

L. Alberti • V. Francani • M. Masetti • A. Parri

VALUTAZIONE DEL LIVELLO MASSIMO RAGGIUNGIBILE DALLA FALDA NEL COMUNE DI MILANO

Estratto da:

Supplemento 2

4

2000 7 • 4(2000)

QUADERNI DI TECNICHE
DI PROTEZIONE AMBIENTALE



L. Alberti, S. Piratta

L'uso del GIS per la gestione delle acque e la valutazione del rischio di inquinamento nella pianura tra i fiumi Ticino e Olona

L. Alberti, V. Francani, M. Masetti, A. Parri

Valutazione del livello massimo raggiungibile dalla falda nel Comune di Milano

S. Piratta, V. Francani, M. Cotino, F. Sertore

Applicazioni GIS per la gestione dei progetti di bonifica nelle aree industriali contaminate - esempi

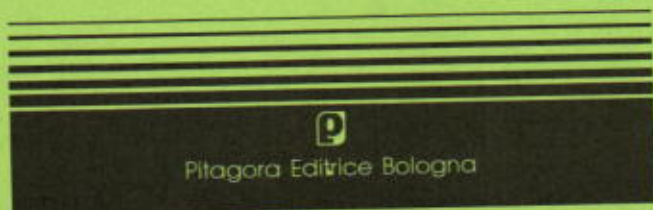
A. Bararino, P. Ciabatti, V. Igudi, M.C. Proverzano, G. Sestini

Studio idrogeologico ed idrochimico dell'acquifero multitalza della Piana di Castelvetrano e Campobello di Mazara (Sicilia occidentale)

P. Budetta, A. Sento

Assetto geostrutturale e caratterizzazione geomorfologica dell'Arco naturale di Palmuro (Campania)

segue n.4 di settembre



Pitagora Editrice Bologna

Valutazione del livello massimo raggiungibile dalla falda nel Comune di Milano^(*)

Luca Alberti⁽²⁾, Vincenzo Francani⁽¹⁾, M. Masetti⁽²⁾, Andrea Parri⁽²⁾

Riassunto. L'innalzamento dei livelli di falda nel sottosuolo della città di Milano costituisce un fenomeno, in atto dall'inizio degli anni '90, ben noto per i problemi che pone alla salvaguardia delle infrastrutture sotterranee. La risalita dei livelli delle acque sotterranee, ha però anche lo svantaggio di andare a risaturare porzioni del sottosuolo potenzialmente contaminate dalle attività produttive che si svolsero nelle vaste aree industriali dismesse milanesi. La conseguenza di tale fenomeno è la rimobilizzazione di sostanze inquinanti legate alla matrice del suolo e fino ad ora immobilizzate. La nota presenta la realizzazione, utilizzando il codice Modflow, di un modello matematico di flusso riguardante parte della Provincia di Milano, al fine di ottenere una corretta previsione degli innalzamenti della falda nei prossimi decenni.

[Parole chiave: *modello di flusso, innalzamento falda, Milano*].

Abstract. *The rising of groundwater head in the city of Milan, started since the beginning of nineties, causes many problems for the protection of the underground infrastructures. The phenomena also induce the re-saturation of the soils contaminated by the industrial activities located in the Milan brown-areas. Therefore the contaminants up to now bind to the ground matrix, are being mobilised. The paper presents a flux model, based on the Modflow code, of a portion of the Province of Milan, implemented in order to forecast the rising of groundwater in the next 10 years.*

^(*) Pubbl. n. 2161 del GNDCI, linea 4 (responsabile Prof. Massimo Civita).

⁽¹⁾ Responsabile dell'U.O. 4.3 del DIAR, Politecnico di Milano e del progetto IDAV.

⁽²⁾ Collaboratori del Politecnico di Milano DIAR, Sezione Ambientale, p.za L. da Vinci 32.

[Key words: *hydrogeological model, groundwater rise, Milan*].

1. INTRODUZIONE

Nonostante il sensibile decremento che a partire dal 1998 hanno subito i livelli piezometrici, la soggiacenza della falda a Milano rimane molto ridotta, determinando in alcune zone allagamenti degli scantinati e problemi per le infrastrutture (linee della Metropolitana) progettate per livelli di falda molto inferiori. Sono infatti necessari drenaggi operati in continuo mediante pozzetti e pompe, o sporadicamente, quando il livello di falda si solleva in seguito alle forti piogge.

Da questa situazione consegue uno stato di disagio notevole per buona parte della città, sia per il degrado qualitativo della falda conseguente al contatto con i terreni più superficiali, che sono anche quelli più fortemente contaminati, sia per i problemi di stabilità degli edifici che nascono dalla rilevante escursione piezometrica annuale (anche 4 m) e dalla vicinanza della falda alla superficie nelle aree in cui predominano i limi e le argille. Ai fini di provvedere alla gestione della falda e di progettare correttamente gli interventi per il controllo del livello piezometrico, nasce pertanto la necessità di formulare una ragionevole previsione sul futuro comportamento della falda.

