e nella medio alta pianura tra il terrazzo delle Groane e il fiume Adda affiorando in corrispondenza delle valli più incise.

All'altezza del settore più meridionale di Milano, e in generale nel settore ovest della provincia, l'unità perde la propria connotazione litologica poiché viene sostituita lateralmente da terreni non cementati, sia sabbioso ghiaiosi che a minore granulometria: in queste aree viene di conseguenza accorpata ai terreni soprastanti formando un'unica unità sabbioso-ghiaiosa.

Unità sabbioso-ghiaiosa

In base alle ricostruzioni eseguite dagli Autori, può essere attribuita al Pleistocene medio ed affiora nelle aree pedemontane e di alta pianura dove forma i terrazzi morfologicamente più elevati, caratterizzati da uno strato di alterazione superficiale che lo rende scarsamente permeabile, così da favorire il deflusso superficiale delle acque.

Verso sud questa unità s'immerge al di sotto dell'unità fluvioglaciale del Würm (CAVALLIN *et al.*, 1983) e in corrispondenza della media pianura forma la parte basale dell'acquifero tradizionale (FRANCANI e POZZI, 1981) costituita da un'alternanza di depositi ghiaioso-sabbiosi, sabbiosi e limoso-argillosi con lenti conglomeratiche o arenitiche. Procedendo verso sud si verifica una riduzione di granulometria che conferisce caratteri litologici del tutto analoghi a quelli dell'unità sabbioso-argillosa in facies continentale: nella parte meridionale della provincia gli acquiferi in essa contenuti assumono quindi carattere di semiconfinamento o confinamento determinato dai diaframmi costituiti da limi e argille.

Unità ghiaioso-sabbiosa

Si tratta di materiali dell'Olocene e del Pleistocene superiore appartenenti al fluvioglaciale Würm e alle alluvioni recenti. Le lenti argillose sono di limitato spessore ed estensione areale, mentre prevalgono nettamente le litologie grossolane.

Nell'alta pianura l'unità si presenta generalmente insatura, mentre procedendo verso sud all'avvicinarsi del livello piezometrico alla superficie topografica l'unità forma il primo acquifero (FRANCANI e POZZI, 1981). Gli acquiferi contenuti in questa unità e in quella sabbioso-ghiaiosa viene spesso identificato come acquifero tradizionale: un acquifero monostrato che procedendo verso le aree meridionali diventa un complesso multifalda (AVANZINI *et al.*, 1995).

1.2.1.2 Generalità sugli acquiferi dell'area di studio

Facendo riferimento ad associazione di litotipi che presentano simili condizioni di circolazione idrica sotterranea, di alimentazione e di disposizione geometrica, sono stati distinti nell'ambito del territorio milanese tre complessi acquiferi principali, che sono separati su aree molto vaste da livelli impermeabili continui ed estesi. I complessi principali possono essere distinti in acquiferi di minore estensione tra di loro intercomunicanti. Questo lavoro è stato effettuato sull'analisi delle sezioni stratigrafiche che facevano parte dello studio pubblicato dalla Provincia di Milano nel dicembre 1995 intitolato: *Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano - Vol.1: Lineamenti idrogeologici*.

Sono stati identificati così i seguenti complessi acquiferi principali:

Acquifero TR

È l'acquifero superiore, sfruttato comunemente dai pozzi che arrivano fino agli 80-100 m dal piano campagna nel settore nord e fino 140 m a sud di Milano. Corrisponde a quello che viene chiamato da molti Autori "acquifero tradizionale", verrà di seguito abbreviato con la sigla TR, la cui base è generalmente definita dai depositi Villafranchiani. L'acquifero si distingue per l'essere costituito principalmente da depositi di granulometria da ghiaiosa a sabbiosa (unità ghiaioso-sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa) con rare lenti argillose, la cui estensione e spessore sono molto ridotti a nord, ma aumentano progressivamente verso sud dando luogo a numerosi acquiferi minori interconnessi tra loro.

