

14 VULNERABILITÀ

PIETRO ZANGHERI¹, ANDREA MAZZUCCATO²

14.1. PREMESSA

La vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento (definita spesso, per sintesi, col solo termine di "vulnerabilità") indica la naturale facilità con cui gli stessi possono essere interessati da fenomeni di contaminazione causati da interventi antropici, mediante infiltrazione, propagazione e trasporto di inquinanti.

Come viene fatto usualmente nelle cartografie di vulnerabilità idrogeologica, l'acquifero analizzato è il primo (falda freatica o debolmente confinata, nel caso specifico, definibile come "superficiale").

Si tratta del primo corpo idrico sotterraneo a partire dal piano campagna che sia alloggiato in materiali con sufficiente grado di permeabilità e di porosità efficace che consentono una significativa portata estraibile (terreni da limoso-sabbiosi a ghiaiosi). Non si considerano quindi come falda i corpi idrici sotterranei inclusi nei terreni poco permeabili o prevalentemente impermeabili.

L'interesse per la vulnerabilità intrinseca della prima falda, nella specifica situazione ambientale del territorio veneziano, deriva in particolare dal fatto che si tratta della falda direttamente in contatto con molte attività antropiche e in comunicazione con la rete scolante superficiale.

La carta è stata prodotta utilizzando il metodo SINTACS, che prevede:

- la realizzazione di una serie di carte tematiche intermedie;
- realizzazione della cartografia di sintesi con la zonazione del territorio secondo la classificazione SINTACS (sei classi di vulnerabilità).

La carta è stata inizialmente realizzata in relazione a quanto richiesto dalla D.G.R.V. n° 615/96 "Metodica unificata per l'elaborazione della cartografia relativa all'attitudine dei suoli allo spargimento dei liquami zootecnici (PRRA, Allegato D, art. 3)" e in seguito con obiettivi più vasti di applicazioni a tematiche idrogeologiche e ambientali a scala provinciale.

Essa viene qui presentata nella cartografia di Tav. 12 in scala 1:100.000; vi sono inoltre riportate, in scala ridotta, le cartografie tematiche intermedie descritte in questo capitolo. Da rilevare che, data la densità di dati disponibili, la carta ha scala nominale di 1:50.000³, che è la tipica scala adatta alla pianificazione territoriale provinciale; non è quindi accettabile una sua applicazione per elaborazioni a scale di maggiore dettaglio.

14.2. METODOLOGIA

14.2.1 Fasi di lavoro

Sinteticamente il lavoro è stato svolto secondo queste fasi successive.

- a) Raccolta e analisi critica dei dati geologici e idrogeologici disponibili presso gli archivi (prevalentemente informatizzati tramite G.I.S.) della Provincia di Venezia, con particolare riguardo all'archivio informatizzato delle prove geognostiche⁴ e a cartografie tematiche del territorio provinciale.
- b) Realizzazione di cartografie rappresentanti i seguenti parametri (previsti dal metodo SINTACS⁵):
 - S:** *Soggiacenza della falda*
 - I:** *Infiltrazione efficace*
 - N:** *effetto di autodepurazione del Non saturo*
 - T:** *Tipologia della copertura (litologia di superficie)*
 - A:** *caratteristiche idrogeologiche dell'Acquifero*
 - C:** *Conducibilità idraulica (permeabilità) stimata dell'acquifero*
 - S:** *acclività della Superficie topografica*
- c) Elaborazione informatizzata (tramite strumenti G.I.S.) delle carte mediante l'uso di *software* e strumenti informatici disponibili presso il Servizio Geologico provinciale.
- d) Calcolo dei punteggi secondo il metodo SINTACS e definizione del grado di vulnerabilità secondo la suddivisione in sei classi.
- e) Costruzione informatizzata, tramite *overmapping*⁶, della Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento⁷.

L'intero lavoro è stato realizzato utilizzando strumenti G.I.S. per cui sarà possibile in futuro, in presenza di nuovi dati, produrre ulteriori aggiornamenti.