Gli studi recentemente condotti riguardanti il fenomeno dell'innalzamento della falda nel milanese, hanno individuato in diversi fattori le ragioni della risalita del suo livello avvenuta dal 1990 ad oggi (PROVINCIA DI MILANO, 1996; BERETTA G.P. e AVANZINI M., 1998). Pur dovendosi attribuire le responsabilità maggiori alla diminuzione dei prelievi idrici delle aziende, un ruolo importante è svolto anche dall'aumento delle piogge e dalla diminuzione

dei prelievi pubblici, nonché a fattori stagionali quali le pratiche irrigue svolte in parte del territorio provinciale.

La valutazione del livello massimo raggiungibile dalla falda, nei prossimi decenni, non può quindi prescindere dalla valutazione d'insieme di tutti questi fattori e delle loro possibili variazioni.

Si è quindi ritenuto opportuno applicare un modello di flusso alle differenze finite, utilizzando il codice di calcolo Modflow, prodotto dall'United States Geological Survey e utilizzato dall'ente nazionale americano per la protezione dell'ambiente (E.P.A.).

2. MODELLO DI FLUSSO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

2.1. Fase di impostazione del modello idrogeologico

La modellazione del flusso idrico sotterraneo ha preso in considerazione un dominio piuttosto ampio. Tale scelta è stata dettata dal fatto che per le caratteristiche della pianura milanese, le oscillazioni della falda nel capoluogo lombardo non possono essere considerate svincolate dagli effetti del prelievo idrico attuato nel comune di Milano e nei comuni a monte caratterizzati da un'intensa urbanizzazione.

L'analisi della struttura idrogeologica degli acquiferi, del tipo di flusso idrico, delle condizioni al contorno del sistema e delle condizioni interne singolari, hanno permesso di identificare nell'area di studio i seguenti elementi caratteristici fondamentali per l'impostazione del modello concettuale:

- assenza di limiti naturali al contorno lungo i limiti nord e sud della provincia di Milano;
- presenza di diversi orizzonti acquiferi interessati dalle opere di captazione e schematizzati, ai fini della modellizzazione, in un corpo idrico superiore (acquifero superficiale) costituito da sedimenti di natura ghiaioso-sabbiosa, sede di una falda libera ed uno sottostante (acquifero tradizionale), sabbioso-ghiaioso e conglomeratico, contenente una falda semiconfinata;
- presenza di un orizzonte semipermeabile interposto tra le suddette falde, costituito da elementi di natura limosa e limoso-sabbiosa, che può essere individuato con una discreta continuità nella porzione meridionale dell'area mentre tende ad assottigliarsi e progressivamente a scomparire verso Nord, dove non si ha più la distinzione tra i due acquiferi;
- differenza di carico idraulico tra la prima falda (superficiale) e la seconda falda (semiconfinata) con drenanza verso il basso;
- presenza del cono di depressione della città di

Milano che influenza la direzione del flusso idrico sotterraneo.

2.1.1. La struttura idrogeologica

Il sottosuolo della pianura milanese è formato da una successione di sedimenti plio-pleistocenici, costituiti prevalentemente da limi e argille di origine marina nella parte basale mentre nella parte sommitale si hanno alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille di origine alluvionale e fluvioglaciale. Nella serie padana le principali variazioni litologiche sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limosi argillosi che avviene sia con l'aumento della profondità sia procedendo da nord verso sud; nel primo caso esse sono legate alle già evidenziate modifiche dell'ambiente di sedimentazione mentre nel secondo alla diminuzione dell'energia di trasporto degli agenti deposizionali. Nella pianura milanese si possono distinguere tre acquiferi principali:

- *L'Acquifero Tradizionale (TR)*: è un acquifero freatico con elevati valori di trasmissività (da $5 \cdot 10^{-2}$ a $1 \cdot 10^{-3}$ m²/s). Il suo spessore varia da 60 a 120 m. I sedimenti che lo costituiscono sono di origine quaternaria (Unità a conglomerati e arenarie, Un. sabbioso-ghiaiosa e Un. ghiaioso-sabbiosa); principalmente si tratta di ghiaie e sabbie, ma spostandosi da nord della provincia di Milano verso sud la presenza di livelli limosi e argillosi va aumentando. A cominciare all'incirca dal centro del comune di Milano questi livelli a litologia fine permettono di distinguere un acquifero TRa e un TRb: il primo contiene una falda superficiale a carattere freatico mentre il secondo una falda semiconfinata in quanto il livello di separazione è costituito da lenti discontinue con spessori compresi tra 0 e 10 m. La falda avente sede nell'acquifero TR viene chiamata *1° Falda* mentre dove è possibile distinguere tra TRa e TRb, vengono distinte la *Falda Superficiale* (TRa) dalla *Falda Semiconfinata* (TRb).

- *L'Acquifero Continentale (C)*: è localizzato nei sedimenti del Pleistocene (Unità argilloso-sabbiosa) d'origine deltizio-lagunare. La separazione della circolazione idrica dall'acquifero superiore TR è garantita da livelli d'argilla continui e d'elevato spessore. L'acquifero C rappresenta un'importante risorsa per la qualità delle sue acque, ma la bassa permeabilità e trasmissività ne limita le possibilità di sfruttamento. La falda con sede in questo acquifero viene chiamata *2° Falda*.

