

Fig. 3. – Schema della struttura hardware e software utilizzata.

– Scheme of HW and SW structure used in the research.

Ai vari sistemi sono poi associate periferiche per l'acquisizione e la restituzione grafica e numerica delle informazioni raccolte ed elaborate nel sistema (scanner, digitalizzatore, plotter, stampanti, driver per nastri magnetici, etc.).

Le elaborazioni analitiche dei dati, che hanno portato alla realizzazione delle varie cartografie, sono state realizzate mediante l'uso sistematico dei sistemi informativi territoriali scelti tra quelli a disposizione a seconda della complessità delle elaborazioni da svolgere. All'interno del sistema informativo le elaborazioni sono state svolte nell'ambiente vettoriale e/o in quello raster in base alla possibilità di effettuare determinate operazioni con un sistema piuttosto che con l'altro. Nel dominio vettoriale gli oggetti sono rappresentati da punti, linee e poligoni. La posizione di ciascun oggetto, assoluta o relativa, è definita all'interno del sistema di coordinate adottato e a ciascun oggetto è associato uno o più attributi. Nel dominio raster un tematismo è rappresentato da una matrice estesa quanto l'area studiata, in cui ciascuna cella elementare (pixel), risultato della intersezione di una riga con una colonna, è caratterizzata da un attributo. I sistemi raster, per quanto implicino il trattamento di estese matrici, consentono elaborazioni molto complesse dei dati spaziali (sovrapposizione di tematismi; aggregazione di informazioni riferite ad elementi areali; utilizzo di modelli sia interni che esterni al sistema informativo), difficilmente realizzabili nel dominio vettoriale.

## 5. – CARTA DELLA INFILTRABILITÀ REGIONALE (TAV. I f.t.)

### 5.1 – GENERALITÀ

La Carta della Infiltrabilità Regionale è stata predisposta con la precipua finalità di caratterizzare la suscettività della superficie del territorio di pianura riguardo alla migrazione (potenziale) verso il basso e la falda delle sostanze sversate o applicate sul suolo. Tale caratterizzazione costituisce uno degli elementi tematici che concorrono alla valutazione della vulnerabilità naturale degli acquiferi (CAVALLIN & GIULIANO, 1992), ma assume un ruolo e una valenza autonoma di rilevante profilo anche nell'ambito di un quadro pianificatorio di area vasta (bacino idrografico, ambito amministrativo, comprensorio, etc.).

Essa può fornire importanti elementi di valutazione per la criticità delle differenti porzioni di territorio in riferimento alle attività e pratiche inquinanti svolte sulla superficie che possono creare le condizioni favorevoli per la percolazione di sostanze inquinanti presenti al suolo e che di conseguenza possono anche interessare le falde acquifere sottostanti. Ovviamente tale valutazione discriminante ha tanto maggiore validità quanto più l'ambito di applicazione è compatibile con la scala della rappresentazione considerata, quale diretta espressione del dettaglio spaziale delle informazioni considerate per la elaborazione.

La scala della cartografia tematica qui esaminata (1:500.000) è stata individuata coerentemente alla articolazione ed alle finalità del programma di ricerca nel quale è inserita: la vulnerabilità infatti rappresenta l'intersezione di numerosi strati informativi relativi ai diversi fattori influenti, opportunamente ponderati, operazione che può essere svolta correttamente solo sulla base di un'omogeneità di rappresentazione degli stessi.

In questo contesto l'interesse appare rivolto soprattutto ai processi di contaminazione diffusa relazionabili all'uso agricolo di sostanze chimiche o allo smaltimento sul terreno di reflui riferito ad ambiti areali significativamente estesi ove il ruolo dello strato superficiale di terreno può esprimersi in modo sufficientemente mediato nello spazio e discriminante in relazione alle sue caratteristiche intrinseche sedimentologiche e tessiturali.

Meno adeguata appare l'utilizzazione connessa a problematiche di contaminazione puntuale (quali discariche di rifiuti, impianti industriali, etc.) in quanto la specificità della situazione locale può attenuare anche in misura rilevante la significatività e la rappresentatività dell'area in cui essa è inserita, caratteristiche che costituiscono il modello di base della zonizzazione.

Le valutazioni debbono in ogni caso essere considerate come preliminari e con valenza areale; sono infatti necessari approfondimenti successivi e dati adeguati alla scala ed al problema da risolvere nelle valutazioni e considerazioni di carattere operativo ed a scala locale.

La ricerca ha consentito di valorizzare in un settore applicativo di rilevante importanza per la tutela delle risorse idriche sotterranee il potenziale informativo dei dati raccolti e dei lavori originali prodotti e resi disponibili nell'ambito di un progetto di ricerca rivolto ad altre finalità, in particolare alla realizzazione della Carta Geomorfologica della Pianura Padana.

L'elaborazione dei dati disponibili, secondo una specifica metodologia ha permesso di ottenere un prodotto intermedio, una Carta delle Tessiture dei depositi superficiali, che successivamente è stata utilizzata come informazione di base per la costruzione della cartografia tematica derivata relativa alla Infiltrabilità Regionale.

L'inserimento degli elementi informativi in un SIT attribuisce un carattere di flessibilità e adattabilità ai prodotti, così le rappresentazioni cartografiche in qualsiasi momento possono essere aggiornate, modificate ed integrate.

## 5.2 – DATI DI BASE ED ELABORAZIONI

Le informazioni ed i dati di base utilizzati per la realizzazione della Carta della Infiltrabilità Regionale

sono contenuti in cartografie tematiche appositamente allestite, sulla base di lavori originali prodotti dal Gruppo di Lavoro per la Carta Geomorfologica della Pianura Padana coordinato dal Prof. G.B. Castiglioni dell'Università di Padova. Tale ricerca è stata condotta nel secondo quinquennio degli anni '80 da una quarantina di ricercatori suddivisi in 10 unità di ricerca appartenenti alle università dell'Italia settentrionale, ad un istituto del CNR e a quattro Musei di Scienze Naturali (CASTIGLIONI & CAVALLIN, 1987).

Il prodotto di questa ricerca è costituito da una Carta Geomorfologica di sintesi in due fogli alla scala 1:250.000 della principale pianura italiana (CASTIGLIONI *et alii*, 1992) recentemente stampata (M.U.R.S.T., 1997).

Gli elaborati grafici originali prodotti dal Gruppo di Lavoro in scala 1:100.000 utilizzati nell'ambito di questa ricerca per la produzione della specifica cartografia di infiltrabilità sono stati:

- la carta delle campiture, ove con simboli areali sono rappresentate le tessiture, le coltri di alterazione, le golene, etc;
- la carta delle forme, nella quale sono indicati con simboli lineari e puntuali le forme del rilievo, l'idrografia, etc.

Una Carta delle Tessiture dei depositi superficiali alla scala 1:250.000 è stata ottenuta dalla giustapposizione degli originali a scala 1:100.000 dell'I.G.M. nei quali sono rappresentate le forme e le campiture, semplificando la simbologia e fondendo alcuni simboli in uno unico. Ciò si è reso indispensabile per la necessità di digitalizzare le carte e di conseguenza dalla legenda originaria sono stati eliminati tutti i simboli puntuali e lineari per passare ad una rappresentazione areale univoca per ciascuna porzione di territorio.