¹ Geologo - Studio Tecnico Zangheri & Basso - Padova - www.progettazioneambientale.it

² Geologo - Provincia di Venezia - Servizio Geologico e Difesa del Suolo

³ La scala di lavoro è stata generalmente quella di 1:20.000 (utilizzando come base la C.T.R., su supporto cartaceo o magnetico a seconda della tipologia del dato). L'elaborazione finale però, tenuto conto del diverso grado di dettaglio ottenuto per i diversi livelli informativi, è considerabile valida solo alla scala 1:50.000.

⁴ Vedi anche il capitolo 5 "Banche dati" e la Tav. 7.

⁵ Le iniziali dei sette parametri (S-I-N-T-A-C-S) formano l'acronimo che dà il nome al sistema di calcolo della vulnerabilità.

⁶ Sovrapposizione di più cartografie con la stessa scala.

⁷ L'*overmapping* è stato effettuato alla scala 1:20.000.

L'area cartografata ha caratteristiche idrogeologiche peculiari, quale quella di essere in gran parte al di sotto del livello del mare⁸ e con circolazione idrica in molte parti artificiale perché legata alle idrovore⁹. Si sottolinea che in letteratura si sono reperiti pochi esempi di realizzazione di cartografie della vulnerabilità in aree con caratteristiche analoghe.

14.2.2 Modello di calcolo per il metodo SINTACS

Il metodo SINTACS è un "Point Count System Model", ovvero un sistema parametrico a punteggi e pesi. Prevede la quantificazione in tutto il territorio dei seguenti sette parametri idrogeologici: soggiacenza, infiltrazione efficace, effetto di autodepurazione del non saturo, tipologia della copertura, caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, conducibilità idraulica del mezzo saturo e acclività della superficie topografica.

Per ciascun parametro, attraverso l'uso di appositi diagrammi di confronto, viene assegnato un *punteggio* (da 1 a 10) crescente con la vulnerabilità.

I punteggi relativi ai sette parametri cartografati vengono in seguito moltiplicati per un *peso* correlato a situazioni ambientali e/o antropiche dell'area.

Il sistema SINTACS in particolare prevede cinque situazioni ambientali a cui è possibile attribuire tale peso correttivo:

- ordinaria;
- fonti diffuse;
- drenaggio;
- carsismo;
- fratturato.

La determinazione finale dell'indice SINTACS di vulnerabilità intrinseca risulta dalla sommatoria del prodotto dei singoli punteggi per i diversi pesi secondo la relazione:

$$I_{\text{sintacs}} = \sum_{i=1}^7 (\text{punteggio parametro}(i) * \text{peso}(i))$$

L'indice complessivo può assumere valori compresi tra 23 e 260; tale scala, tuttavia, può essere normalizzata a 100 come indicato nella Tab. 14.1.

Classi di vulnerabilità	Intervallo sintacs	Intervallo sintacs normalizzato
Bassissima	0 - 80	0 - 24
Bassa	81 - 105	25 - 35
Media	106 - 140	36 - 49
Alta	141 - 186	50 - 69
Elevata	187 - 210	70 - 79
Elevatissima	211 - 260	80 - 100

Tab. 14.1 - Classi di vulnerabilità e punteggi previsti dal metodo SINTACS.

14.3. ARCHIVI INFORMATIZZATI SU SUOLO E SOTTOSUOLO

14.3.1 Generalità

Come già accennato, le carte tematiche espone nei paragrafi successivi si basano su una serie di banche dati informatizzate su suolo e sottosuolo progettate, realizzate e costantemente aggiornate da oltre 20 anni dal Servizio Geologico provinciale, che sono state espressamente descritte nel capitolo 5.

Tra le banche dati utilizzate si cita in particolare quella geologico-stratigrafica relativa alle prove geognostiche (nel seguito: banca dati stratigrafica), le cui ubicazioni sono rappresentate nella Tav. 7.

Nel caso specifico dell'idrogeologia di un territorio di pianura, particolare rilevanza hanno le stratigrafie di sondaggio. Infatti, considerate le caratteristiche dell'area, molte delle elaborazioni effettuate si basano *in primis* su dati geologico-stratigrafici ricavati da perforazioni.