- *L'acquifero Marino (M)*: è l'acquifero più profondo con un tetto posto tra -230 e -300 m dal piano campagna in corrispondenza della città di Milano. È sfruttato da un ridottissimo numero di

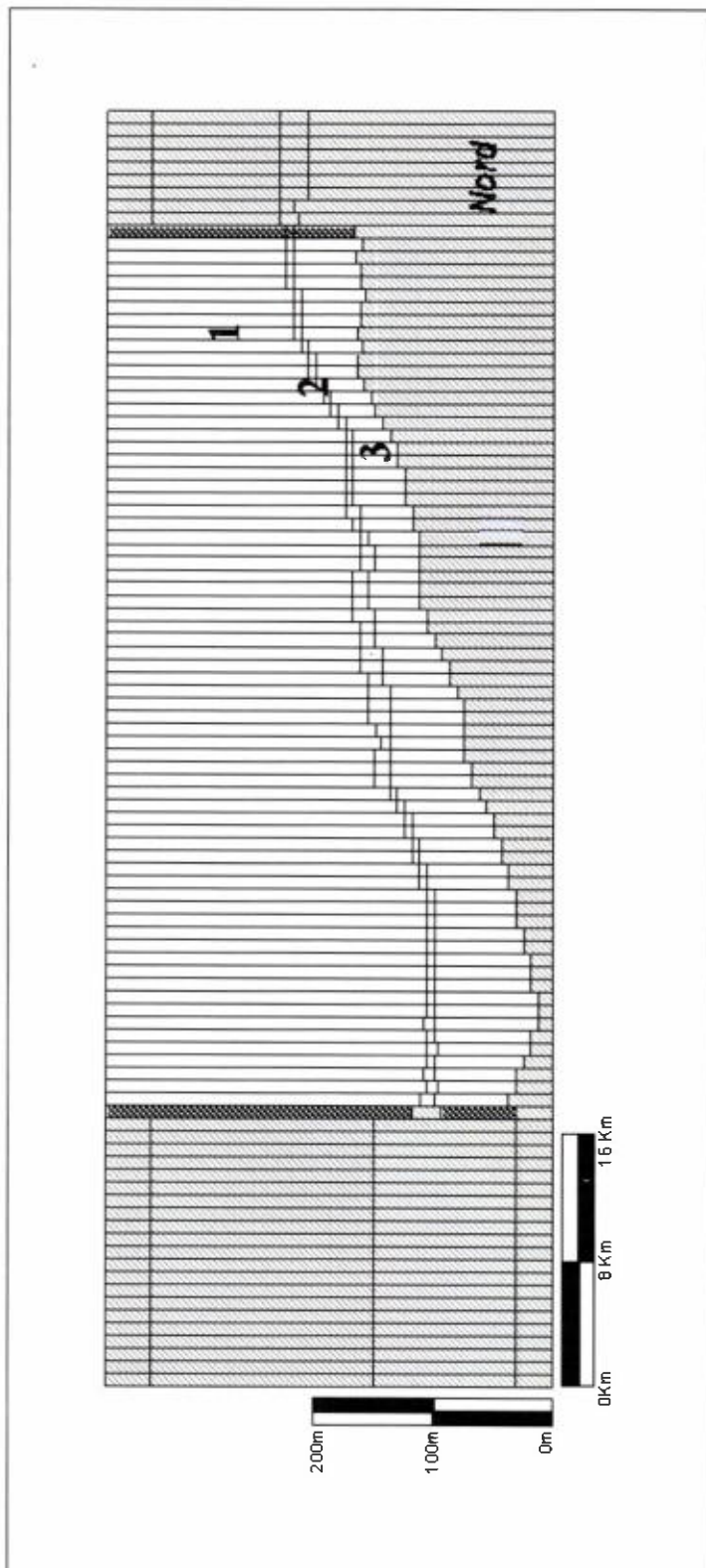


Figura 1. Discretizzazione verticale del sottosuolo lungo una sezione N-S.

pozzi e quindi le informazioni che lo riguardano sono attualmente molte scarse.

2.1.2. Modello concettuale

La ricostruzione della struttura idrogeologica è stata compiuta analizzando e in parte rielaborando le ricostruzioni degli acquiferi della pianura milanese pubblicate da precedenti Autori (CONSORZIO ACQUA POTABILE, 1995; PROVINCIA DI MILANO, 1995). Si sono inoltre esaminate le stratigrafie di numerosi pozzi ad uso pubblico e privato e di piezometri esistenti nell'area di studio che hanno permesso la costruzione di nuove sezioni idrogeologiche dirette Nord-Sud ed Est-Ovest. È stato così possibile individuare con un certo dettaglio l'andamento delle basi della falda superficiale e di quella semiconfinata, nonché dell'orizzonte semipermeabile.

La base dell'acquifero superficiale decresce regolarmente da Nord verso Sud a partire da valori di circa 180 m a circa 60 m s.l.m. Analogo andamento presenta la base dell'acquifero semiconfinato (TR/TRb), con valori variabili da 160 m a 10 m s.l.m. La base dello strato intermedio è posta da 175 m a 50 m s.l.m.