Il vincolo principale è stato rappresentato dalla base topografica scelta per la rappresentazione e cioè dalla carta del Touring Club Italiano che adotta una proiezione conica di Lambert modificata diversa dalla proiezione UTM utilizzata dall'IGM. In pratica si è effettuato contemporaneamente un cambio di scala e di proiezione. Il passaggio tra i fogli IGM 1:100.000 e la base TCI 1:500.000 non è avvenuto direttamente ma si è adottata, esclusivamente per ragioni di elaborazione, una scala intermedia (1:250.000).

L'errore compiuto per questa riduzione meccanica di scala e per il cambiamento di base topografica è risultato essere esiguo e paragonabile a quelli dovuti al graficismo e/o alle deformazioni dei supporti cartacei.

La legenda della Carta delle Tessiture dei depositi superficiali scelta per la ricerca è stata la seguente (BONDESAN *et alii*, 1994):

- A) Tratti di pianura, distinti secondo la natura dei depositi superficiali prevalentemente ghiaiosi;

B) Tratti di pianura, distinti secondo la natura dei depositi superficiali prevalentemente sabbiosi; dune;

C) Tratti di pianura, distinti secondo la natura dei depositi superficiali prevalentemente limosi e argillosi, barene;

D) Tratti di pianura, distinti secondo la natura dei depositi superficiali prevalentemente ghiaiosi con coltre di alterazione e/o con copertura di loess fino a 1 metro di profondità;

E) Tratti di pianura, distinti secondo la natura dei depositi superficiali prevalentemente sabbiosi con coltre di alterazione e/o con copertura di loess fino a 1 metro di profondità;

F) Coltre di alterazione con spessore di oltre un metro, con o senza copertura di loess;

G) Sedimenti torbosi;

H) Aree urbanizzate;

I) Depositi glaciali (colline moreniche);

J) Acque interne (specchi d'acqua, cave in falda).

Dalla legenda sopra descritta si nota come non siano state prese in considerazione le tessiture dei sedimenti in presenza di coltri di alterazione superiori ad un metro in quanto si è ritenuto che questi tipi di terreno abbiano un comportamento geoidrologico omogeneo e prevalente rispetto ai sedimenti sottostanti e poco differenziato rispetto alla tessitura di partenza. E' stato ritenuto opportuno invece preservare i dati relativi alle coltri di alterazione con copertura loessica. I sedimenti torbosi sono stati presi in considerazione solo se presenti su superfici cartografabili alla scala 1:500.000. Le aree urbane, non rappresentate in modo omogeneo dagli autori, sono state standardizzate soprattutto per ciò che concerne l'estensione dei centri abitati, utilizzando le informazioni disponibili attraverso la mappatura dell'uso del suolo da immagini satellitari (MINISTERO DELL'AGRICOLTURA, CONSORZIO PER IL CANALE EMILIANO ROMAGNOLO, 1990).

Di incerta determinazione è risultato spesso il limite tra le barene e le coltri limoso-argillose alluvionali o sabbiose lungo la fascia costiera; di conseguenza, in alcune aree limitate, sedimenti analoghi possono essere stati indicati come barene, come limoso-argillosi oppure come sabbia.

Per quanto si riferisce alla rappresentazione cartografica, sono stati utilizzati i seguenti criteri (BONDESAN *et alii*, 1992):

– ciascuna campitura ne esclude un'altra e non possono quindi essere presenti campiture sovrapposte;

– ciascuna campitura è contrassegnata da una lettera, con riferimento alla legenda precedentemente indicata;

– le uniche aree lasciate prive di simbolo identificativo all'interno della pianura sono costituite dal substrato affiorante e dai rilievi interni;

– nella scelta delle tessiture da rappresentare in alcuni casi incerti, si sono considerate prevalenti le tessiture a maggiore permeabilità;

– sono state eliminate le aree che alla scala 1:250.000 avevano un diametro inferiore a 1,5 mm ed unificate le aree analoghe con distanza inferiore a 1,5 mm;

– le aree sono sempre delimitate da linee chiuse, per semplificare le successive procedure di digitalizzazione.

Le operazioni di assemblaggio dei fogli ridotti hanno comportato relativamente pochi problemi data la buona corrispondenza con la topografia.

Le operazioni di selezione, semplificazione, combinazione e spostamento hanno determinato, per alcune campiture, un prodotto cartografico più omogeneo e di lettura immediata, anche se evidentemente semplificato rispetto agli originali di partenza.

Per le elaborazioni che hanno portato alla Carta delle Tessiture dei depositi superficiali è stato utilizzato il Sistema Informativo Territoriale illustrato in precedenza.

La Carta delle Tessiture dei depositi superficiali, rappresentata in due fogli alla scala 1:250.000, è stata digitalizzata e successivamente georeferenziata mediante il software ARC-INFO. Per effettuare la georeferenziazione e per ricondurre i dati di base ad un sistema di coordinate univoco, sono stati necessari circa 4000 punti omologhi ad ambedue i sistemi di coordinate utilizzati (UTM e Gauss Boaga).

Successivamente alle operazioni di georeferenziazione è stata effettuata la ricostruzione della topologia della Carta delle Tessiture dei depositi superficiali in modo che ogni poligono avesse un centroide che ne identificasse la classe tessiturale di appartenenza. Essendo ogni poligono identificato da un attributo, in questo caso la classe tessiturale, è possibile classificando o operando sull'attributo ottenere delle carte derivate.

La Carta della Infiltrabilità Regionale è stata ottenuta automaticamente attribuendo a ogni classe tessiturale un proprio grado di infiltrabilità secondo uno specifico abaco, illustrato nei paragrafi successivi.

### 5.3 – DISTRIBUZIONE AREALE DEI DEPOSITI SUPERFICIALI

Dall'analisi della distribuzione areale complessiva delle diverse tipologie di depositi superficiali si osserva che la presenza dei depositi prevalentemente ghiaiosi

è concentrata nelle alte pianure alluvionali cuneese, alessandrina novarese, veronese e nell'alta pianura friulana, nonché lungo le aste fluviali principali del Piemonte e della Lombardia e lungo le conoidi dei principali fiumi appenninici.

I depositi prevalentemente sabbiosi si rinvergono estensivamente nelle parti di bassa pianura cuneese, lombarda e friulana, lungo le aste fluviali principali del basso veneto e della pianura emiliano romagnola, mentre quelli prevalentemente limosi costituiscono la tessitura prevalente nella pianura emiliano romagnola e nella bassa pianura friulana e sono presenti in piccole plaghe nella bassa pianura cuneese e nella bassa pianura bresciana cremonese.

I depositi glaciali costituiscono una fascia di spessore variabile nella zona pedalpina e sono spesso interdigerati con i depositi ghiaiosi-limosi legati ai processi genetici fluvio-glaciali.

Coltri di alterazione superiori al metro sono localizzate principalmente a valle degli apparati morenici piemontesi e lombardi, nella zona orientale della pianura cuneese e in alcune plaghe dell'area pedeappenninica piacentina e parmense; delle plaghe di dimensioni ridotte si rinvergono anche nell'alta pianura vicentina e trevigiana.

I depositi prevalentemente ghiaiosi con coltre di alterazione inferiore al metro sono principalmente distribuiti nelle alte pianure del novarese e della Lombardia nonché nell'alta pianura trevigiana e in zone limitate dell'alta pianura friulana. Aree di dimensioni molto ridotte sono anche presenti nella zona pedeappenninica reggiana e modenese.

I depositi prevalentemente sabbiosi con coltre di alterazione inferiore al metro sono maggiormente distribuiti nella bassa pianura lombarda tra i fiumi Po, Oglio e Mincio; alcune plaghe sono presenti nella pianura cuneese e torinese e nella zona centrale del milanese e della bergamasca. Zone di dimensioni molto ridotte si rinvergono anche nell'area pedeappenninica romagnola.

