

Gli strumenti idrogeologici per la gestione delle acque sotterranee nella Citta' Metropolitana di Milano

A cura di Vincenzo Francani, Giovanni Formentin, Dario Fumagalli

vincenzo.francani@polimi.it, giovanni.formentin@tethys-geco.it, dario.fumagalli@tethys-geco.it

Indice

1	PREMESSA.....	2
2	LE FONTI DOCUMENTALI	2
2.1	PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO	3
2.1.1	SCENARI EVOLUTIVI E STRATEGIE DI PIANO	4
2.1.2	DATI DEMOGRAFICI ED EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA POPOLAZIONE	5
2.1.3	ASPETTI GEOLOGICI – IDROGEOLOGICI – IDROLOGICI.....	6
2.2	PIANO DI TUTELA E USO DELLE ACQUE.....	6
2.3	GEOPORTALE DELLA REGIONE LOMBARDIA	7
2.4	CONSORZIO VILLORESI	8
2.5	SIA	9
2.6	ARPA.....	9
1.1.	ISTAT.....	10
2.7	RILIEVO PIEZOMETRICO.....	10
3	RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA E MODELLO CONCETTUALE	11
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	11
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO SECONDO IL FOGLIO GEOLOGICO MILANO.....	11
3.3	STRUTTURA IDROGEOLOGICA.....	12
3.4	I FATTORI CHE CONDIZIONANO L'EVOLUZIONE PIEZOMETRICA E IDROCHIMICA.....	14
3.4.1	PRELIEVI	14
3.4.2	RICARICA METEORICA	15
3.5	EVOLUZIONE DEMOGRAFICA	15
4	CONCLUSIONI.....	18
5	BIBLIOGRAFIA	19

1 PREMESSA

La previsione del futuro comportamento piezometrico ed idrochimico delle falde nel territorio della città metropolitana milanese, che comprende 858 comuni, una popolazione di 7.528.000 abitanti e copre una superficie di 8.054 km², è agevolata dalla presenza di una rilevante quantità di dati ordinati e aggiornati dagli Enti che sovrintendono a questi problemi. Questo studio rappresenta una sintesi della documentazione utilizzabile per affrontare i problemi gestionali che in continuo vengono proposti dall'espansione urbana e dal mutevole contesto socio-economico della città metropolitana.

2 LE FONTI DOCUMENTALI

In primo luogo la ricerca si può fondare sull'analisi dei Piani di Governo del Territorio (PGT) dei Comuni di interesse e di quelli ad essi limitrofi. Il PGT è uno strumento urbanistico – e non solo – introdotto in Lombardia dalla Legge Regionale n.12 dell'11 marzo 2005. Dei contenuti dei PGT risultano particolarmente utili le relazioni e gli studi geologici che corredano ciascun Piano, in cui vengono presentati dati ed informazioni relativi alla geologia, all'idrogeologia e ad altri parametri di interesse riferiti alle aree di interesse. Una visione d'insieme riguardo agli aspetti legati alle acque può essere ottenuta esaminando il Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), redatto dalla Regione Lombardia, il quale, come si può leggere nella Prefazione dello stesso, “[..] rende disponibile e organizza le informazioni sui dati ambientali relativi ai bacini idrografici e alle risorse idriche, consentendo la diffusione della conoscenza in materia [..]”.

Parallelamente a questa analisi documentale si è provveduto alla raccolta dei dati, riportati spesso solo in forma descrittiva nei documenti appena citati, attingendo da diverse fonti quelli funzionali alle elaborazioni necessarie per il presente studio.

In primis è stata effettuata una raccolta di informazioni territoriali di vario genere, principalmente composta dalle basi geografiche di riferimento (cartografia tecnica) e da diverse basi informative tematiche (uso del suolo, reticolo idrografico, fontanili). Questi dati vengono elaborati dall'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Lombardia e sono resi disponibili all'utenza pubblica e privata attraverso il GeoPortale della Regione Lombardia.

Per la raccolta di informazioni di dettaglio relative ai canali irrigui presenti nell'area, è opportuno consultare gli archivi o il personale dei consorzi di gestione. L'area milanese è presidiata dal Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi (ETVilloresi), ente pubblico in carico della gestione delle strutture necessarie all'irrigazione dei terreni agricoli nel comprensorio lombardo compreso tra il fiume Ticino, l'Adda, il Lambro ed il Po.

Una ulteriore preziosa fonte di informazioni e di dati è costituita dal Sistema Informativo Ambientale (SIA) della Provincia di Milano, archivio online in cui sono conservate le informazioni ed i dati relativi alla presenza e posizione di pozzi e piezometri all'interno della provincia, accompagnati da annesse informazioni stratigrafiche e litologiche, nonché i dati dei livelli di falda misurati nel tempo presso alcuni punti della rete complessiva e presso i punti di controllo delle cave presenti nel territorio.

Per quanto riguarda i dati meteo-climatici, le principali variabili d'interesse per l'area in esame sono estraibili dalla banca dati online di ARPA Lombardia, che rende pubblici i dati registrati dalla rete di monitoraggio meteorologico del Servizio Meteorologico Regionale. Sono così disponibili tutte le informazioni necessarie alla stima dell'evapotraspirazione per le aree in esame, a cadenza giornaliera, in un intervallo temporale compreso a partire dal 2001 a oggi. Per estendere tale analisi ad un intervallo temporale più ampio, è stato consultato l'archivio della stazione meteorologica dell'aeroporto di Milano-Linate, riportante dati di pioggia a partire dal 1951, e gli annali idrologici contenenti i dati pluviometrici a partire dal 1917 per la stazione meteorologica di Lambrate.

Altri dati di notevole importanza si ricavano consultando le banche dati messe a disposizione dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), in particolare per quanto riguarda l'evoluzione demografica nei singoli comuni.