Il modello concettuale adottato prende in considerazione la circolazione idrica dell'acquifero TR. Gli acquiferi C non sono stati presi in considerazione nel modello concettuale proposto. La circolazione idrica in questi corpi idrici risulta, infatti, ben distinta da quella dell'Acquifero Tradizionale in gran parte del territorio provinciale (CONSORZIO ACQUA POTABILE, 1995). Solo nel settore più settentrionale gli acquiferi non sono ben separati dando luogo ad un monostrato: per poter considerare comunque l'effetto di questo scambio idrico esistente in tale settore si è scelto di simulare attraverso un'opzione di filtrazione (leakance) gli scambi idrici diretti verso il basso la cui quantificazione è stata possibile mediante l'utilizzo dei risultati di modelli di maggior dettaglio realizzati in precedenza (ALBERTI L., 1998): il volume idrico medio coinvolto nello scambio è stato valutato per un fronte di un chilometro essere pari a $1,83 \cdot 10^2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il modello concettuale risulta essere quindi composto da tre layers che partendo dal piano campagna e approfondendosi nel sottosuolo rappresentano:

- strato 1: acquifero superficiale presente sino alla profondità media di 40-45 m, contenente la falda libera;
- strato 2: setto di separazione semipermeabile, di spessore 5-20 m;
- strato 3: acquifero sottostante contenente la falda semiconfinata, con profondità variabile tra 80 e 120 m.

In effetti, la distinzione in tre layers a nord di Milano è del tutto fittizia in quanto il setto semipermeabile perde di continuità areale lasciando posto ad un unico acquifero, quello Tradizionale: in questo settore i tre layers avranno quindi le stesse proprietà idrogeologiche rappresentando diverse porzioni dello stesso acquifero (fig. 1).

2.2. Parametri di input del codice numerico

2.2.1. Discretizzazione spaziale dell'area

L'area modellizzata è costituita dalla porzione centrale della Provincia di Milano; ad essa è stata sovrapposta una griglia di forma trapezoidale a maglie quadrate di lato 400 m. Essa consiste di 127 colonne, 100 righe e 4 strati per un totale di 16.565 celle attive (fig. 2). Il dominio modellizzato ha una superficie complessiva di 2.579 km².

2.2.2. Condizioni al contorno

Il modello di flusso qui presentato è di tipo stazionario, ma costituisce il primo passo per la realizzazione in seguito di un modello più completo in grado di simulare le oscillazioni della falda nel tempo. La scelta delle condizioni al contorno, oltre a basarsi sulla presenza di eventuali limiti fisici naturali, è stata quindi dettata anche dall'esigenza di porre una tipologia di condizioni sufficientemente «elastiche» perché potessero poi essere utilizzate anche in un modello transitorio.

Si sono utilizzate le seguenti condizioni al contorno:

- **Lato Nord:** condizioni miste del tipo Cauchy, simulate tramite il pacchetto General Head Boundary (GHB). Tali celle hanno quota piezometrica variabile nel tempo; il valore di carico piezometrico è determinato dalla portata calcolata attraverso la conduttanza longitudinale e la differenza di quota piezometrica tra la cella in esame ed un punto noto, esterno all'area, posto, in questo caso, a distanza pari a 3.200 m. Per tutti gli strati, data la struttura idrogeologica presente in questo settore, si è utilizzato il valore di quota piezometrica della falda freatica rilevata nell'ottobre 1996.

- **Lato Sud:** condizioni miste del tipo Cauchy, simulate tramite il pacchetto General Head Boundary (GHB).

Per il primo strato si è utilizzato il valore di quota piezometrica riferita alla falda freatica, mentre per il terzo quello riferito alla falda semiconfinata. Tutti i livelli piezometrici sono stati rilevati durante la campagna piezometrica dell'ottobre 1996.

Per il secondo strato si è posta la condizione al contorno di flusso nullo, approssimazione valida in