14.4. VALUTAZIONE DELLE CLASSI DI VULNERABILITÀ TRAMITE LO SCHEMA DI CALCOLO SINTACS - ANALISI E CARTOGRAFIA DEI PARAMETRI IN INGRESSO

Nel seguito si presentano i dati raccolti e la metodica di elaborazione dei dati utilizzati per realizzare le sette cartografie previste dal sistema parametrico SINTACS.

Ciascuna delle sette cartografie realizzate è disponibile in formato G.I.S. nel sito *web* del Servizio Geologico provinciale (<http://difesasuolo.provincia.venezia.it>).

14.4.1 Soggiacenza della falda

La profondità dell'acquifero (soggiacenza) influisce sulla capacità dell'insaturo a trattenere le particelle di inquinante e quindi a impedire la propagazione dello stesso nell'acquifero.

All'aumentare della profondità della falda si ha una diminuzione nel punteggio da attribuire, in quanto risulta superiore l'effetto di depurazione attraverso l'insaturo.

Il dato di interesse non è sempre la quota piezometrica della prima falda, ma la profondità cui si trova fisicamente l'acqua nel sottosuolo (spesso la falda è prevalente rispetto al tetto dell'acquifero)¹⁰.

Non si è comunque considerata come falda l'acqua di impregnazione presente nei livelli argillosi e limosi.

Per la realizzazione della carta della soggiacenza della falda si sono effettuate le seguenti elaborazioni propedeutiche:

⁸ Vedi anche il capitolo 1 "Microrilievo" e la Tav. 1.

⁹ Vedi anche il capitolo 4 "Idrografia e bonifica idraulica" e la Tav. 5.

¹⁰ Si veda in proposito il capitolo 12 "Idrogeologia" e, in particolare, la scheda relativa all'indagine effettuata sulla prima falda del portogruarese nell'ambito della zona a D.O.C. di Lison - Pramaggiore.

- mappa della profondità dal piano campagna del tetto del primo acquifero;
- mappa della prevalenza della falda;
- mappa della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 m di profondità dal piano campagna.

Dall'analisi e dalla sintesi di queste tre mappe è stata ricavata la carta della soggiacenza della falda.

Partendo dalla citata banca dati stratigrafica del Servizio Geologico provinciale, attraverso una serie di selezioni (*query*) si sono estrapolati, per ogni sondaggio (a esclusione di quelli effettuati per pozzi idrici e di alcuni altri poco significativi), tutti gli strati (*record*) con le seguenti caratteristiche (requisiti cioè affinché uno strato potesse essere considerato un acquifero e, quindi, sede di una potenziale falda):

- spessore maggiore di 1 m;
- quantità di sabbia uguale al 50% o maggiore¹¹.

Questo tipo di selezioni è stato possibile perché a ogni singolo strato archiviato nella banca dati stratigrafica del Servizio Geologico provinciale è stato associato un opportuno codice che ne descrive il litotipo prevalente, permettendo in questo modo di standardizzare le informazioni relative alla composizione granulometrica dello stesso. Si rinvia al capitolo 5 per maggiori dettagli.

Di tutti questi livelli sono stati successivamente selezionati quelli che, per ogni sondaggio, avevano la minima profondità del tetto.

In questo modo si è ottenuta una tabella contenente, per ogni sondaggio che aveva almeno un livello con i requisiti richiesti, le coordinate di riferimento e la profondità del tetto del primo livello di sabbia.

A questi sondaggi sono stati aggiunti quelli che erano rimasti esclusi perché non avevano i requisiti richiesti; sono stati perciò considerati privi di falda fino a 4 m di profondità.

Sono stati così ottenuti 6378 sondaggi che sono stati suddivisi in cinque classi a seconda della profondità del tetto del primo livello di sabbia; la profondità è sempre riferita al piano campagna.

- classe A: da 0 a 1 m;
- classe B: da 1 a 2 m;
- classe C: da 2 a 3 m;
- classe D: da 3 a 4 m;
- classe E: oltre 4 m.