Le distribuzioni delle aree urbane mette in evidenza la presenza di due poli principali costituiti dalle conurbazioni torinese e milanese; altri centri principali sono allineati lungo il margine pedeappenninico emiliano-romagnolo e nella zona pedalpina. Nella parte centrale della pianura sono presenti esclusivamente centri urbani di dimensioni ridotte.

#### 5.4 – VALUTAZIONE DELLA INFILTRABILITÀ

La metodologia di valutazione della infiltrabilità qui adottata è strettamente dipendente dalla tipologia

dei dati disponibili, dalla scala di rappresentazione e dalla finalizzazione dello studio. In particolare sono state prese in esame le caratteristiche generali e qualitative di infiltrazione dei depositi superficiali, non considerando la entità dei carichi idraulici effettivi (da precipitazione o da irrigazione) che gravano sui depositi stessi.

La indisponibilità di un numero sufficiente di dati sperimentali sulle caratteristiche granulometriche e sul comportamento idraulico, adeguato alla estensione dell'area ed alla disomogeneità delle situazioni, non permette di procedere ad una valutazione quantitativa del parametro infiltrabilità. Del resto, proprio su una area estesa come quella oggetto dello studio, le considerazioni sulla suscettività dei depositi superficiali ai fini della percolazione di sostanze inquinanti verso la falda acquifera sottostante possono essere effettuate in termini comparativi, evidenziando in particolare quelle situazioni che presentano condizioni di maggiore criticità e pericolosità.

Alla scala prescelta sembra importante segnalare la opportunità di ricorrere a stime e valutazioni indirette con carattere areale e non puntuale, con specifica valenza sinottica e con rappresentatività spaziale significativa.

Per la valutazione della infiltrabilità è stato predisposto, pertanto, un abaco (fig. 4) che consente di classificare i depositi superficiali secondo una scala di infiltrabilità in cinque gradi differenziati da elevata a bassa. L'abaco interseca le caratteristiche tessiturali dei depositi superficiali espresse in termini qualitativi, con la presenza e lo spessore o l'assenza di uno strato di alterazione e/o di una copertura di loess. L'assunto fondamentale dell'abaco è rappresentato dalla generale correlabilità tra la tessitura dei depositi e la capacità dell'acqua di trasferirsi verticalmente verso la falda, e quindi la infiltrabilità, secondo una scala semiquantitativa.

Gli elementi principali della classificazione sono costituiti dal grado di classazione dei sedimenti superficiali in funzione delle condizioni genetiche, con particolare riferimento alla presenza della componente argillosa di origine sedimentaria o di alterazione, ed allo spessore della eventuale coltre di alterazione.

Ai depositi prevalentemente ghiaiosi con strato di alterazione o copertura assente, che sono caratteristici degli alvei fluviali e delle conoidi pedemontane viene attribuita una infiltrabilità da elevata ad alta.

I depositi prevalentemente sabbiosi privi di copertura ed i depositi ghiaiosi con uno strato di alterazione di spessore modesto, inferiore a un metro, sono invece caratterizzati da un grado di infiltrabilità da alta a media.

DEPOSITI	TESSITURE		COLTRE DI ALTERAZIONE E/O LOESS			CLASSI DI INFILTRABILITA'		
			assente	<1 m	>1 m			
fluvioglaciali fluviali deltizi costieri lagunari lacustri	granulometrie	ghiaie			>1 m		ELEVATA-ALTA	
		sabbie					ALTA-MEDIA	
	prevalenti	limi					MEDIA-BASSA	
glaciali	male classati							MEDIA-TRASCURABILE

Fig. 4. – Abaco per la valutazione dell'infiltrabilità.  
– *Classification scheme of infiltrability.*

Nella classe di infiltrabilità Media-Bassa sono compresi i depositi prevalentemente sabbiosi con coltre di alterazione e/o copertura di loess inferiori ad un metro.

La classe di infiltrabilità Bassa-Trascurabile è associata ai depositi prevalentemente limosi ed argillosi con presenza o meno di coperture di alterazione di ridotto spessore ed a depositi di origini e tessiture diverse, ma caratterizzati dalla presenza di una coltre di alterazione o di loess superiore ad un metro.

Ai depositi glaciali affioranti nelle zone pedevalpine, in relazione alla scarsa classazione, alla struttura sedimentaria con elevato grado di eterogeneità ed alla consistenza della componente argillosa, è stata attribuita una infiltrabilità molto variabile, compresa tra media e trascurabile.

Alle aree urbane, al substrato affiorante o sub affiorante in pianura ed alle acque interne non è stato assegnato nessun valore di infiltrabilità.

La Carta della Infiltrabilità Regionale con 5 diverse classi è stata ottenuta automaticamente, attribuendo ai poligoni delle caratteristiche di tessitura dei depositi superficiali, mediante un codice identificativo, un valore desunto da una tabella associata al codice. Modificando il numero delle classi e/o il criterio di assegnazione dei valori è possibile ottenere per uno stesso tematismo altre rappresentazioni cartografiche, sempre in accordo con l'elemento documentale di base costituito dalle unità dei depositi superficiali.

La classe di infiltrabilità Elevata-Alta appare distribuita prevalentemente nelle alte pianure alluvionali cuneese, alessandrina, veronese e nell'alta pianura friulana, nonché lungo le aste fluviali principali del Pie-

monte e della Lombardia; lungo le conoidi dei principali fiumi appenninici le aree caratterizzate dai valori più elevati di infiltrabilità vengono invece a ridursi, soprattutto in funzione delle differenti caratteristiche litologiche delle zone di alimentazione.

La classe Alta-Media si rinviene nelle parti di bassa pianura cuneese, nella quasi globalità della pianura lombarda, nella alta pianura padovana trevigiana e nella pianura romagnola dove assume forme allungate in relazione all'andamento degli alvei. In prossimità della costa si hanno intersezioni tra elementi genetici diversi (fluviale-marino-eolico) che modificano questo andamento generale della classe di infiltrabilità a causa della prevalenza locale di uno rispetto agli altri.

La classe Media-Bassa si rinviene maggiormente in destra del medio corso dei fiumi Adda e Serio ed in sinistra del fiume Oglio ed in una porzione piuttosto ampia della pianura compresa tra Mantova e Cremona. Plaghe di minore dimensione si rinvencono anche nella pianura prossima alla città di Torino e nella zona pedecollinare del Monferrato. Aree di dimensioni molto ridotte si rinvencono anche nella zona pedeappenninica romagnola.

La classe di infiltrabilità Bassa-Trascurabile costituisce la classe prevalente nella pianura emiliano romagnola dove è presente con continuità in ampie porzioni, assumendo una articolazione maggiore nella pianura romagnola. Si rinviene anche a valle degli apparati morenici in corrispondenza dei depositi con grado di alterazione maggiore di un metro; inoltre è distribuita in maniera piuttosto continua nella bassa pianura friulana, lungo l'alveo del fiume Po prima della conurbazione di Torino e nella parte meridionale del corso dell'Oglio.

La classe Media-Trascurabile è distribuita nelle zone moreniche in corrispondenza dei depositi mal classati e quindi si rinviene lungo la fascia pedealpina, principalmente dalla zona torinese fino a quella veronese e nell'alta pianura friulana.

I risultati della mappatura dei diversi gradi di infiltrabilità nell'areale oggetto di studio evidenziano il rilevante controllo svolto dalla rete idrografica principale nella localizzazione delle aree caratterizzate dai gradi più elevati, mentre l'infiltrabilità da bassa a trascurabile presenta continuità areale solamente nella bassa pianura.