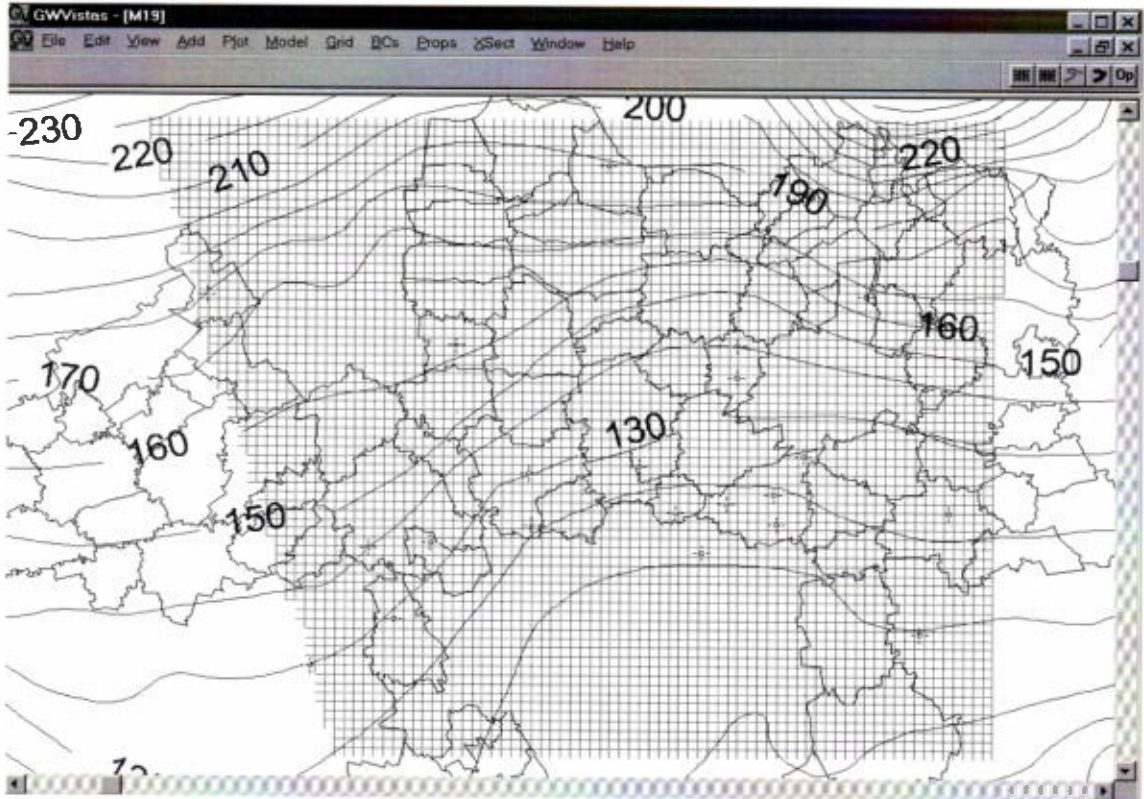


Figura 2. Dominio del modello e andamento della superficie piezometrica rilevata nell'ottobre 1996.

quanto nei livelli meno permeabili il flusso idrico ha una forte componente verticale.

- **Lato Est:** limite di non flusso.

Questa scelta si è basata sull'osservazione della morfologia della superficie piezometrica nel tempo (fig. 3). Prendendo in considerazione anche anni in cui l'estrazione di acqua dal sottosuolo era molto inferiore a quella attuale, l'area del comune di Milano costituisce sempre una zona di richiamo delle acque sotterranee contrastata dal forte effetto di drenanza esercitato dai fiumi Ticino e Adda rispettivamente posti a ovest ed est. Tale situazione determina la presenza di due spartiacque sotterranei, la cui posizione dimostra di conservarsi stabile nel tempo costituendo dei buoni limiti idrogeologici a carattere regionale. La stabilità nel tempo di questi limiti e la loro sufficiente distanza dall'area Bicocca ha determinato la scelta di simularli tramite condizioni di non flusso. Dove tale asserzione non è stata ritenuta valida (celle R11-R28), si sono applicate condizioni al contorno di tipo GHB.

- **Lato Ovest:** limite di non flusso.

La scelta è stata dettata da valutazioni analoghe

a quelle descritte per il lato orientale del modello.

2.3. Parametri idrogeologici degli acquiferi

I valori di conducibilità idraulica sono stati calcolati tenendo conto che ogni strato non rappresenta solo i livelli permeabili, ma una porzione di acquifero che comprende materiali a diversa permeabilità. A tal fine si è utilizzata l'equazione (ANDERSON M. e WOESSNER W., 1992):

$$(Kx)_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^m K_{i,j,k} b_{i,j,k}}{B_{i,j}} \quad (B)_{i,j} = \sum_{k=1}^m b_{i,j,k}$$

dove $B_{i,j}$ rappresenta lo spessore complessivo dello strato utilizzato nel modello, dato dalla somma dei singoli livelli litologici b ; a ciascuno di questi livelli è attribuita la propria permeabilità, ovvero, per quelli permeabili, il valore ricavato mediante prova di pompaggio o attraverso il metodo Cassan, mentre per quelli a litologia fine, è stato ipotizzato un valore medio pari a $1 \cdot 10^{-9}$ m/s.