Acquifero C

Il secondo acquifero, detto anche "acquifero profondo", è costituito dai livelli permeabili contenuti nei depositi continentali del Pleistocene inferiore: raggiunto da un numero limitato di perforazioni sarà successivamente indicato con la sigla C: a sua volta è suddiviso in quattro corpi idrici principali, identificati con numero progressivo da C1 a C4 dall'alto verso il basso, (AVANZINI *et al.*, 1995). Questi corpi, posti ad una profondità compresa tra i 70 e i 140 metri a nord e tra i 140 e 220 m a sud, corrispondono all'unità sabbioso-argillosa precedentemente descritta il cui limite inferiore è determinato dalla comparsa di lenti argillose fossilifere. Le litologie permeabili sono maggiormente presenti rispetto all'acquifero M, e numerosi pozzi presentano filtri in loro coincidenza per captare acque di buone caratteristiche qualitative.

La distinzione tra gli acquiferi C, soprattutto C1 e C2, e il sovrastante TR non è sempre possibile in tutta l'area considerata: procedendo verso nord infatti, le lenti argilloso-limose che determinano la separazione tra i due acquiferi, si assottigliano diventando arealmente discontinue per la maggior presenza di materiali grossolani.

Acquiferi M

Si tratta degli acquiferi posti nelle argille marine, in altre parole quella che in precedenza è stata definita come Unità argillosa. I pozzi presenti nell'area d'indagine che raggiungono le profondità necessarie per captare tali acquiferi sono piuttosto ridotti, per questa ragione compaiono sporadicamente nelle sezioni stratigrafiche e la loro ricostruzione e modellazione esula dagli scopi della presente ricerca.

Studi condotti da altri Autori (AVANZINI *et al.*, 1995; BAGNATI *et al.*, 1994) hanno comunque ben evidenziato l'ottima continuità spaziale e l'elevato spessore delle litologie fini che determinano, per gli acquiferi M, condizioni di alimentazione e circolazione distinte dagli acquiferi superiori.

Il limite con gli acquiferi sovrastanti C si approfondisce procedendo verso sud con un'inclinazione media dello 0.95% superiore a quella della superficie topografica (0.6%).

1.2.2 Schema semplificato della struttura idrogeologica

Al fine dello studio in atto si è ritenuto opportuno distinguere solamente due complessi acquiferi, dei quali il primo corrispondente ai depositi dell'Olocene e del Pleistocene superiore e medio (TR), e il secondo ai sedimenti villafranchiani (C); le falde contenute negli acquiferi M non sono state considerate agli effetti dell'indagine, in quanto il loro stato di contaminazione di origine antropica è ovunque irrilevante.

La struttura di questi acquiferi è stata sintetizzata nello studio eseguito dalla Provincia di Milano e dal Politecnico (AA.VV.,1995), che hanno illustrato sia le variazioni di spessore dell'acquifero tradizionale (TR), sia dei due acquiferi secondari che lo compongono. Infatti, all'interno dell'acquifero TR conviene comunque distinguere, dove se ne verificano le condizioni, un acquifero freatico e uno semiconfinato, separato dal precedente tramite lenti poco permeabili di spessore variabile e spesso discontinue. Numerose sezioni geologiche illustrano la struttura dell'area studiata.

Il problema della separazione fra l'acquifero freatico e quello semiconfinato non si pone nella parte settentrionale della Provincia, e comincia a delinearsi solo all'altezza della città di Milano, dove livelli limoso-argillosi fra 60 e 80 m di profondità danno luogo ad una parziale separazione all'interno dell'acquifero TR.

Dalle sezioni condotte da N a S, si osserva come tale distinzione si accentui procedendo Sud, quindi verso la parte meridionale del comune di Milano e della Provincia, per l'aumento di spessore e di continuità dei livelli poco permeabili. Agli effetti della qualità delle acque, questo stato di fatto non determina drastiche variazioni del chimismo della falda, o comunque differenze di concentrazione paragonabili a quelle che si hanno al passaggio fra il primo (TR) e il secondo acquifero (C). Non è stata quindi introdotta una cartografia dello stato di contaminazione del solo acquifero freatico, anche per la mancanza di un sufficiente numero di pozzi pubblici attestati in questi livelli.