La distribuzione areale dei differenti gradi di infiltrabilità evidenzia come alle classi Alta-Media ed Elevata-Alta insieme afferisce oltre il 54% dell'areale di studio, rispettivamente con aliquote percentuali pari al 38.2% e 15.9%. La classe di infiltrabilità Bassa-Trascurabile si rinviene su un'area pari al 34.4% del totale. La rimanente superficie è suddivisa quasi equamente tra le classi Media – Bassa (3.8%), Media – Trascurabile (3.0%), e le unità non classificate rappresentate dalle aree urbane (3.4%), dal substrato e dalle acque interne di pianura (1.3%).

Esaminando in modo unitario l'area di studio si vengono ad identificare due zone con variabilità dei gradi di infiltrabilità: la zona pedealpina dove sono presenti tutte le classi di infiltrabilità e la pianura emiliano romagnola e la bassa pianura veneto friulana dove invece prevalgono le classi di infiltrabilità Bassa-Trascurabile e subordinatamente Alta-Media.

È interessante notare come dall'esame comparato della Carta dell'Infiltrabilità e della Carta dell'uso del suolo si evidenzia che quasi tutte le aree urbano-industriali ricadano principalmente in aree con caratteristiche tessiturali tali da comportare una elevata infiltrabilità.

## 6. – CARTA IDROGEOLOGICA REGIONALE (TAV. II f.t.)

### 6.1. – GENERALITÀ

Nel quadro delle attività di ricerca sulla vulnerabilità delle acque sotterranee è di notevole importanza disporre di una Carta in grado di fornire una visione complessiva e sintetica del sistema idrogeologico esaminato.

Lo scopo non è quello di ottenere una rappresentazione dei diversi corpi acquiferi presenti nel sottosuolo della pianura, corredata da valutazioni quantitative delle risorse idriche sotterranee, ma quello di fornire un quadro di riferimento idrogeologico per la

valutazione della vulnerabilità. A tal fine si è concentrata l'attenzione su quegli elementi caratteristici del funzionamento generale del sistema, che non sempre sono tenuti in conto negli schemi valutativi.

La Carta ha pertanto una spiccata valenza sistemica ed identifica, con il dettaglio coerente con la scala di lavoro e con modalità semiquantitative, gli aspetti idrodinamici regionali, le condizioni al contorno, ed i rapporti tra i corpi idrici. In particolare essa è una rappresentazione delle informazioni disponibili sulla struttura del sistema idrogeologico, sulle sue condizioni al contorno, con specifico riguardo al bordo dei rilievi e all'interno della pianura, sui rapporti tra le acque superficiali e sotterranee, sui rapporti tra le acque dolci e salate nella zona costiera, sulla caratterizzazione dei corpi costituenti il substrato, nonché sui rapporti con gli apparati glaciali (BRGM, 1980; CNR, 1989; SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1983).

La Carta non contiene e non rappresenta esplicitamente le caratteristiche di costituzione del sottosuolo, sia per quanto riguarda la zona satura che per quella non satura, che sono state invece utilizzate per elaborazioni in termini di distribuzione percentuale di sabbia, ghiaia e limo, nell'ambito della valutazione della vulnerabilità.

È quindi evidente che la Carta presentata non può essere considerata completamente esaustiva ai fini della caratterizzazione idrogeologica della pianura, ma piuttosto rappresenta un elemento complementare, funzionale ai fini della valutazione della vulnerabilità.

Da un punto di vista concettuale, la rappresentazione è legata ad uno schema unico di riferimento, indicato a margine della Carta, che evidenzia i rapporti tra il substrato, i depositi di pianura, le idrozone del sottosuolo e le acque salate del mare.

Nella legenda sono rappresentate in diagrammi a blocchi le condizioni del sistema idrogeologico al bordo del rilievo e nella pianura ed individuate con opportuna simbologia le tipologie principali dei limiti idrogeologici, in base alle geometrie e caratteristiche dei vari corpi ed ai rapporti intercorrenti tra le zone sature e quelle non sature.

È evidente che le condizioni ipotizzate sono molto schematiche sia per la scala utilizzata sia perché sono riferite a condizioni idrauliche normali, per cui, nei dettagli ed in particolari condizioni di bilancio, la situazione prefigurata può variare, come ad esempio nella distribuzione dei fontanili.

In ogni caso questa modalità di rappresentazione permette di comprendere le caratteristiche idrogeologiche ai bordi e nella pianura sia per la identificazione delle zone di ricarica, e quindi per la valutazione del

bilancio di massa, sia per la presenza di eventuali fonti di inquinamento.

Le informazioni riguardanti la caratterizzazione geologica ai bordi della pianura sono state desunte per quanto concerne la parte prealpina dal Modello Strutturale d'Italia in scala 1:500.000 (CNR, 1989), e per il bordo appenninico dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:500.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1983).

La rappresentazione delle caratteristiche idrodinamiche delle falde superficiali rappresenta uno dei principali elementi informativi della Carta Idrogeologica Regionale e costituisce, anche se in modo indiretto, uno dei parametri utilizzati nella valutazione della vulnerabilità.

Per l'elaborazione di questo tematismo sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne di misura realizzate nell'intervallo 1975-1988 in settori della pianura con una dimensione regionale (BERETTA, 1986; IDROSER s.p.a., 1988; REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA, 1987; CAMAZZI *et alii*, 1988) o superiore (REGIONE DEL VENETO, 1985), integrati con i contributi scientifici originali e con altri dati inediti forniti da istituzioni universitarie ed enti di ricerca (STEFANINI, 1972; ANTONELLI & DAL PRÀ, 1980; DAL PRÀ & DE ROSSI, 1989). In particolare, per il settore di bassa pianura emiliano-romagnola sono stati invece utilizzati i dati relativi ad una campagna di misura che ha interessato gli acquiferi freatici, realizzata a cura del Consorzio di 2° grado per il Canale Emiliano-Romagnolo.

Per gli altri elementi o aspetti idrodinamici, quali scambi tra corsi d'acqua e falde, fontanili, rapporti acque dolci acque salate, si è fatto ricorso agli studi di letteratura, prevalentemente quelli dell'IRSA, integrati da contributi originali forniti dalle istituzioni scientifiche che hanno collaborato alla ricerca.

È stata altresì elaborata una carta piezometrica, relativa all'assetto idrodinamico degli acquiferi profondi in pressione della media e bassa pianura, che viene riportata in figura 5, semplificata e ridotta.

Nell'ambito della schematizzazione delle tipologie idrogeologiche, i corpi rocciosi del substrato ai bordi della pianura sono stati distinti in due tipi: substrato con permeabilità prevalente da molto alta a media; substrato con permeabilità prevalente da bassa a trascurabile. Nella trattazione, i primi sono considerati corpi permeabili s.l. mentre i secondi corpi impermeabili s.l..

Le unità impermeabili sono costituite da argille, sabbie argillose, sabbie fini, molasse, gonfolite, flysch, marne, calcari marnosi, calcari selciferi, rocce cristalline, etc.. Tali termini si ritrovano lungo tutto il bordo

appenninico, l'arco prealpino occidentale e in parte lungo quello centro-orientale.

Le unità permeabili sono rappresentate da termini carbonatici, per lo più mesozoici, che si ritrovano con continuità lungo il bordo prealpino centro orientale, nelle prealpi del bresciano, del veronese, ed in quelle veneto-friulane e del Carso.