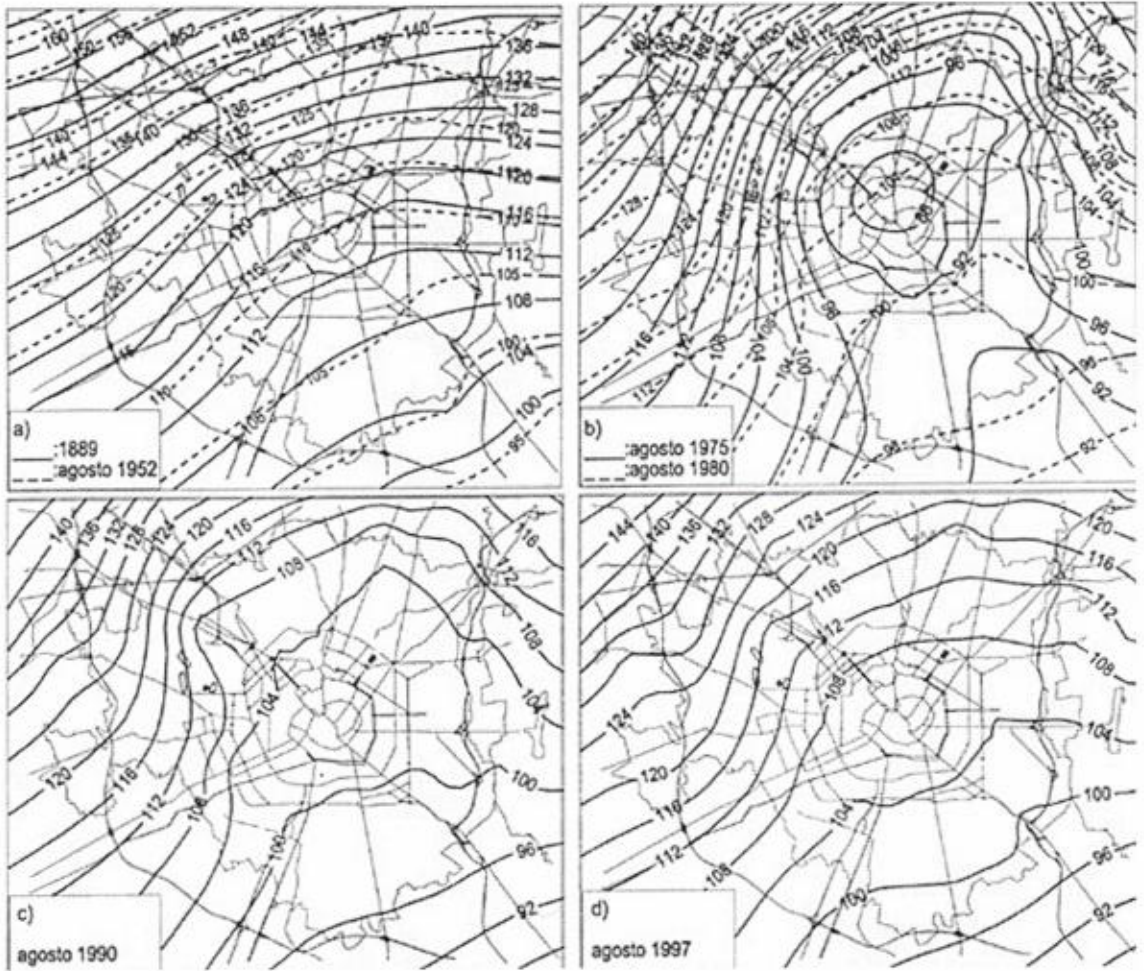


Figura 3. Oscillazioni della falda superficiale nel tempo nella sola area di Milano (fonte: FRANCANI V. et al., 1999).

Per l'acquifero superficiale (TRa) si sono quindi ricavati valori di permeabilità medi di $5 \cdot 10^{-4}$ m/s, tranne in corrispondenza del paleoalveo del fiume Lambro dove si ha un valore di $1 \cdot 10^{-3}$ m/s e dei terrazzi rissiano-mindeliani ($2,5 \cdot 10^{-4}$ m/s). Per il TRb si hanno valori di permeabilità variabili tra $2,5 \cdot 10^{-4}$ e $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Anche in questo layer si registra un aumento della permeabilità dovuto ai depositi antichi del fiume Lambro (da $1 \cdot 10^{-3}$ m/s a $5 \cdot 10^{-3}$ m/s) e l'influenza dei terrazzi a Nord.

Le lenti limoso-argillose presenti nel layer 2, laddove a Sud dell'area modellizzata acquistano una continuità tale da determinare la separazione tra i due acquiferi, costituiscono un setto semipermeabile avente una permeabilità media di $5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Per quanto riguarda la conducibilità idraulica del

primo acquifero in corrispondenza dell'area di interesse, si osservano valori medi pari a $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

2.3.1. Ricarica delle falde

La ricarica è costituita dagli apporti legati alla percentuale di infiltrazione nel sottosuolo, derivanti dagli afflussi meteorici e dalle irrigazioni sull'area di interesse.

Come valore di infiltrazione efficace è stata considerata una percentuale del termine di surplus idrico ricavato tramite elaborazione dei valori di precipitazione meteorica secondo il metodo proposto da Thornthwaite (THORNTHWAITE e MATER, 1957). Tale percentuale varia tra lo 0% e il 70% a seconda del grado di urbanizzazione dell'area considerata.

Le elaborazioni effettuate riguardano il trimestre

agosto-ottobre 1996, immediatamente precedente il periodo di determinazione delle altezze piezometriche. I valori di altezza di precipitazione mensile e di temperatura media mensile sono stati ricavati dalle registrazioni effettuate in corrispondenza delle seguenti stazioni termopluviometriche:

- Rete Ersal: Certosa di Pavia, Minoprio, Landriano, Monza, Vanzago;
- Rete idrografico: Paullo, Lodi, Milano Cer-

nusco sul Naviglio, Olginate, Vigevano.