Nella Fig. 14.1 vengono visualizzati i sondaggi suddivisi in base alla profondità del tetto del primo acquifero.

¹¹ E' stata esclusa la classe "argilla e sabbia".

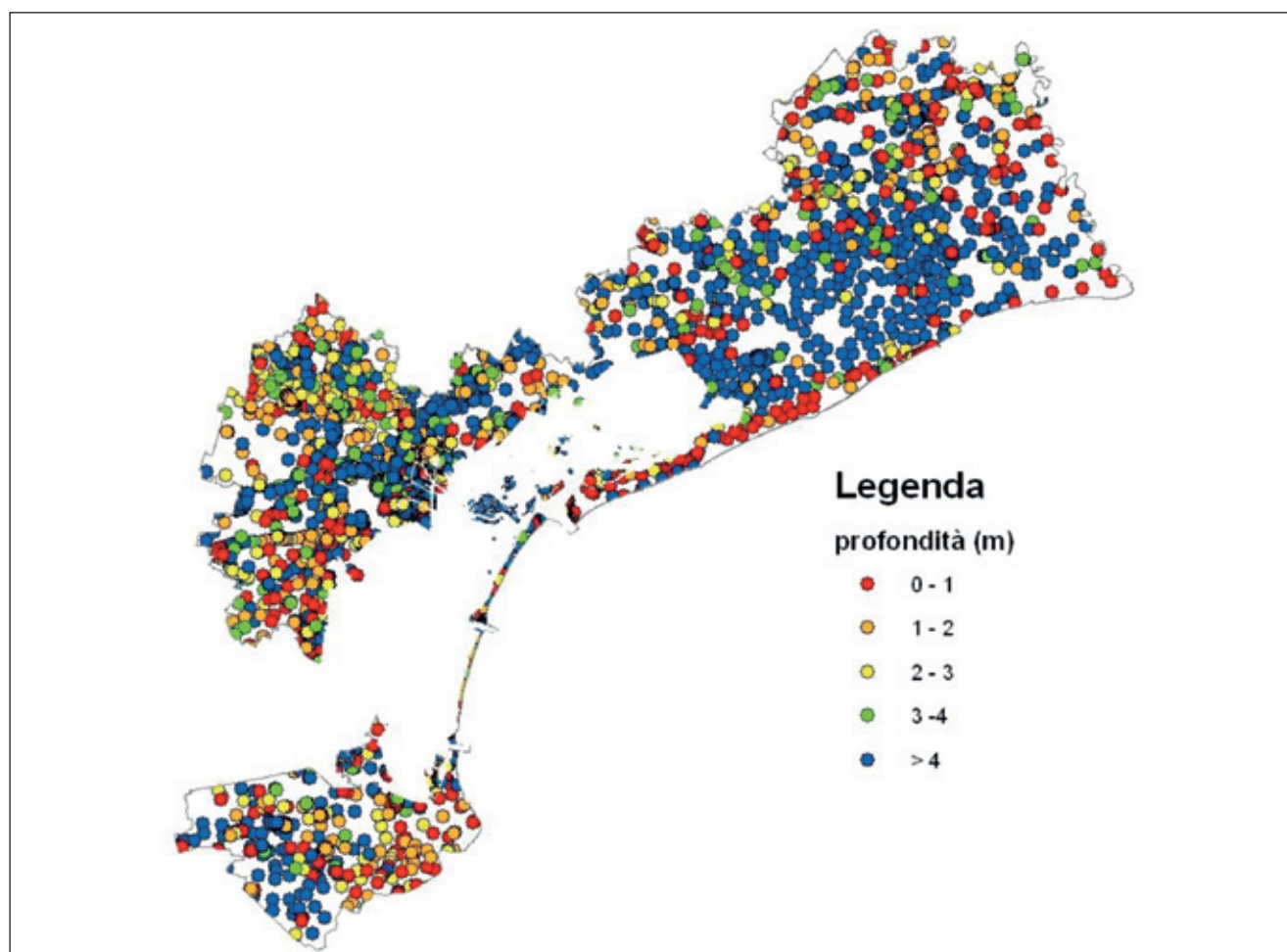


Fig. 14.1 - Sondaggi suddivisi in base alla profondità del tetto del primo acquifero.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata una carta (Fig. 14.2) che rappresenta il tetto del primo acquifero.