Le unità costituenti la pianura sono schematicamente distinte da un punto di vista idrogeologico in: depositi fluvio-glaciali, fluviali, lagunari e deltizi con permeabilità variabile da molto alta (alta pianura) a scarsa (bassa pianura); depositi glaciali s.l. con permeabilità da bassa a trascurabile. Per questi ultimi si è cercato inoltre di rappresentare i rapporti geometrici con il substrato e con i depositi fluvio-glaciali e fluviali.

## 6.2. – RAPPRESENTAZIONE DELLE CONDIZIONI DEL SISTEMA IDROGEOLOGICO

### 6.2.1 – *Condizioni al bordo del rilievo*

Sono state prese in esame le condizioni idrogeologiche del substrato al bordo della pianura per definire la eventuale presenza di falde, con relative geometrie, ed i rapporti che queste possono avere con quella regionale della pianura. Questi elementi conoscitivi consentono di identificare la presenza o meno di una alimentazione della falda regionale di pianura, e di valutare gli eventuali potenziali inquinamenti da parte delle acque circolanti nel substrato.

Nelle zone ove il limite è fra substrato impermeabile e depositi della pianura con falda regionale, l'eventuale alimentazione di quest'ultima sarà rappresentata dalle acque di ruscellamento o dalle acque della rete idrografica.

Situazione diversa si ha invece quando vi sia una continuità tra le falde contenute nei corpi permeabili del substrato e quella regionale della pianura. Si ha in tal caso un deflusso di acque sotterranee su aree molto estese e quindi non controllabile, come ad esempio nelle prealpi friulane.

Sono state prese in considerazione anche le geometrie del substrato in corrispondenza del bordo della pianura. Queste sono riconducibili a tre tipologie fondamentali relativamente all'approfondimento del substrato al di sotto dei depositi della pianura: *a)* graduale lungo un piano inclinato; *b)* quasi suborizzontale; *c)* lungo un piano verticale. Sono anche stati evidenziati i casi in cui particolari rapporti geometrici di sovrapposizione tra substrato permeabile ed impermeabile lungo piani di sovrascorrimento hanno dato origine a condizioni di soglia sovrainposta e sottoposta.

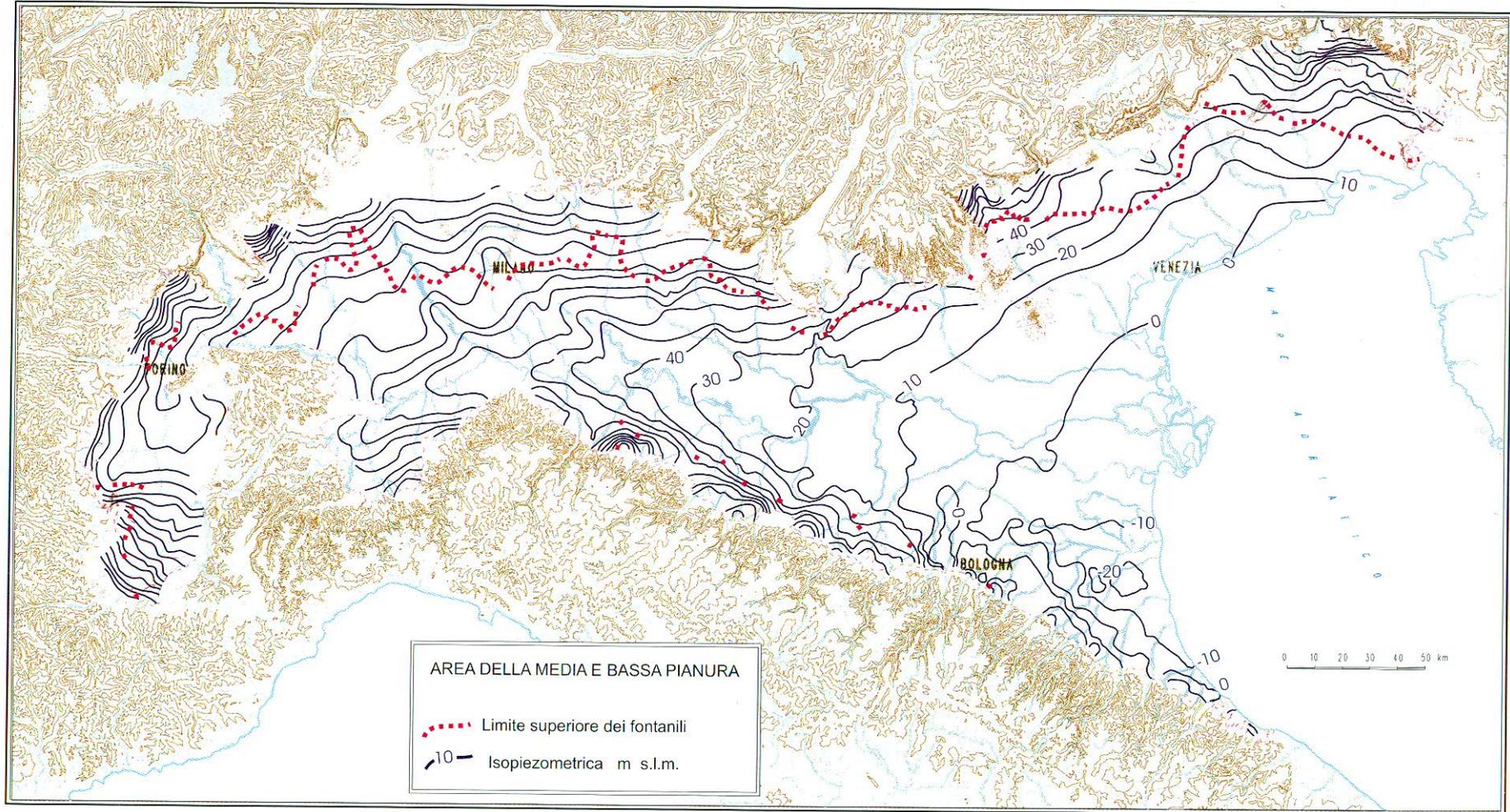


Fig. 5. - Carta piezometrica semplificata.  
- Simplified piezometric map.

In base alle considerazioni suesposte sono state individuate le tipologie più caratteristiche di limiti al bordo dei rilievi di seguito descritte.

– *Depositi vallivi in substrato permeabile ed eventuale falda di base*

Sono condizioni caratteristiche delle aree in cui il substrato è costituito da unità permeabili allo sbocco delle valli in pianura. Tali condizioni prefigurano un interscambio tra le acque superficiali della rete idrografica e la falda contenuta nei depositi alluvionali del fondovalle o quella del substrato. Queste condizioni si ritrovano nelle zone con substrato permeabile delle aree prealpine centro orientali.

– *Depositi vallivi in substrato impermeabile*

Sono condizioni tipiche delle aree in cui il substrato è costituito da unità impermeabili allo sbocco delle valli in pianura. In tali condizioni non vi sono scambi tra le acque superficiali e quelle sotterranee se non limitatamente alle falde contenute nei depositi vallivi. Tali situazioni si ritrovano lungo il bordo pedeappenninico, quello prealpino occidentale ed in alcune aree di quello prealpino centro-orientale.

– *Limite fra substrato impermeabile e depositi della pianura con falda regionale*

È il tipo di limite più diffuso, caratterizzato dalla sovrapposizione di depositi della pianura su unità impermeabili del substrato. Il substrato inoltre approfondendosi verso la pianura costituisce la base della falda regionale così da formare un limite impermeabile. Questa situazione si ritrova lungo quasi tutto il bordo pedeappenninico, in quello prealpino occidentale ed in alcuni settori di quello prealpino centro-orientale.