2.1 PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Il PGT è uno strumento di pianificazione urbanistica redatto allo scopo di definire l'assetto dell'intero territorio comunale. È composto da tre atti diversi: il Documento di piano, il Piano dei servizi ed il Piano delle regole ed ha una validità di cinque anni, trascorsi i quali si dovrebbe procedere ad una verifica delle realizzazioni e ad eventuali correzioni. In ciascuno dei tre documenti che compongono il PGT è stato possibile reperire numerose informazioni

utili a comprendere diversi aspetti che caratterizzano il territorio e la popolazione dei comuni oggetti dello studio. I documenti che compongono i PGT sono così articolati:

- **Documento di piano:** definisce il quadro generale della programmazione urbanistica anche in base a proposte avanzate dai cittadini o da associazioni di cittadini; ha inoltre lo scopo di definire e pianificare lo sviluppo della popolazione residente nel comune e deve prevedere un lavoro di analisi del territorio comunale da tutti i punti di vista, compresi quello geologico, ambientale, urbanistico, viabilistico, infrastrutturale, economico, sociale e culturale. Questo documento deve anche evidenziare eventuali beni storici o ambientali di particolare interesse di cui tener conto nel corso della programmazione urbanistica. Il documento di piano si configura quindi come primo atto nella stesura del PGT;
- **Piano dei servizi:** definisce le strutture pubbliche o di pubblico interesse di cui il comune necessita. Deve pertanto tenere conto della popolazione residente nel comune o che gravita in esso, così come di quella prevista in futuro dal Documento di piano. Il Piano dei servizi prende in considerazione anche i costi operativi delle strutture pubbliche già esistenti ed i costi di realizzazione di quelle previste, analizzando la loro fattibilità e definendo la modalità di realizzazione dei servizi. Le aree identificate come di pubblico interesse danno luogo ad indicazioni di tipo prescrittivo e vincolante per cinque anni dall'entrata in vigore del PGT, indicazioni che decadono qualora il servizio non sia inserito entro questo termine nel programma triennale delle opere pubbliche;
- **Piano delle regole:** definisce la destinazione delle aree del territorio comunale, così come accadeva nel vecchio Piano Regolatore Generale. In particolare vengono individuate le aree destinate all'agricoltura, quelle di interesse paesaggistico, storico o ambientale e quelle per cui non è prevista nessuna trasformazione urbanistica. Il Piano delle regole definisce anche le modalità degli interventi urbanistici, sia sugli edifici esistenti che su quelli di nuova realizzazione, stabilendo quanto costruire, come costruire e quali sono le destinazioni non ammissibili.

2.1.1 SCENARI EVOLUTIVI E STRATEGIE DI PIANO

Gli aspetti connessi al futuro sviluppo urbanistico dei comuni e alle politiche di utilizzo del territorio sono di cruciale importanza ai fini del lavoro, consentono infatti di identificare gli elementi su cui basare le previsioni circa il futuro utilizzo del suolo. L'individuazione di linee

di indirizzo circa la futura trasformazione del territorio agevola il processo di previsione dell'evoluzione futura di alcuni parametri che possono influenzare, anche significativamente, le grandezze che governano l'evoluzione dei livelli di falda. Tra questi parametri si possono citare ad esempio: la permeabilità dei suoli, le irrigazioni, l'infiltrazione efficace delle piogge. Dall'analisi dei PGT sono emerse delle strategie e degli scenari evolutivi che tendono ad assumere come denominatore comune quello di uno sviluppo urbanistico che contenga il consumo di suolo, favorendo politiche di recupero e trasformazione di aree già urbanizzate, attraverso la riqualificazione del tessuto edilizio esistente. Nonostante tale dichiarazione d'intenti, è comunque previsto nel breve periodo un incremento delle aree urbanizzate, anche a scapito di aree attualmente permeabili non urbanizzate. Sono difatti in atto nuove realizzazioni edilizie basate su progetti, già approvati e in corso di attuazione, spesso riconducibili a pianificazioni passate antecedenti ai PGT in vigore. In questi casi i PGT prevedono, come strumento di compensazione, la realizzazione di nuove aree permeabili destinate a verde pubblico. Un altro elemento che accomuna i Piani esaminati è dato dalla volontà di preservare e, in alcuni casi, rafforzare le realtà agricole esistenti. Le superfici delle aree destinate all'agricoltura, così come il numero delle aziende agricole in attività, sono diminuite nel corso degli ultimi anni. Le realtà agricole costituiscono comunque una importante eredità del passato recente che a lungo ha caratterizzato il paesaggio e l'utilizzo del territorio; vi è quindi l'interesse e l'intenzione da parte delle amministrazioni di preservarle per il futuro, recuperandone e valorizzandone in alcuni casi le funzionalità (es. Parco delle Cascine di Pioltello).

2.1.2 DATI DEMOGRAFICI ED EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA POPOLAZIONE

L'informazione relativa all'evoluzione della popolazione residente in un determinato comune nel tempo costituisce un indicatore per effettuare una stima, seppure indiretta, dell'evoluzione dei consumi idrici nel tempo. I consumi idrici sono a loro volta indicativi dei prelievi a scopo potabile dalla falda, effettuati tramite la rete di pozzi a servizio dell'acquedotto. Per questa ragione il dato relativo all'evoluzione della popolazione residente negli ultimi anni fornisce un utile indicatore della tendenza alla crescita, alla decrescita o alla stabilità, dei consumi di acqua. I dati contenuti nei PGT sono quindi funzionali alla valutazione dell'andamento dei consumi negli ultimi anni ed allo stesso tempo consentono di effettuare una stima degli scenari futuri. Ad ogni modo per avere delle stime proiettate su un orizzonte

di medio-lungo periodo, come quello considerato per lo studio oggetto del lavoro, sono state utilizzate le previsioni sviluppate da ISTAT.

2.1.3 ASPETTI GEOLOGICI – IDROGEOLOGICI – IDROLOGICI

Allegate ai Piani vi sono Relazioni tecniche inerenti gli aspetti geologici che caratterizzano le aree di ciascun Comune. In questi documenti sono esaminate le componenti geologica, idrogeologica e sismica del territorio e sono riportati dati inerenti altri importanti aspetti quali ad esempio l'idrologia e le caratteristiche climatologiche dell'area, le acque superficiali e l'uso del suolo. Dalla lettura delle relazioni tecniche sono state quindi individuate informazioni relative ai seguenti parametri:

- geologia: informazioni stratigrafiche e litologiche;
- idrogeologia: carte piezometriche, andamento nel tempo dei livelli piezometrici, valori di permeabilità;
- idrologia e aspetti climatici: temperature medie, massime e minime, precipitazioni medie e indicazione dei mesi mediamente più piovosi e dei meno piovosi;
- acque superficiali: indicazione dei principali corsi d'acqua, dei reticoli idrografici minori e dei periodi in cui le rogge e i canali sono utilizzati per l'irrigazione dei campi agricoli.