Lo spessore dell'acquifero tradizionale appare rilevante nella parte occidentale della Provincia, e si attenua progressivamente a partire dalla valle del T. Seveso procedendo verso Est. Le sezioni sopracitate condotte in questa direzione, mostrano infatti come si venga a delineare una dorsale del substrato dell'acquifero TR, che dal F. Lambro si spinge fino al F. Adda. Questa dorsale è determinata da un sollevamento dei depositi del Pleistocene medio e inferiore che, anche senza raggiungere il centinaio di metri, risulta peraltro sensibilmente apprezzabile; ad esempio, dalle figure presentate, si osserva che il tetto dell'unità sabbioso-argillosa, arriva già a Monza fino a poche decine di metri dalla superficie. Gli effetti di tale dorsale sulle caratteristiche idrogeologiche dell'area si manifestano in una cospicua riduzione di spessore e di estensione dei depositi più permeabili e trasmissivi, che nella parte centroccidentale della provincia ospitano le maggiori disponibilità idriche. Questi terreni sono, infatti, sostituiti lateralmente da depositi di minore trasmissività di età più antica (Pleistocene medio).

L'esame delle sezioni geologiche consente di ricostruire le modalità di evoluzione del chimismo delle acque sotterranee, che si differenzia in modo marcato procedendo da N a S.

Infatti nella sezione W-E a nord di Milano, condotta fra Parabiago, Monza e Vaprio D'Adda, si osserva :

- a) una netta distinzione in più settori a carattere idrogeologico marcatamente differente: il settore della pianura wurmiana fra Parabiago e Garbagnate; il settore del terrazzo di Garbagnate ; quello dei depositi alluvionali del Lambro e del Seveso; il terrazzo di Vimercate-Roncello, risultante dalla presenza della dorsale di Monza ricordata in precedenza;

- b) la buona continuità laterale dell'acquifero freatico, che peraltro risulta contenuto in terreni a permeabilità e trasmissività differente;
- c) la rilevante eterogeneità dell'acquifero semiconfinato
- d) l'intercomunicazione verticale fra i due acquiferi, che non sono mai nettamente separati da un aquiclude

È importante rilevare che, in corrispondenza dei terrazzi, la vulnerabilità verticale degli acquiferi è molto ridotta, per la comparsa in superficie di sedimenti argilloso-limosi di discreto spessore, mentre nelle pianure wurmiane risulta estremamente accentuata. Si può quindi porre in evidenza come le contaminazioni si trasmettano ai depositi dei settori di Garbagnate e Roncello non per infiltrazioni dalla superficie dei terrazzi, ma provengano ad essi dai settori adiacenti, assai più esposti agli inquinamenti provenienti dalla superficie.

La propagazione delle contaminazioni verso valle è quindi rapida nelle pianure wurmiane, mentre è rallentata nelle zone di terrazzo dalla minore permeabilità degli acquiferi, la quale favorisce aumenti locali di concentrazione, ma ostacola la propagazione degli inquinanti.

Procedendo più a Sud, nella sezione fra Castano Primo, Busto Garolfo, Brugherio e Cassano d'Adda, si nota:

- a) un aumento generale della permeabilità dell'acquifero freatico, e della sua trasmissività, dovuta alla maggiore profondità alla quale si trovano i depositi del Pleistocene medio, generalmente meno permeabili, rispetto alle sezioni poste a monte
- b) il permanere della dorsale di Monza, che porta a una generale riduzione delle permeabilità e delle trasmissività in tutto il settore centrorientale
- c) l'aumento di spessore dell'acquifero freatico nella parte centrale della Provincia, fra Bollate e Cinisello Balsamo, che si accompagna a un aumento notevole della trasmissività a monte del comune di Milano

Nella sezione condotta poco a nord di Milano, fra Robecchetto con Induno, Bresso e Inzago, si può rilevare:

- a) la riduzione di trasmissività dei terreni in tutto il settore occidentale, fino a Rho
- b) il mantenimento di un elevato spessore dell'acquifero freatico, fra Rho e Cernusco sul Naviglio
- c) il permanere di condizioni di minore trasmissività in tutto il settore orientale
- d) la rilevante intercomunicazione verticale fra acquifero freatico e acquifero semiconfinato.

Infine, all'altezza di Milano, si osserva una generale attenuazione della permeabilità dei terreni dell'acquifero tradizionale, e la comparsa di un aquiclude abbastanza netto che separa l'acquifero freatico dal semiconfinato. Rimane inoltre evidente il permanere di una elevata trasmissività nel settore centrale, corrispondente al comune di Milano, in tutto l'acquifero tradizionale. Le sezioni condotte da N a S si possono distinguere, secondo che siano impostate lungo le pianure wurmiane, o attraversino prevalentemente i depositi fluvioglaciali più antichi.