– *Depositi con falda locale su substrato impermeabile subaffiorante*

Queste situazioni sono dovute alla presenza del substrato impermeabile con geometria suborizzontale, a piccola profondità sotto i depositi superficiali profondamente incisi dai corsi d'acqua. In queste aree non è quindi possibile la presenza della falda regionale; le condizioni di saturazione e la conseguente presenza della falda si verificano solo in corrispondenza dell'approfondimento del substrato nella pianura. Si tratta di situazioni molto particolari che hanno una certa importanza lungo il bordo orientale della pianura cuneese e lungo alcuni tratti del F. Po nei pressi di Vercelli.

– *Depositi glaciali (s.l.) con falda locale su substrato impermeabile*

Queste condizioni si riferiscono ai casi in cui i depositi glaciali si appoggiano direttamente sul substrato, di solito impermeabile, per cui la falda è quasi esclusivamente locale con geometrie ed interscambi idrici articolati, complessi e in alcuni casi variabili nel tempo. Inoltre le geometrie delle falde sono condizionate dalla distribuzione dei depositi dell'apparato glaciale. Tali condizioni si verificano almeno in parte in quasi tutti gli apparati in cui il substrato si ritrova a piccola profondità in pianura.

– *Depositi glaciali (s.l.) con falda locale su unità permeabili con falda regionale*

Questa situazione si riferisce ai casi in cui gli apparati glaciali si addentrano in pianura per cui si appoggiano a unità costituite dai depositi permeabili della pianura. Si riscontra quindi la presenza di una falda regionale al di sotto dei depositi glaciali, i quali a loro volta contengono piccole e limitate falde locali.

– *Limite tra substrato permeabile e depositi della pianura con falda regionale in continuità con quella del substrato*

Tale limite si riscontra nelle aree in cui i depositi della pianura si appoggiano direttamente su quelli permeabili del substrato e la falda regionale dei depositi della pianura si trova quindi in continuità con quella del substrato. In questi casi il substrato si approfondisce gradualmente verso la pianura come avviene lungo il bordo del Carso, nella pianura friulana, e lungo il bordo del Lessini e dei Berici-Euganei occidentali nella pianura veneta.

– *Discontinuità tra substrato permeabile e depositi della pianura con falda regionale in continuità con quella del substrato*

Tale situazione si verifica dove il substrato presenta una geometria subverticale per cui i depositi della pianura si appoggiano lateralmente allo stesso. Si ha quindi una continuità della falda regionale con quella del substrato. Tale condizione è tipica del bordo orientale del sistema Berici-Euganei e lungo la linea Schio-Vicenza.

– *Discontinuità a soglia sovrainposta tra substrato e depositi della pianura con falda regionale raccordata con quella del substrato*

Tale condizione è tipica del bordo prealpino friulano e veneto, in cui i rilievi sono costituiti da mas-

sicci carbonatici sovrascorsi su unità impermeabili ed il piano di contatto (sovrascorrimento) è coperto dai depositi della pianura. Si ha quindi la presenza di una falda importante contenuta nel substrato permeabile, sostenuta dal substrato impermeabile, che alimenta quella regionale dell'alta pianura.

– *Discontinuità con setto impermeabile tra substrato permeabile e depositi della pianura con falda regionale distinta da quella del substrato*

Questa situazione si differenzia da quella precedente in quanto il piano di contatto non è sepolto ma affiora e si ha la venuta a giorno delle acque di falda contenuta nel substrato, con manifestazioni anche imponenti, quali ad esempio le sorgenti del F. Livenza a sud del Massiccio Cansiglio-Cavallo. Le acque di tali emergenze vanno successivamente in parte ad alimentare la falda regionale.

– *Discontinuità a soglia sottoposta nel substrato permeabile con emergenze sottomarine della falda*

Questa ultima tipologia si differenzia in quanto il piano di contatto (sovrascorrimento) è in mare, dove si ritrovano locali manifestazioni sorgentizie di acque dolci. Tale situazione si riscontra lungo il bordo del Carso ove questo si affaccia sul mare.

### 6.2.2 – *Condizioni nella pianura*

All'interno dell'area di pianura sono stati riportati gli elementi che incidono direttamente sulle condizioni della falda libera.

– *Limiti superiori ed inferiori dei fontanili*

Sono stati cartografati, come elementi significativi delle condizioni del sistema idrogeologico, i limiti superiori e inferiori dei fontanili. I fontanili esercitano una azione di drenaggio della falda superficiale ed alimentano una fitta rete idrografica. Sono presenti con una buona continuità laterale in gran parte delle zone di alta pianura pedealpina. Limitatamente si rinvengono anche in piccole aree dell'alta pianura pe-deappenninica.

– *Corso d'acqua drenante*

Sono indicati con frecce convergenti i tratti di corso d'acqua in pianura che svolgono una prevalente azione di drenaggio della falda.

– *Corso d'acqua alimentante per infiltrazione o per filtrazione laterale*

Sono indicati con frecce divergenti i tratti di corso d'acqua in pianura che svolgono una prevalente azione di alimentazione della falda sia per infiltrazione verticale che per filtrazione laterale.

– *Rapporti acque dolci-acque salate*

Nella zona costiera e fuori costa nel mare Adriatico, sino ad oltre 70 km dalla linea di riva, sono presenti falde in pressione protette da potenti orizzonti argillosi per cui si rinvengono acque dolci fino a profondità di circa 300 m (PELLEGRINI, 1991; IRSA, 1981).

Nella zona costiera, in particolare nel delta del Po e nella pianura di Ravenna e di Ferrara, si riscontra anche una ingressione dell'acqua marina che rende salate le falde più superficiali. Tale situazione è riconducibile a fenomeni di subsidenza ed anche a fenomeni di richiamo legati ad accentuati emungimenti.

– *Aree in cui sono presenti acquiferi multistrato e/o semiconfinati e/o confinati*

Sono state distinte schematicamente in pianura due zone in base alla tipologia degli acquiferi: aree in cui sono presenti falde libere; aree in cui sono presenti acquiferi multistrato e/o semiconfinati e/o confinati. Il passaggio tra le due zone è graduale ed è stato fatto coincidere con il limite dei fontanili soprattutto nella pianura prospiciente il lato prealpino, in base ai lavori di vari autori (IDROSER, 1988; ANTONELLI & DAL PRÀ, 1980; STEFANINI, 1972).

Tale suddivisione è molto schematica sia in riferimento alle geometrie previste sia per quanto concerne la loro distribuzione. Infatti, data la scala adottata, non era possibile realizzare un dettaglio maggiore.

### 6.3 – DEPOSITI SUPERFICIALI

La descrizione delle condizioni del sistema idrogeologico nella pianura è integrata con la rappresentazione delle caratteristiche dei depositi superficiali riportata in calce alla Carta. Tale rappresentazione è articolata nelle unità già considerate e descritte nella Carta dell'Infiltrabilità.

L'inserimento di questo elemento nella Carta Idrogeologica risulta di particolare interesse per le considerazioni relative alla possibilità di ricarica verticale (da pioggia e da irrigazioni) delle falde libere, in qualche misura correlabile alle caratteristiche di permeabilità dei depositi stessi.

## 6.4 – CONDIZIONI MORFOIDRODINAMICHE

La pianura può essere distinta in alta pianura pedealpina e pedeappenninica, bassa pianura lungo la zona assiale del bacino del Po e in quella costiera e, infine, media pianura intesa come fascia di interposizione tra queste.