2.2 PIANO DI TUTELA E USO DELLE ACQUE

Nel documento del Programma di tutela e uso delle acque (PTUA) sono contenute numerose informazioni circa le acque superficiali e sotterranee che caratterizzano i diversi bacini in cui è suddiviso il territorio della Regione Lombardia. L'area di interesse ai fini dello studio è inserita nel bacino racchiuso tra i fiumi Ticino e Adda, denominato per l'appunto "Bacino Adda – Ticino". L'area del Bacino è a sua volta suddivisa in 24 sotto-bacini; i comuni oggetto dello studio ricadono nei sotto-bacini 18 e 14 (vedi Figura tratta dall'Allegato 3 al PTUA).

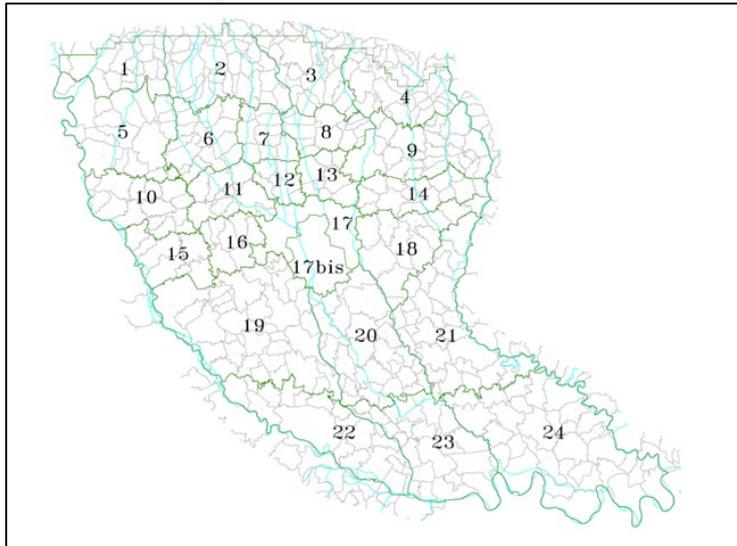


Figura 1 - Bacino 3 Adda-Ticino ed i relativi 24 settori in cui è stato suddiviso.

Nel PTUA sono quindi contenuti dati ed elaborazioni che forniscono elementi sia qualitativi sia quantitativi dello stato della risorsa idrica sotterranea. In particolare sono stimati i valori di prelievo idrico da pozzo e di ricarica sia per l'intero bacino sia per ciascuno dei sotto-bacini. Sono inoltre fornite indicazioni per quanto riguarda le diverse voci del bilancio idrico, specificando per ciascun settore l'influenza di ciascuna di esse. Ulteriori informazioni riguardano l'assetto degli acquiferi e la loro caratterizzazione idrogeologica (spessori, valori di trasmissività, ecc.). Sono evidenziate anche le aree in cui si verificano degli squilibri nel bilancio idrico, in particolare dove i prelievi risultano molto superiori rispetto alla ricarica; tale aspetto non coinvolge tuttavia i due sotto-bacini di interesse che risultano infatti in classe quantitativa A (rapporto prelievi/ricarica pari a circa 0,5). Sia per il sotto-bacino 14 sia per il 18 è invece sottolineato l'incremento dei livelli di falda riscontrato negli ultimi anni, attribuito in particolare alla riduzione dei prelievi da pozzo delle acque di falda. Tale effetto è particolarmente evidente nell'area del comune di Pioltello ed il fenomeno è messo in relazione alla riduzione delle attività del Polo industriale ivi presente.

2.3 GEOPORTALE DELLA REGIONE LOMBARDIA

Il GeoPortale della Regione Lombardia è uno strumento di condivisione di informazioni di tipo geografico inerenti il territorio lombardo: fornisce on-line una serie di servizi per il pubblico, che includono un visualizzatore cartografico di informazioni spazialmente distribuite, un catalogo dei dati e dei servizi geografici realizzati in Lombardia ed un servizio di download,

attraverso cui è possibile scaricare alcune banche dati. I contenuti ivi presenti sono quelli raccolti da diversi enti ed organizzazioni facenti parte dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Lombardia che si occupa della condivisione.

Attraverso questo servizio è stato possibile consultare e raccogliere una serie di carte geografiche e tematiche, alla base di diverse elaborazioni presentate nel seguito. Le informazioni raccolte, sotto forma di dati vettoriali adatti all'utilizzo con strumenti di tipo GIS, sono le seguenti:

- carte tecniche regionali relative al reticolo idrografico regionale (principale e secondario);
- cartografia vettoriale dell'uso del suolo (DUSAF);
- cartografia vettoriale dei punti quotati del piano campagna;
- cartografia vettoriale della presenza e stato dei fontanili della Lombardia;
- cartografia vettoriale della presenza dei laghi di cava.

2.4 CONSORZIO VILLORESI

La raccolta di informazioni precise inerenti i canali irrigui che potrebbero influenzare i livelli di falda, può avvenire consultando il Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, ente gestore del comprensorio che include i terreni irrigati dal Canale Villoresi e quelli irrigati con le acque derivate dai Navigli Grande, Bereguardo, Pavese e Martesana. Il comprensorio amministrato ha una superficie complessiva pari a circa 280.000 ettari ed interessa una vasta area al centro della regione Lombardia, racchiusa da confini naturali formati dai corsi d'acqua Ticino, Adda, Lambro e Po.

Tra le informazioni che occorre raccogliere, è possibile citare l'estensione fisica dei canali irrigui, la configurazione geometrica degli alvei ed la copertura (ad esempio, in terra o rivestiti in cemento), le portate transitanti e gli interventi di manutenzione periodica e di ristrutturazione previsti o realizzati. Può essere utile, in caso di studi di dettaglio, raccogliere informazioni riguardo alla distribuzione delle reti di irrigazione secondarie e private, con le portate derivate e le aree di pertinenza di ciascuna derivazione. Tali informazioni hanno di norma una precisione limitata, poiché la gestione delle derivazioni è in mano agli utilizzatori finali: anche la stima delle variazioni periodiche delle portate irrigate risente pertanto di una certa imprecisione.