Il termine di ricarica attribuibile alle portate irrigue distribuite all'interno dell'area è stato ricavato tramite analisi dei dati forniti dal Consorzio Villoresi (tab. 1). I dati presi in esame riguardano essenzialmente i valori di portata derivati e scaricati in corrispondenza del Fiume Ticino (per il canale Villoresi e il Naviglio Grande) e del Fiume Adda (per il Naviglio Martesana). Dai valori di portata giorna-

Tabella 1. Portate irrigue mensili (1996) dei canali secondari e della Martesana espresse in m³/s (Consorzio Villoresi).

| Canale | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic |
|-------------------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-----|-------|-------|
| Parabiago | 5.165 | 4.896 | 0 | 3.495 | 8.722 | 13.292 | 13.402 | 12.916 | 1.788 | 0 | 2.081 | 6.211 |
| Rho | 0.006 | 0 | 0 | 0.003 | 0.091 | 0.372 | 0.347 | 0.389 | 0.073 | 0 | 0 | 0.047 |
| Passirana+Arese | 0.081 | 0 | 0 | 0.284 | 1.087 | 2.156 | 2.152 | 1.976 | 0.657 | 0 | 0.056 | 0.548 |
| Garbagnate | 0.033 | 0 | 0 | 0.021 | 0.289 | 0.671 | 0.709 | 0.696 | 0.248 | 0 | 0.058 | 0.159 |
| Val Seveso | 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0.305 | 0.548 | 0.55 | 0.583 | 0.257 | 0 | 0 | 0 |
| Nova+Cinisello | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0.206 | 0.164 | 0.132 | 0.049 | 0 | 0 | 0 |
| Brugherio | 0 | 0.11 | 0 | 0.09 | 0.19 | 0.28 | 0.36 | 0.35 | 0.06 | 0 | 0 | 0 |
| Carugate+Cernusco | 0 | 0.17 | 0 | 0.22 | 1.03 | 2.02 | 1.92 | 1.85 | 0.6 | 0 | 0.9 | 0 |
| Martesana | 9.940 | 9.940 | 1.54 | 2.55 | 18.05 | 31.590 | 31.1 | 23.52 | 12.34 | 0 | 2.63 | 9.940 |

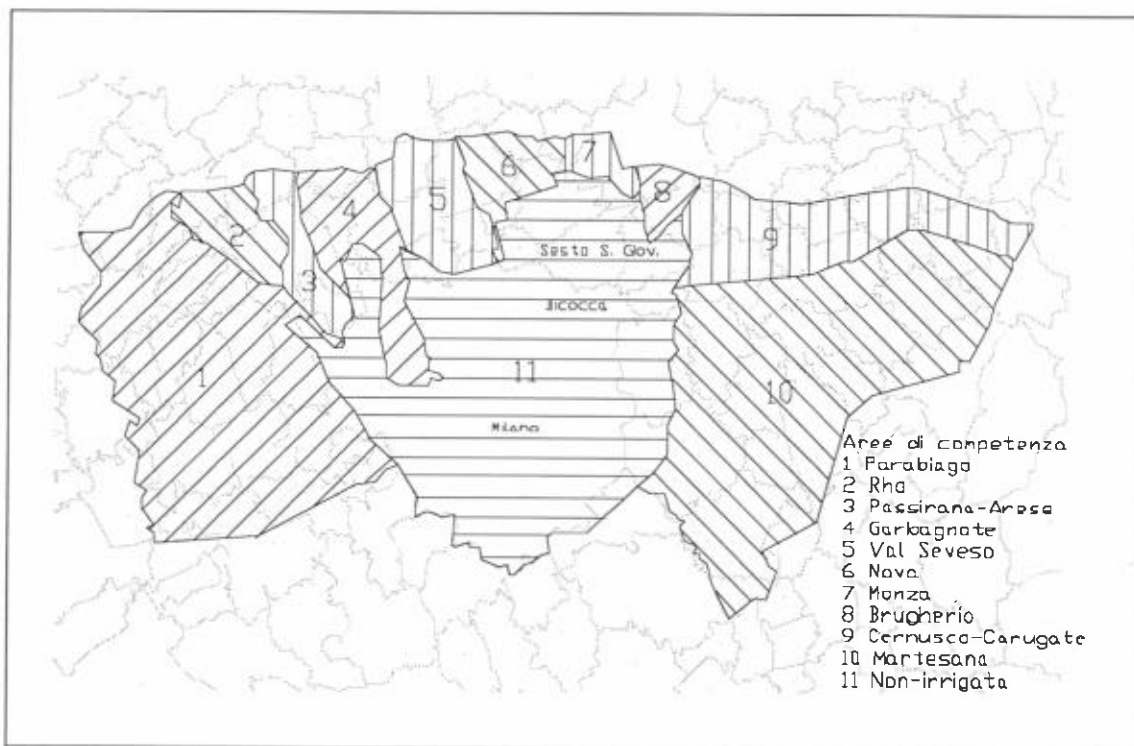


Figura 4. Aree di competenza irrigua delle bocche secondarie del C.le Villoresi all'interno del dominio di modellazione.

lieri registrati dal Consorzio sono state ricavate le portate medie mensili e, in seguito, quelle annuali, per gli anni che vanno dal 1992 al 1996. Per quanto riguarda gli scarichi, invece, sono stati disponibili solo dati parziali relativi ai valori medi mensili del 1996.