L'alta pianura pedealpina, compresa tra le quote 200 ed oltre 500 m s.l.m. nel settore occidentale e tra le quote 100 e 200 m s.l.m. in quello orientale, corrisponde per lo più alla parte apicale delle conoidi fluviali e fluvio-glaciali, costituite da depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi ad elevata permeabilità.

Nell'alta pianura pedeappenninica, che individua un territorio compreso tra le quote 100 e 200 m s.l.m., la fascia delle conoidi ha una larghezza più limitata, dell'ordine di pochi km.

La zona centrale dell'area costituisce la bassa pianura e comprende un territorio in massima parte situato ad una quota inferiore a 50 m s.l.m., esteso da pochi km ad E di Pavia fino alla linea di costa adriatica e tra il fiume Tagliamento a N ed il fiume Marecchia a S.

La media pianura corrisponde ad un territorio che risulta in massima parte compreso tra le quote 50 e 100 m s.l.m. Essa presenta una larghezza variabile dai 20-50 km sul versante alpino, fino a 10-30 km sul versante appenninico.

Schematicamente, a livello regionale, le isofreatiche evidenziano le seguenti situazioni:

- nel settore centrale ed occidentale una vergenza del deflusso verso la zona più depressa della pianura, dove scorre il F. Po, riproducendo in generale l'assetto idrografico;

- nella pianura veneta, friulana e romagnola un flusso verso la linea di costa anche in questo caso controllato dalla idrografia.

Il gradiente, in generale, diminuisce dal bordo della pianura verso la parte centrale e costiera. Nella zona di alta pianura in particolare è più attenuato rispetto a quello altimetrico, salvo condizioni locali controllate da fattori antropici (es. Milano) o da specifiche situazioni idrostrutturali. Nella media e bassa pianura, invece, si ottengono valori analoghi a quelli dell'altimetria.

I rapporti tra le acque superficiali e le falde libere sono evidenziati da una opportuna simbologia. Nella zona di alta pianura si osserva un prevalere della funzione alimentante dei corsi d'acqua, salvo le situazioni in cui questi ultimi scorrono in alvei particolarmente incisi a causa della loro evoluzione.

Nella zona compresa tra le isofreatiche di quota 0 m s.l.m. e la linea di costa, la posizione della falda libera è controllata dai sistemi di drenaggio artificiali e dagli impianti di sollevamento ad essi connessi.

Il settore sud occidentale dell'area di studio si identifica con la pianura cuneese. Essa costituisce un'unità idrogeologica distinta tributaria del bacino padano e da questo separata per la presenza di depositi fluvio-lacustri Villafranchiani a debole profondità che assumono le funzioni di soglia impermeabile (ARMANDO *et alii*, 1978).

In accordo con le caratteristiche idrogeologiche la direzione generale del deflusso sotterraneo nella pianura cuneese è prevalentemente diretta da S verso N. Alla scala di lavoro, pur non essendo disponibili dati sufficienti sulle quantità scambiate tra acque superficiali e acque sotterranee, gli andamenti delle curve isofreatiche evidenziano che i corsi d'acqua principali, almeno nei settori di alta pianura, esplicano essenzialmente una funzione di alimentazione delle falde acquifere sotterranee. In questo settore della pianura le eccezioni sembrano essere rappresentate dal Po e dalla Stura di Demonte, uno dei principali affluenti del Tanaro.

L'ampia fascia di territorio attraversata dagli affluenti di sinistra del fiume Po comprende la pianura piemontese – dalla Dora Riparia al Ticino e quella lombarda – dal Ticino al Mincio – che hanno rispettivamente una estensione di 6.000 e 10.000 km<sup>2</sup>.

Nel settore piemontese della pianura le curve isofreatiche si dispongono in direzione SO-NE dalla Dora Riparia fino al torrente Cervo, e da quest'ultimo fino al Ticino in direzione OSO-ENE. Le direzioni principali di deflusso delle acque sotterranee risultano quindi NO-SE e NNO-SSE.

Una parte dei corsi d'acqua principali, ad esempio il torrente Orco e la Dora Baltea, hanno nel complesso una funzione di ricarica delle acque sotterranee, almeno nel tratto compreso tra lo sbocco in pianura ed il limite settentrionale della fascia delle risorgive. A partire da questo limite la Dora Baltea, e, diversi km ad E anche il fiume Sesia, assumono una funzione di drenaggio delle falde acquifere limitrofe.

Un analogo comportamento si può evidenziare anche per il fiume Ticino, che opera un attivo e marcato drenaggio della falda sia in sinistra che in destra idrografica, a partire dallo sbocco in pianura, e fino a pochi km a NO di Pavia. Da questa ultima e fino alla confluenza con il fiume Po, in sinistra Ticino prevale il drenaggio, in destra l'alimentazione.

Nel settore lombardo della pianura padana, compreso tra il Ticino ed il Mincio, le curve isofreatiche evidenziano un allineamento prevalente O-E ed

indicano quindi una direzione di deflusso idrico sotterraneo verso S.

Una importante depressione della falda freatica si osserva su una vasta area ubicata in corrispondenza della città di Milano e del suo hinterland. Tale assetto della falda è in stretta dipendenza con la elevata urbanizzazione e con i conseguenti prelievi idrici dal sottosuolo per usi civili ed industriali.

La funzione di alimentazione della falda acquifera sotterranea si realizza anche in corrispondenza dei corsi d'acqua Olona, Lambro, Serio, Oglio e Chiese, almeno fino al limite settentrionale della fascia delle risorgive.

Un importante asse di drenaggio preferenziale, di minore estensione rispetto a quello del Ticino, è impostato lungo l'attuale corso del fiume Adda.

Un altro elemento di rilevante significato idrogeologico è rappresentato dal fenomeno delle «risorgive» della falda freatica, ancora attive nel tratto compreso tra il Ticino e il Mincio ed estese con una discreta continuità anche nel settore piemontese della pianura almeno fino alla sinistra idrografica del Sesia.

La pianura alluvionale veneta e friulana ripropone la struttura idrogeologica con passaggio progressivo dal monostrato indifferenziato a quello compartimentato.

Nel settore di alta pianura veronese si evidenzia una direzione prevalente di deflusso NO-SE in destra Adige, mentre in sinistra le curve isofreatiche tendono a disporsi parallelamente al piede dei Monti Lessini in relazione alla alimentazione della falda regionale da parte di quella contenuta nel substrato.

Nel settore veneto friulano, ad E dei rilievi Berici ed Euganei i fiumi principali (Astico, Brenta, Piave, Tagliamento, etc.) svolgono un'importante funzione di alimentazione della falda acquifera sotterranea ed il processo di dispersione interessa tratti di alveo di lunghezza notevole coinvolgendo volumi idrici considerevoli.

Nella porzione occidentale dell'alta pianura padovana si evidenzia una alimentazione estremamente importante da parte del massiccio calcareo fessurato e carsificato dell'Altopiano del Cansiglio che dà origine al fiume Livenza.

A valle di Pinzano il fiume Tagliamento alimenta la falda freatica dell'alta pianura friulana, specialmente in sinistra idrografica.

Da Gorizia alla confluenza con il torrente Torre il fiume Isonzo svolge una funzione di alimentazione della falda acquifera latitante.

A S della fascia delle risorgive, nella media a bassa pianura, l'andamento delle isofreatiche è nel complesso piuttosto regolare. Esse si dispongono con un

orientamento SO-NE e SSO-NNE dal Po al Livenza e ONO-ESE e O-E da quest'ultimo fino all'Isonzo.