2.5 SIA

Il SIA (Sistema Informativo Ambientale) è lo strumento, implementato utilizzando tecnologia Web-GIS, di cui si è dotata la Provincia di Milano per permettere la condivisione pubblica dei dati ambientali di varia natura all'interno del proprio territorio, con particolare indirizzo verso quelli inerenti le acque superficiali e sotterranee. Attraverso tale strumento è possibile estrarre ed elaborare dati di carattere ambientale, provenienti dagli archivi gestiti da Uffici della Provincia di Milano o da altri Enti, ed effettuare una rappresentazione spaziale dei dati in un sistema cartografico georeferenziato. Attraverso gli strumenti di catalogo e ricerca è quindi possibile navigare nel SIA, individuare gli archivi disponibili, le modalità di consultazione e acquisizione dei dati in essi contenuti ed i metadati associati. Nel corso del lavoro il database del SIA è stato consultato al fine di reperire diverse tipologie di dati:

- ubicazione dei pozzi e piezometri;
- distinzione di utilizzo dei pozzi (pubblici di servizio all'acquedotto, privati con vari utilizzi);
- stratigrafie di pozzi e piezometri;
- misure di livello piezometrico nel tempo;
- elaborazioni piezometriche a scala provinciale;
- livelli misurati presso le cave;
- cartografia del reticolo idrografico (principale, secondario, fontanili, rogge, etc.).

2.6 ARPA

ARPA Lombardia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia) è un ente attivo dal 1° dicembre 1999 che svolge attività e servizi volti a supportare le scelte di politica ambientale delle istituzioni locali e, più in generale, di tutti gli enti pubblici che si occupano della gestione del territorio regionale. Più precisamente si occupa della raccolta e elaborazione dei dati ambientali da fornire come supporto decisionale agli organi di governo e ai privati per la libera consultazione e utilizzo.

A partire dal 1 gennaio 2004, ARPA ha assorbito le competenze regionali in ambito meteorologico, fino ad allora distribuite tra vari Enti, dando vita al Servizio Meteorologico Regionale (SMR): attraverso la propria rete, costituita da 250 stazioni automatiche di misura operanti in tempo reale, distribuite sul territorio, è in grado di monitorare in continuo le

variabili meteorologiche, elaborarle e archivarle all'interno del portale online, fruibile a tutti i cittadini. In particolare, l'archivio online permette l'accesso ai dati misurati delle seguenti grandezze:

- precipitazione
- temperatura
- pressione atmosferica
- velocità e direzione del vento
- umidità relativa
- radiazione globale
- radiazione netta

necessarie ai fini del calcolo dei valori di evapotraspirazione da sottrarre alle precipitazioni occorse, per la stima dei valori di ricarica meteorica.

1.1. ISTAT

L'Istituto nazionale di statistica è un ente di ricerca pubblico. Presente nel Paese dal 1926, è il principale produttore di statistica ufficiale a supporto dei cittadini e dei decisori pubblici. L'Istat è l'amministrazione che contribuisce di più in termini di dataset rilasciati: è in sostanza il maggior produttore di open data in Italia. Anche per questa ragione, nel corso del lavoro è stato consultato il database dell'ISTAT al fine di ottenere conferme dei dati rinvenuti nei PGT circa l'evoluzione nel corso degli ultimi anni delle popolazioni dei comuni interessati dallo studio, ampliando in alcuni casi la serie storica dei dati disponibili. L'ISTAT ha anche effettuato una interessante previsione dell'evoluzione futura, relativa ai prossimi cinquanta anni, della popolazione della Regione Lombardia;

2.7 RILIEVO PIEZOMETRICO

La Provincia di Milano esegue periodicamente delle campagne di misura dei livelli piezometrici su una rete di circa 350 pozzi e piezometri distribuiti nel proprio territorio. Le piezometrie ricostruite a partire da tali rilievi, disponibili per la consultazione presso il portale online, descrivono il deflusso idrico dell'acquifero tradizionale ad una scala sub-regionale.

3 RICOSTRUZIONE IDROGEOLOGICA E MODELLO CONCETTUALE

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Le unità geologiche rappresentate sul Foglio Geologico Milano sono costituite essenzialmente da depositi fluvioglaciali e fluviali quaternari, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi (indicati con la generica accezione di Diluvium recente), attribuiti dagli studiosi alle diverse fasi delle glaciazioni Wurm , Riss e Mindel , secondo la definizione di Penck e Bruckner (1909). Una nuova cartografia è stata di recente introdotta, con l'adozione delle unità allostratigrafiche, che suddividono i depositi alluvionali e glaciali secondo criteri sedimentologici. Tali unità si distinguono per corrispondere a un episodio sedimentario ben definito da superfici di discontinuità chiaramente ricostruibili. Una importante analisi delle unità allo stratigrafiche di interesse è stata eseguita in questi anni da A. Bini e dai suoi collaboratori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano, e ad essa si rimanda per gli approfondimenti sugli aspetti geologici.

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO SECONDO IL FOGLIO GEOLOGICO MILANO

L'area milanese secondo la letteratura tecnica degli anni precedenti al 1980 (Nordio E., 1957, Braga et al., 1969; Comizzoli et al., 1969; Orombelli, 1979; Riva, 1947), dalle seguenti unità idrostratigrafiche, riportate di seguito dalla più antica alla più recente:

- Villafranchiano, è rappresentato nella parte basale da argille e limi di colore grigio azzurro, mentre nella parte sommitale da argilla e limi di colore grigio giallo, con intercalazioni di lenti sabbiose. In corrispondenza del comune di Milano è stato rilevato il passaggio tra le facies marine e quelle di transizione e continentali;
- Ceppo lombardo costituito prevalentemente da conglomerati e arenarie molto cementate passanti lateralmente a ghiaia e sabbie, si rinviene solitamente in corrispondenza delle incisioni dei corsi d'acqua e prevalentemente nel settore orientale della provincia di Milano;
- Depositi fluvioglaciali Riss e Mindel Auct., costituiti da depositi eterogenei formati da materiali grossolani immersi in una matrice sabbioso-limosa, si raccordano con le cerchie moreniche a monte e con il livello fondamentale della pianura tramite dei terrazzi. La superficie dei terrazzi risulta ricoperta da suolo rosso (Ferretto) spesso fino

a qualche metro. I depositi sono talvolta ricoperti alla sommità da materiale di origine eolica (loess);

- depositi fluvioglaciali Wurm Auct., costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con lenti limose, essi rappresentano il “livello fondamentale della pianura”. La granulometria di questi sedimenti diminuisce verso valle;
- alluvioni antiche e recenti, costituite da depositi ghiaiosi sabbiosi, esse si sono depositate successivamente alle glaciazioni Wurm.