Le prese secondarie monitorate sono 14, tutte quelle presenti nel dominio modellato. L'analisi della cartografia disponibile ha consentito di individuare le aree di competenza attribuibili a ciascuno dei derivatori secondari (fig. 4).

In base alle indicazioni fornite dal Consorzio, inoltre, sono state considerate perdite dai canali pari al 20% delle portate totali derivate. Nel caso del Canale Villoresi tali perdite sono state ripartite in modo differente a seconda del grado di cementazione del tratto considerato. La porzione di canale a valle di Monza è risultata quella avente le più elevate perdite avendo il maggior numero di tratti di fondo in terra. Come nel caso delle precipitazioni, le elaborazioni effettuate riguardano il trimestre agosto-ottobre 1996.

Nell'ambito del modello matematico, quindi, sono state individuate zone a ricarica differenziata a seconda del grado di urbanizzazione e dell'uso agricolo del territorio. Sulla base delle elaborazioni eseguite, è stato considerato un valore medio di ricarica, espresso in termini di altezza d'acqua disponibile per unità di superficie, pari a $1,15 \cdot 10^{-8}$ m/s. In corrispondenza delle zone irrigue il contributo percentuale attribuibile ad infiltrazione meteorica varia dal 1,4% al 42%, mentre il contributo dovuto ad irrigazione varia dal 58% al 98,6% della ricarica totale.

In corrispondenza dell'area occupata dalla città di Milano il valore di ricarica comprende quasi esclusivamente le sole perdite delle reti di distribuzione, che si aggirerebbero mediamente intorno al 18% del sollevato (PROVINCIA DI MILANO, 1996).

2.3.2. Prelievi idrici dal sottosuolo

I prelievi costituiscono un importante termine di uscita dal modello che da alcuni Autori è stato indicato come il fattore responsabile del sollevamento della falda milanese negli anni '90. Per questo motivo si è cercato di definire al meglio questo termine del bilancio idrico soprattutto in corrispondenza della città di Milano e del suo hinterland.

Sono state considerate le portate emunte dai pozzi che ricadono nell'area considerata, distinguendo fra prelievo pubblico e privato. Per la città di Milano i valori dei prelievi sono stati forniti dall'Ufficio tecnico, Settore Acquedotto del Comune di Milano. I dati relativi ai prelievi pubblici e privati in

corrispondenza dei comuni circostanti sono stati desunti dall'esame della documentazione resa disponibile rispettivamente dalla Provincia di Milano e dal Genio Civile. I dati disponibili hanno consentito l'ubicazione dei singoli pozzi sia pubblici che privati in corrispondenza della città di Milano, mentre nei comuni circostanti le portate estratte dai singoli pozzi sono state sommate ed attribuite a quattro celle a flusso costante, sempre mantenendo, comunque, la distinzione fra pubblico e privato.

Per controllare l'attendibilità dei dati si è effettuato un confronto con i prelievi relativi al 1991 (PROVINCIA DI MILANO, 1993), mentre per lo studio delle variazioni temporali sono state analizzate le serie storiche dell'Acquedotto di Milano e informazioni tratte da altri Autori (AVANZINI M. e BERETTA G.P., 1998).

Allo scopo di suddividere i prelievi tra la falda superficiale e quella semiconfinata e questi da quelli delle falde profonde dell'acquifero C, è stato compiuto un dettagliato esame delle stratigrafie e dei dati disponibili relativi alla profondità dei singoli pozzi e ai livelli finestrati.

2.4. Calibrazione dei parametri e taratura del modello

Nella fase di calibrazione del modello si è cercato di agire sul minor numero di parametri e su quelli i cui valori apparivano più incerti a causa dei metodi utilizzati per la loro determinazione. I valori di prelievo idrico non sono stati calibrati in quanto da considerarsi un parametro con un buon grado di affidabilità rilevato da Enti preposti a tale compito (Comuni, Genio Civile, Provincia). I parametri che sono stati soggetti a calibrazione sono stati:

- valori di permeabilità degli acquiferi nelle zone in cui si aveva a disposizione un numero ridotto di stratigrafie; la calibrazione non ha in questo caso mai comportato una variazione dei valori rilevati superiore al mezzo ordine di grandezza;

- valori di conduttanza delle condizioni al contorno GHB poste a sud; la calibrazione è stata effettuata in funzione dei valori di permeabilità pubblicati da precedenti Autori relativamente alle aree poste a sud del dominio modellato;

- volumi idrici apportati alla falda dalle perdite dei canali irrigui.

Tramite la calibrazione dei parametri è stata effettuata la taratura del modello sulla base della piezometria rilevata nell'ottobre del 1996. Per giudicare se il modello fosse tarato sono stati utilizzati 25 target corrispondenti ad alcuni dei punti di misura utilizzati per monitorare la falda dal Consorzio Ac-