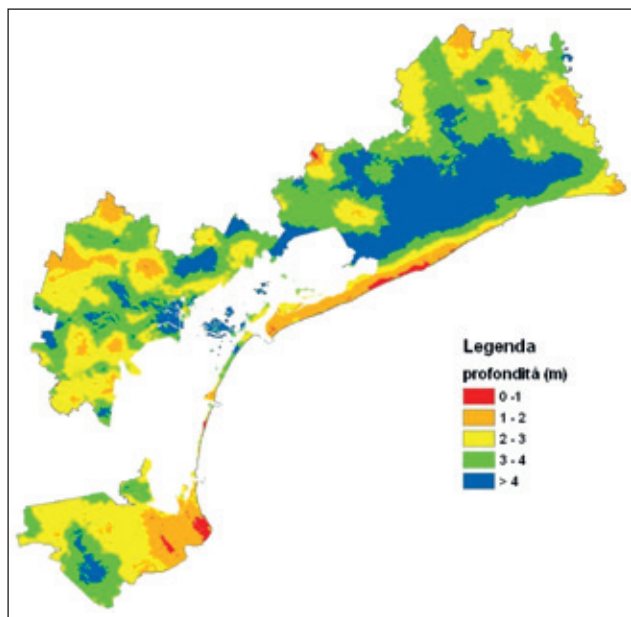


Fig. 14.2 - Tetto del primo acquifero ottenuta per interpolazione (*kriging* ordinario).

E' stato così possibile creare una carta utilizzando la suddivisione nelle cinque classi sopracitate. E' stato quindi possibile stabilire, attraverso un *overlay mapping*, dove la falda è prevalente (risaliente) rispetto al tetto dell'acquifero, dove è coincidente e dov'è soggiacente il tetto dell'acquifero.

Risulta che la falda è quasi sempre prevalente rispetto al tetto dell'acquifero, e quindi debolmente confinata. Solo lungo il litorale e in alcune aree dell'entroterra (ossia dove l'acquifero è più superficiale) la falda coincide con il tetto dell'acquifero. Anche da un ulteriore confronto tra le misure del livello di falda effettuate durante l'esecuzione dei sondaggi (archivate nella banca dati stratigrafica provinciale) e la profondità del tetto dell'acquifero (Fig. 14.3) si ottiene lo stesso risultato.

Infine, è stata realizzata la carta della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 metri di profondità (Fig. 14.5).

E' stato escluso il primo metro perché risulta già preso in considerazione nelle successive carte di sintesi "infiltrazione del non saturo" e "tipologia della copertura". Dalla citata banca dati stratigrafica sono stati quindi selezionati tutti i sondaggi (a esclusione