3.3 STRUTTURA IDROGEOLOGICA

La struttura idrogeologica dell'area può essere ricostruita integrando le informazioni geologiche ricavabili dai pozzi e piezometri presenti nel dominio di studio, desunte dal database informativo della Provincia di Milano. Sulla base delle caratteristiche litologiche individuate, si riconoscono nel sottosuolo tre principali unità idrostratigrafiche, distinguibili per omogeneità di costituzione e continuità orizzontale e verticale, la cui denominazione trae spunto dal modello geologico del sottosuolo della pianura a scala regionale proposto da Regione Lombardia in collaborazione con Eni - Divisione Agip (2002).

A questa distinzione si affianca quella di Avanzini, Beretta, Francani e al. (1992). Una sinonimia delle unità idrogeologiche è riportata in Francani V., *Idrogeologia ambientale*, 2014, ed è qui riprodotta con alcune variazioni (fig. 2).

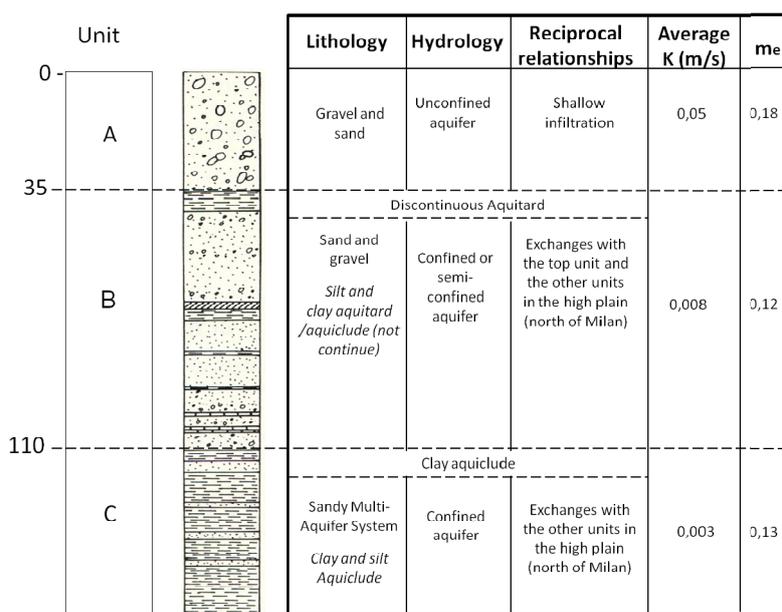


Fig. 2 - serie idrogeologica di Milano, e rappresentazione sintetica delle caratteristiche delle unità idrostratigrafiche dell'area cittadina.

Di seguito si riporta una descrizione delle caratteristiche principali delle unità idrostratigrafiche, dalla più superficiale a quella più profonda, escludendo quelle più antiche, poco utilizzate dagli acquedotti.

Unità A: corrisponde alla porzione superiore del cosiddetto Acquifero Tradizionale, presenta uno spessore medio di circa 30/40 metri ed è costituito in prevalenza da litologie grossolane ad alta permeabilità (ghiaie e sabbie con presenza diffusa di ciottoli), con limitate intercalazioni limo-sabbiose e argillose, generalmente prive di continuità laterale. È sede della falda libera superficiale e presenta, in gran parte del territorio milanese ed in particolare nel territorio dei comuni a sud ed est, valori di soggiacenza di pochi metri da piano campagna.

Unità B: corrisponde alla porzione inferiore del cosiddetto Acquifero Tradizionale, presenta uno spessore medio di circa 50/60 metri, raggiungendo una profondità di circa 100 metri da p.c. Le litologie incontrate sono tipicamente rappresentate da sabbie e ghiaie con intercalazioni consistenti di limi e argille sabbiose, caratterizzate da una buona continuità laterale. L'acquifero risulta localmente separato dall'acquifero superficiale dalla presenza di livelli limoso-argillosi (aquitard) che si possono individuare con discreta continuità nella porzione meridionale dell'area individuata, mentre risultano assenti nella porzione più a nord. Talvolta in sostituzione dei livelli argillosi si possono incontrare sabbie fini. Le caratteristiche tessiturali e la variazione dello spessore di questo orizzonte meno permeabile, talvolta addirittura non individuabile, rendono la falda presente dell'acquifero B da semiconfinata a confinata, in base al grado di separazione creato dai livelli meno permeabili. Tale falda è generalmente l'oggetto della captazione dei pozzi pubblici dell'acquedotto di Milano e dei comuni limitrofi, poiché maggiormente protetta rispetto a quella dell'acquifero A.

Unità C: la litologia prevalente è di tipo limoso, argillo-sabbiosa, con subordinate intercalazioni di sabbie medio-fini e ghiaie. L'unità è sede di falda acquifere profonde di tipo confinato, generalmente riservate all'uso idropotabile. Tale acquifero non rientra nell'analisi oggetto del presente studio.

3.4 I FATTORI CHE CONDIZIONANO L'EVOLUZIONE PIEZOMETRICA E IDROCHIMICA

Gli andamenti dei livelli piezometrici della falda vengono condizionati da diversi fattori, sia naturali (afflusso della falda da monte, ricarica meteorica) che antropici, legati alla popolazione ed alle attività svolte nel territorio: nel caso in esame, si tratta di prelievi ed irrigazioni. Vengono descritte nel seguito le variabili di interesse che, nell'area in esame, condizionano il deflusso della falda.

3.4.1 PRELIEVI

Il prelievo delle acque di falda tramite pozzi costituisce uno dei fattori più influenti nel territorio in esame. Un esempio estremamente chiaro di tale influenza è dato dalla città di Milano, dove si concentrano i pompaggi dei numerosi pozzi di servizio all'acquedotto che generano un consistente abbassamento dei livelli di falda il cui effetto si risente in tutta l'area del comune ed anche nei dintorni (fig. 3).