Nella bassa pianura non sembrano evidenziati rapporti di scambio di un qualche interesse tra le acque superficiali e quelle sotterranee.

L'isofreatica di valore 0 m s.l.m. sottende vaste aree di terraferma nelle quali sono presenti anche valori negativi. Nel settore di pianura a N del fiume Po, valori negativi della quota assoluta della falda superficiale sono stati rilevati in numerose campagne di misura nelle zone comprese tra i fiumi Piave e Tagliamento e tra i fiumi Brenta, Adige e Po (MARI, 1985).

Le «risorgive» danno origine a veri e propri corsi d'acqua, quali ad esempio Bacchiglione, Sile, Zero e Dese nella pianura veneta, e Stella, Aussa e Corno in quella friulana.

Nel settore occidentale del versante appenninico, la pianura di Alessandria, estesa per circa 560 kmq, costituisce una unità idrogeologica distinta, separata dalla Pianura Padana ed a questa connessa attraverso i depositi alluvionali di modesto spessore sovrapposti alla dorsale sepolta prepliocenica Tortona-Montecastello (IRSA, 1981). L'area di alimentazione delle acque sotterranee si identifica con gli apici delle conoidi dei corsi d'acqua principali. Il processo di ricarica, operato in massima parte dalle dispersioni fluviali è favorito anche dalla elevata permeabilità del materasso alluvionale.

Nel settore emiliano ed in quello romagnolo i corsi d'acqua principali, Trebbia, Taro, Parma, Enza, Secchia, Panaro, Reno, Ronco, Savio e Marecchia e quelli secondari, hanno formato conoidi coalescenti di non grandi dimensioni, se paragonate alla analoghe strutture del settore prealpino, che sono costituite da materiali grossolani, in massima parte ghiaie a matrice sabbiosa.

In corrispondenza dello sbocco in pianura dei fiumi principali, quali ad esempio Stirone e Taro, Parma ed Enza, Secchia e Panaro, e dei corsi d'acqua minori, le isofreatiche evidenziano, anche alla scala di rappresentazione, l'esistenza di processi di alimentazione delle falde che si esauriscono di norma in corrispondenza della fascia delle risorgive. Queste ultime nella pianura emiliana e romagnola non presentano la continuità e la rilevanza quantitativa che sono tipiche e caratteristiche del passaggio tra la alta e la media pianura del settore pedalpino.

Nella pianura bolognese e romagnola l'azione di ricarica delle falde è di solito limitata al solo settore apicale delle conoidi.

Una evidente depressione di livello piezometrico si segnala nell'area della città di Bologna, correlata ai massicci prelievi esistenti nella zona.

La curva isofreatica di quota 0 m s.l.m. sottende anche nel settore romagnolo della pianura porzioni di territorio piuttosto ampie ed estese. Intorno a Ravenna il suo andamento risulta connesso con gli importanti emungimenti per uso civile ed industriale.

Per concludere l'analisi delle caratteristiche generali del deflusso della falda superficiale e delle aree di alimentazione e di drenaggio, sono necessarie alcune osservazioni relative al settore assiale della Pianura Padana, esteso tra Cremona e la linea di costa adriatica e comprendente anche l'area del delta nel suo complesso.

L'elemento idrogeologico di maggiore rilevanza è rappresentato dall'asse di drenaggio impostato sull'attuale corso del fiume Po.

Pur rimanendo valido a livello di rappresentazione cartografica complessiva e di «area vasta» l'assetto drenante del fiume, in particolari situazioni locali – in sinistra e destra idrografica nel tratto compreso tra la confluenza dell'Enza e dell'Oglio e in destra idrografica dalla confluenza dell'Oglio fino a pochi km ad E di Ferrara – il fiume Po svolge una funzione di alimentazione delle acque sotterranee.

Nella figura 5 è riportato l'andamento schematico e semplificato delle isopiezometriche relative alla media e bassa pianura desunte dai lavori specifici di vari enti (REGIONE DEL VENETO, 1985; IDROSER, 1988; REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA, 1987).

Si può notare l'accentuata regolarità che caratterizza l'andamento delle curve isopiezometriche della media e bassa pianura veneta, che può essere posta in relazione con i seguenti elementi:

- per la ricostruzione della piezometria sono stati utilizzati pozzi che interessano acquiferi differenti, reperibili nell'intervallo di profondità 100-320 m dal piano campagna. Le misure prese in considerazione si riferiscono quindi a «valori medi» delle pressioni di strato;

- la rete di controllo di livello di falda è costituita da circa 70 pozzi nel tratto compreso tra il fiume Po e Tagliamento e tra il limite settentrionale della fascia delle risorgive e la linea di costa adriatica;

- la maggior parte degli acquedotti comunali e consortili traggono alimentazione dall'acquifero indifferenziato della zona pedemontana e dalle falde in pressione nell'area compresa tra il limite settentrionale e meridionale della fascia delle risorgive. In questo settore le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche generali consentono forti produzioni unitarie nei pozzi degli acquedotti e riduzioni di carico relativamente modeste negli acquiferi in pressione, con interferenze contenute, che decrescono piuttosto rapidamente.

Nella media e bassa pianura emiliano-romagnola la configurazione piezometrica risulta, in generale piuttosto articolata e complessa.

Sulla base degli elaborati piezometrici disponibili si può in generale identificare in questo settore della pianura una direzione di deflusso diretta, nelle aree più occidentali, verso la media e bassa pianura, da SO a NE; procedendo verso E il deflusso sotterraneo profondo si dispone gradualmente in direzione O-E, fino a convergere in modo piuttosto marcato ed accentuato verso l'area di Ravenna.

L'assetto generale precedentemente descritto dipende dalle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sottosuolo (litologia, permeabilità, alimentazione, etc.) ma è certamente influenzato dai prelievi di acque sotterranee per i vari usi compresi quelli acquedottistici, che hanno creato depressioni notevoli ed interferenze frequenti a causa della contiguità dei pozzi (VENTURINI *et alii*, 1990a).

## 7. – CARTA DELLA VULNERABILITÀ REGIONALE (TAV. III f.t.)

### 7.1. – GENERALITÀ

Come noto con il termine vulnerabilità naturale o intrinseca si intende l'insieme «delle caratteristiche dei complessi idrogeologici che costituiscono la suscettività specifica di essi ad ingerire e diffondere un inquinante fluido o idroveicolato» (CIVITA 1990a, b). Queste caratteristiche sono legate ai diversi processi in grado di modificare, accelerandolo o mitigandolo, l'effetto del decorso di un fenomeno di contaminazione di una certa intensità. Tale definizione si riferisce quindi esclusivamente al sistema naturale e comprende diversi parametri, ciascuno con diverso peso (CNR, 1990a, b).

Le valutazioni di vulnerabilità degli acquiferi non prendono in considerazione le caratteristiche chemio-dinamiche dell'inquinante, assimilandone il comportamento a quello dell'acqua. Comunemente si considera che questo criterio deponga a favore della sicurezza.

L'applicazione del termine vulnerabilità degli acquiferi al sistema naturale esclude inoltre dal novero dei meccanismi, in prima istanza, qualunque interferenza di origine antropica e non viene quindi considerata la possibilità che un acquifero venga vulnerato mediante immissione diretta in falda di inquinanti, come nel caso dei pozzi perdenti.

La vulnerabilità rappresenta anche uno dei parametri che permettono di valutare il «rischio» di in-