Nel primo caso, è evidente la continuità dell'acquifero freatico, e la sua ottima permeabilità fino all'altezza di Milano, dove anche nei primi metri si manifesta la presenza di lenti limose e argillose che finiscono con il prevalere nella parte meridionale della città. A Sud di Milano l'acquifero freatico presenta poco più di una decina di metri di spessore, ed è sostituito a maggiore profondità da acquiferi semiconfinati. In queste condizioni, ad una maggiore protezione degli acquiferi, si aggiunge una facile veicolazione verso valle dei contaminanti, poiché i valori di permeabilità riscontrati in queste aree rimangono discretamente elevati, come indicato nel paragrafo successivo.

Le sezioni condotte lungo i depositi fluvioglaciali del Pleistocene medio (acquifero TR), mostrano come la loro permeabilità sia invece notevolmente inferiore a quella dei depositi più recenti, e come la loro vulnerabilità si mantenga ridotta su estensioni notevoli di territorio. In corrispondenza dei

terrazzi mindeliani e rissiani, il primo acquifero, nonostante la copertura limoso-argillosa, è sempre in condizioni freatiche e la portata unitaria della falda che vi è contenuta risulta molto ridotta, rispetto alla portata complessiva della falda contenuta nell'acquifero tradizionale. I fenomeni d'inquinamento che colpiscono il primo acquifero in questi settori, sono pertanto irrilevanti ai fini del degrado qualitativo dell'acquifero tradizionale.

2. Caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi

2.1 Permeabilità degli acquiferi

Nel caso in esame non potendo, eseguire per ovvie ragioni di costi, un numero sufficiente di prove di pompaggio, si è ricorso al metodo Cassan che ha permesso la ricostruzione dei valori di trasmissività con una precisione ritenuta sufficiente per gli scopi dello studio.

Il metodo Cassan permette di calcolare il valore di trasmissività di un acquifero partendo dai dati, generalmente riportati nelle stratigrafie, rilevati durante la prova di collaudo di un pozzo.

Dal momento che sussiste la nota relazione

$$R_a = \frac{Q}{2\pi T}$$

Dove Q è la portata e T è la trasmissività dell'acquifero.

Detto σ il rapporto

$$\sigma = \frac{s_0}{J_0 r_p}$$

in cui s_0 è l'abbassamento nel pozzo, J_0 è il gradiente piezometrico e r_p è il raggio del pozzo, e detto θ il rapporto s_0/R_a si ottiene:

$$\theta + \ln \theta = \ln \sigma$$

Quest'equazione può essere risolta graficamente o, come è stato fatto nel nostro caso, numericamente tramite un foglio elettronico di calcolo. Conoscendo i dati costruttivi del pozzo e la differenza tra livello statico e dinamico riportati spesso nelle stratigrafie dei pozzi, è possibile calcolare σ , θ e quindi il valore di trasmissività.

2.2 Distribuzione dei valori di trasmissività

Per il calcolo dei valori di trasmissività sono stati utilizzati i dati riportati nelle stratigrafie dei pozzi. Il valore del gradiente idraulico è basato sul valore medio rilevato, nell'area circostante ogni singolo pozzo, attraverso le campagne piezometriche condotte tra il 1996 e il 1998. Il diametro del pozzo utilizzato corrisponde al valore medio dei tratti con presenza di filtri.

Nella scelta dei pozzi da utilizzarsi per queste operazioni si è fatta attenzione a selezionare esclusivamente quelli non multifalda: attraverso le sezioni stratigrafiche è stato controllato che i filtri del pozzo considerato cadessero all'interno di un solo acquifero. In questo modo è stato possibile ottenere valori di trasmissività dei singoli corpi idrici principali, un passaggio fondamentale per la valutazione del carico inquinante.

Per il calcolo dei valori di trasmissività si è fatto ricorso anche ad alcuni valori desunti da prove di pompaggio condotte da privati e da Autori precedenti. Per una prima indicazione, si riportano i valori medi per acquifero, suddivisi in tre zone (settentrionale, centrale e meridionale); dove la zona centrale corrisponde alla fascia dei fontanili.