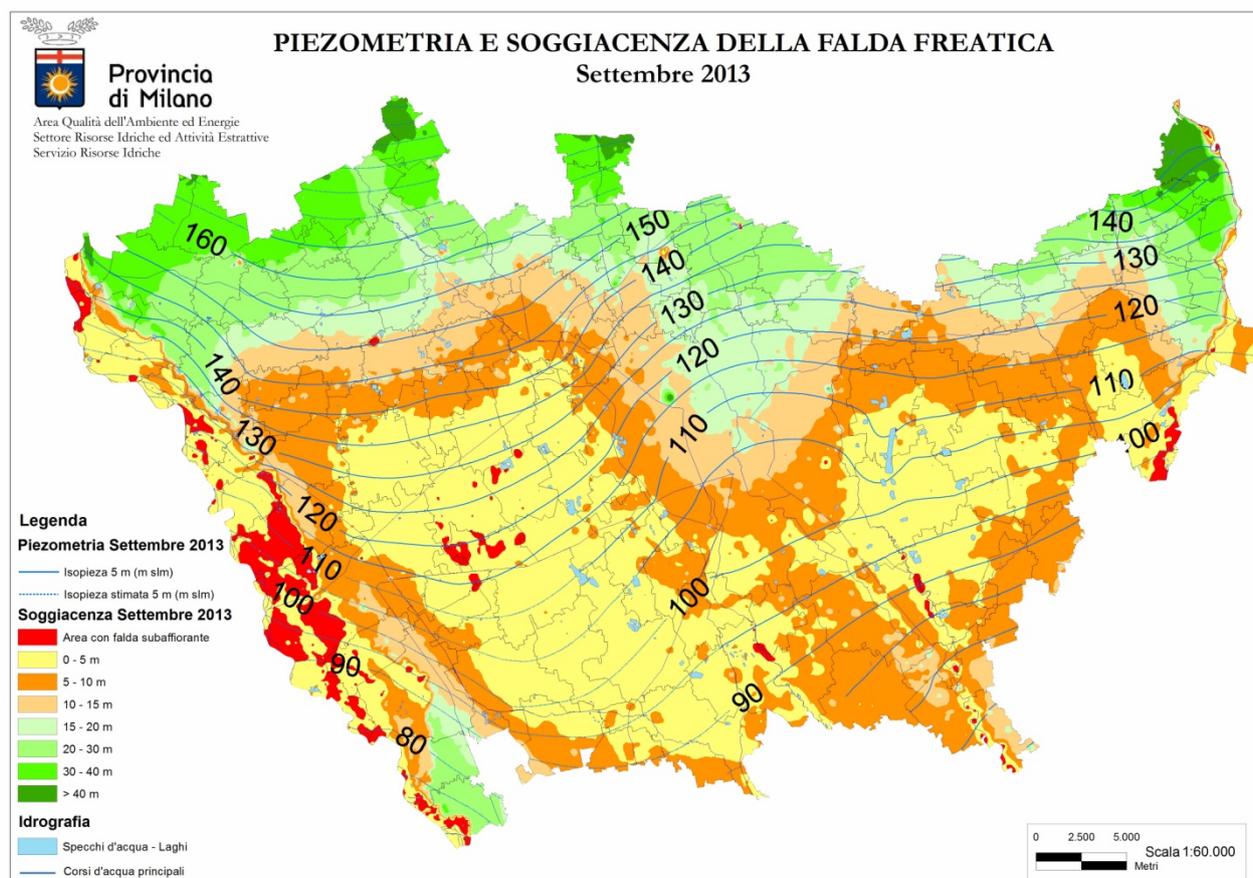


Figura 3 - Carta piezometrica della falda freatica nella Provincia di Milano – settembre 2013. Nell'area del Comune di Milano è evidente l'effetto dei pompaggi attivi che comporta un abbassamento dei livelli di falda (curvatura convessa delle isopieze).

3.4.2 RICARICA METEORICA

I dati meteorologici servono a valutare l'entità della ricarica alla falda. Il territorio milanese ospita parecchie centrali meteorologiche: se ne contano sette nel solo capoluogo. I dati rilevati in tutte le stazioni regionali possono essere recuperati presso il sito internet di ARPA Lombardia.

Per quanto riguarda l'andamento delle precipitazioni in Milano, i valori cumulati annui misurata dalla stazione di Milano Lambrate sono mostrati in fig. 4. La precipitazione media risulta pari a 971 mm/anno; il valore massimo annuale registrato corrisponde a 1645 mm registrati nel 2014.

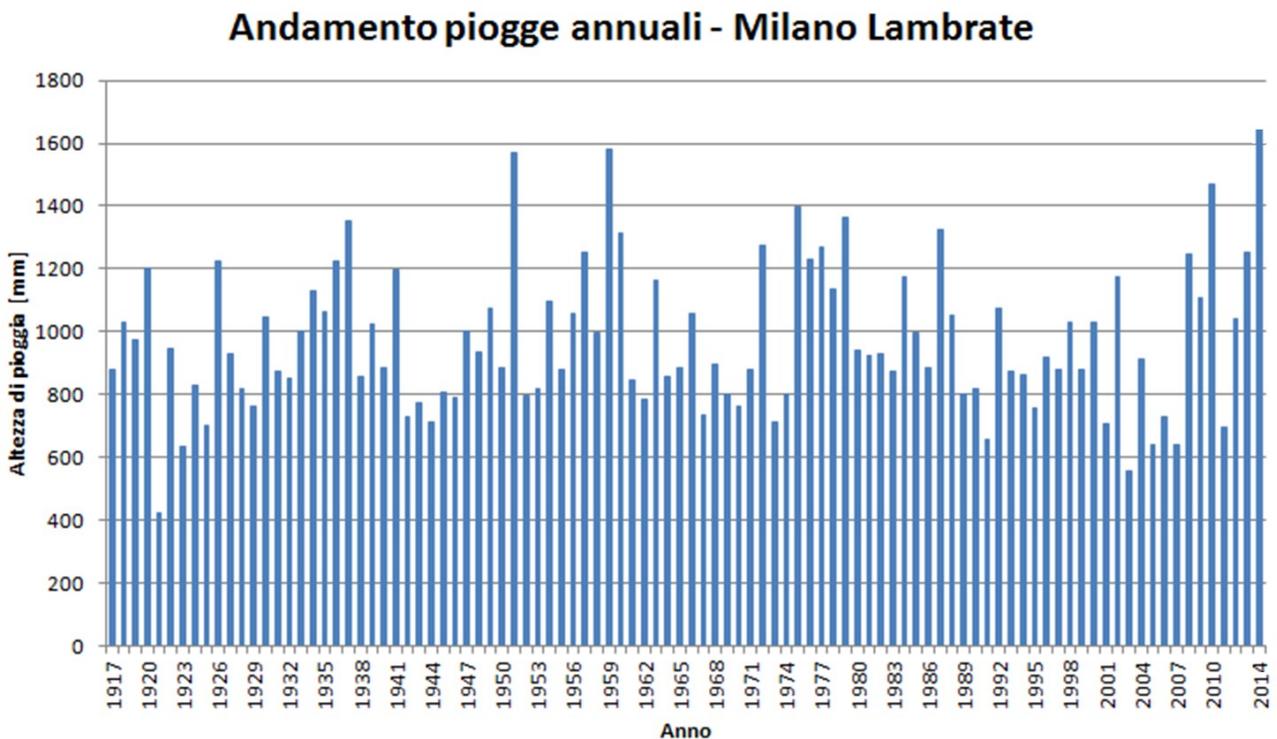


Figura 4 - Istogramma delle precipitazioni annue nel periodo 1917 – 2014, registrate nella stazione di Milano Lambrate

3.5 EVOLUZIONE DEMOGRAFICA

Gli studi di previsione dell'evoluzione piezometrica devono tener conto delle variazioni future dei prelievi, le quali sono funzione della popolazione residente e, in misura minore per un territorio attualmente a forte vocazione terziaria quale quello in oggetto, della domanda industriale.

Il declino demografico registrato nella città di Milano prima del 2000 (fig. 5) prosegue tuttora, favorendo una sensibile riduzione dei prelievi di acqua potabile (figg. 6 e 7).

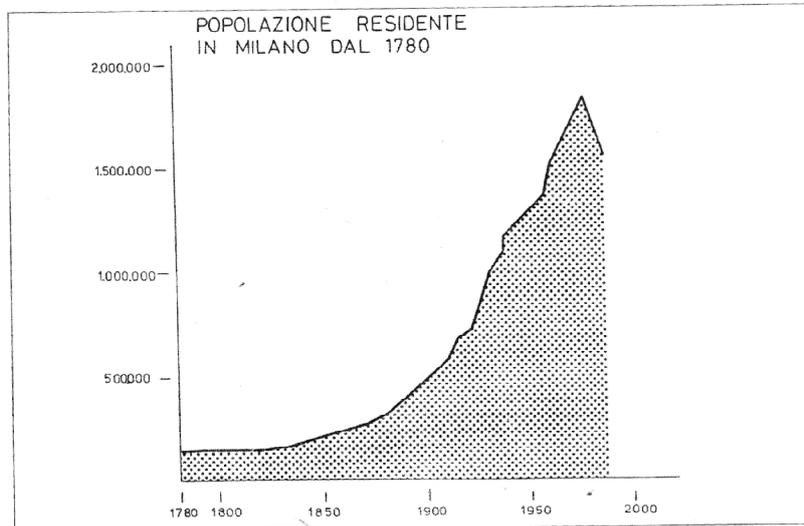


Figura 5 - Andamento della popolazione residente a Milano (Fonte: Airoidi, 1970)

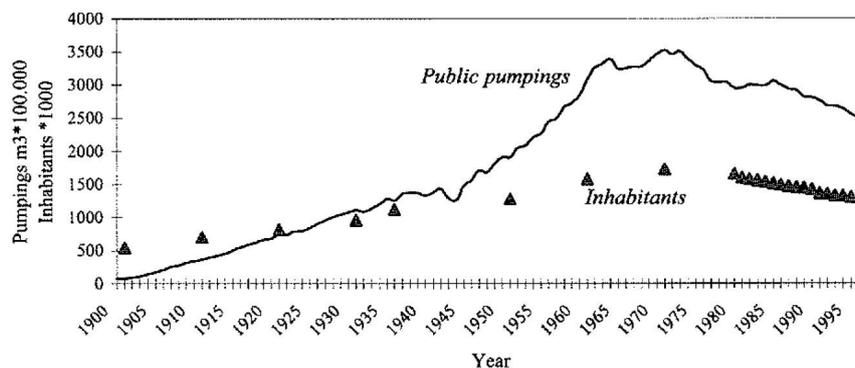


Figura 6 - Variazione dei pompaggi dei pozzi dell'acquedotto di Milano e del numero degli abitanti della città (Fonte: Bonomi et al., 1977)

Tra il 1975 e il 1980 l'abbassamento dei livelli di falda si è arrestato e si è instaurata una condizione di stabilità in cui con ogni probabilità si è stabilito un equilibrio tra i prelievi e la ricarica del serbatoio idrico dell'acquifero, si sono riscontrate solo piccole variazioni ascrivibili alle variazioni delle precipitazioni annue. Tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 del

secolo scorso è iniziata la riduzione dei prelievi da falda, sia quelli pubblici sia quelli privati (vedi fig. 7 e fig. 8). In conseguenza della riduzione dei prelievi il bilancio tra ricarica e prelievi della falda è tornato ad essere positivo e i livelli della falda sono tornati a crescere. La riduzione dei prelievi dalla falda si deve a diverse ragioni: la crisi economica occorsa alla fine degli anni '70 ha colpito diverse attività produttive che hanno ridotto i propri volumi di produzione o hanno cessato le attività, i prelievi dell'acquedotto sono stati ridotti a causa della diminuzione della popolazione residente e della variazione tariffaria introdotta a metà degli anni '70 (crescente al crescere dei consumi). Sono stati anche regolamentati i prelievi dei pozzi privati a partire dal 1976 e allo stesso tempo le grosse realtà industriali ubicate a nord dell'abitato milanese (Breda, Pirelli, ecc.) hanno attuato il riciclo delle acque industriali, riducendo così i prelievi. Al tempo stesso gli anni a cavallo tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 hanno registrato precipitazioni annue superiori alle medie, garantendo all'acquifero una ricarica addizionale di un surplus rispetto alla media. In epoca recente la riduzione dei prelievi è divenuta ancora più significativa a causa della chiusura di importanti realtà industriali e alla gestione dei prelievi dai pozzi pubblici divenuta più efficiente, per questa ragione i livelli piezometrici della falda superficiale nell'area di Milano sono in costante risalita e la soggiacenza si è fortemente ridotta sino ad attestarsi a valori inferiori ai 10 metri dal piano campagna e che, a seconda della zona e della stagione, possono variare di qualche metro.

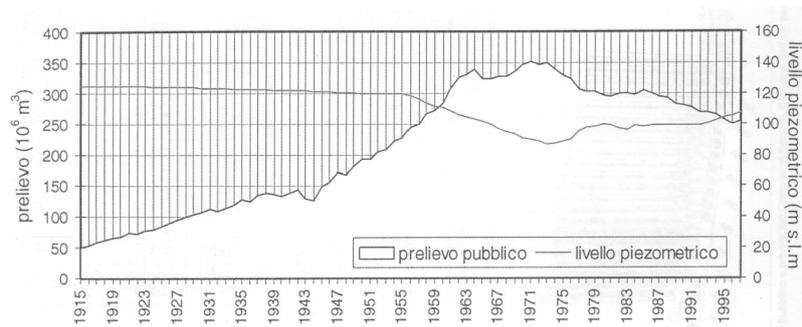


Figura 7 - Andamento dei livelli della falda superficiale a Milano e dei prelievi dai pozzi dell'acquedotto di Milano (Fonte: Avanzini et al, 1998)

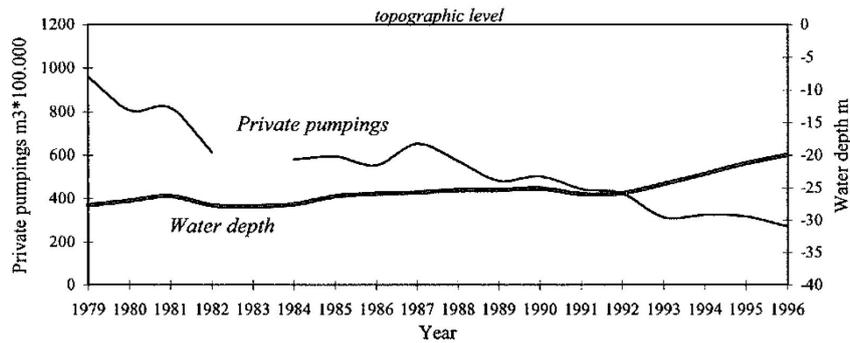


Figura 8 – Andamento dei pompaggi da pozzi privati e dei livelli di falda nel periodo 1979-1996 (Fonte: Bonomi et al., 1997)

4 CONCLUSIONI

Sono stati descritti gli strumenti attualmente disponibili per la programmazione della gestione delle acque nella città metropolitana di Milano, che possono fornire un'ideale base per affrontare i problemi dovuti alla presenza, intorno a Milano, di aree in carenza idrica mentre parecchie strutture sotterranee del capoluogo sono allagate per via della risalita dei livelli piezometrici. L'eliminazione degli squilibri, la loro compensazione ed il mantenimento di un livello di falda ottimale, possono essere gli obiettivi più importanti, unitamente alla identificazione delle fonti di inquinamento ed alla loro progressiva delimitazione, eliminazione o contenimento. Tali finalità possono essere raggiunte tramite un'azione combinata sulla distribuzione delle acque superficiali e sotterranee che tenga conto per il futuro dei cambiamenti climatici e delle possibili variazioni nei prelievi e negli usi irrigui (fattori demografici e sviluppo industriale, urbano ed agricolo). Tali interventi risultano tanto più consoni alle caratteristiche dell'area milanese quanto più possono essere adattati alle variazioni dei mutevoli fattori che presiedono all'evoluzione del territorio in esame.

5 BIBLIOGRAFIA

- *Airoldi R. e Casati P.(1970), Le falde acquifere del sottosuolo di Milano e Documenti storici dell'acquedotto milanese entrambi pubblicati nel 1989 a cura del comune di Milano*
- *Airoldi R., Casati P., De Amicis M., Peterlongo G., (1997). Oscillazioni del livello sotterraneo della falda idrica sotterranea milanese nel periodo 1990-1995. Acque sotterranee, Segrate (Mi).*
- *Avanzini M., Beretta G.P., Francani V., Pezzerà G. (1992) - "Modeling of groundwater contamination by pesticides point-sources". In: international symposium on environmental contamination in central and eastern europe, 12-16 October, Budapest*
- *Avanzini M., Beretta G.P., Pagotto A., Nespoli M., Peterlongo G. (1998) – “Sollevamento della falda a Milano ed hinterland. I Problemi socio-economici indotti dal sollevamento della falda a Milano ed hinterland”. Ambiente n.5, Edizioni IPSOA, Milano*
- *Bonomi T., Cavallin A., Verro R.. (1997) - Banca dati idrogeologica: elaborazioni per la caratterizzazione del sottosuolo nella pianura bresciana. Rivista acqua aria, 6: 89-97*
- *Braga G. & Ragni U. (1969) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 44 -Novara e 58 - Mortara. Servizio Geologico d'Italia, Roma.*
- *Comizzoli G., Gelati R. e Passeri L. D. sotto la direzione di Ardito Desio (1969). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 45 - Milano e 46- Treviglio - Ercolano : Poligrafica & Cartevalori. - 53 p. ; 21 cm.*
- *Franconi V. (2014) - Idrogeologia ambientale. Casa editrice ambrosiana. Distribuzione esclusiva Zanichelli. Pagine: 352 isbn: 9788808186478*
- *Nordio E. (1957) - Il sottosuolo di Milano. Comune di Milano - Servizio acqua potabile, Milano.*
- *Orombelli G. (1979) - Il Ceppo dell'Adda: revisione stratigrafica - Riv. Ital. Paleont., 85(2), pp. 573 - 652*
- *Penck, A., Brückner, E, 1909, Die Alpen im Eiszeitalter, Leipzig, Tauchnitz*
- *Regione Lombardia, Eni-Agip (2002) – Geologia degli acquiferi padani della regione Lombardia. A cura di C. Carcano & a. Piccin, S.El.Ca. (Firenze)*
- *Riva A. (1957) - Gli anfiteatri morenici a Sud del Lario e le pianure diluviali tra Adda e Olona. Atti dell'Istituto Geologico dell'Università di Pavia, vol. VII.*

Siti internet:

- Sistema Informativo Ambientale (SIA) della provincia di Milano:
<http://ambiente.provincia.milano.it/sia/OT/home/homecatalogo.asp>
- Arpa Lombardia : <http://ita.arpalombardia.it/ita/index.asp>
- Geoportale della regione Lombardia: <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>
- Istat, banche dati: <http://ita.arpalombardia.it/ita/index.asp>
- Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA):
http://www.reti.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale_P&childpagename=DG_Reti%2FDetail&cid=1213740177052&packedargs=NoSlotForSitePlan%3Dtrue%26menu-to-render%3D1213422387490&pagename=DG_RSSWrapper
- Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi: <http://www.etvilloresi.it/portal-villoresi/sv1.do>
- Banca dati Metropolitana Milanese: <http://www.metropolitanamilanese.it/pub/page/it/MM>