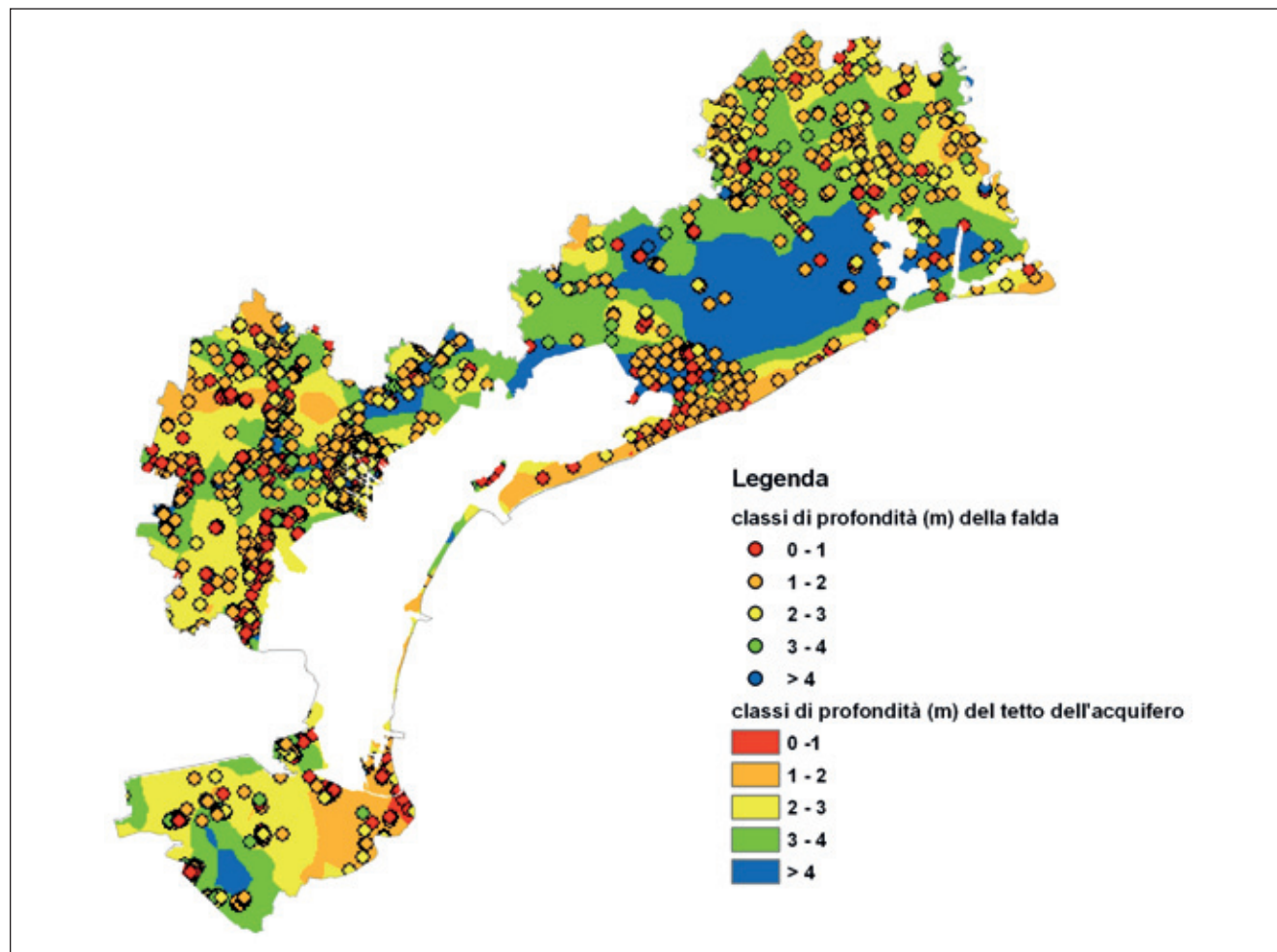


Fig. 14.3 - Confronto tra la profondità della falda misurata in fase di esecuzione dei sondaggi archiviati nella banca dati provinciale e la profondità del tetto dell'acquifero.

di quelli effettuati per pozzi idrici e di alcuni altri poco significativi) profondi almeno 5 m e tutti gli strati compresi tra 1 e 5 m (letto > 1 m e tetto < 5 m). Di ogni strato o frazione di strato è stato calcolato lo spessore in metri e lo spessore in percentuale rispetto allo spessore totale (4 m); inoltre, è stata assegnata la percentuale di sabbia come definita dal codice litologico; questa percentuale è stata poi ricalcolata

sullo spessore totale (4 m). La procedura di calcolo è esemplificata dalla Tab. 14.2.

Sono stati così ottenuti 5036 sondaggi, a ognuno dei quali sono state associate le informazioni relative alle coordinate cartografiche e al contenuto percentuale di sabbia.

Nella sottostante Fig. 14.4 vengono visualizzati i sondaggi suddivisi in base alla percentuale di sabbia.

ESEMPIO RELATIVO AD UN SINGOLO SONDAGGIO										
codice sondaggio	numero strato	profondità tetto	profondità letto	spessore	spessore strato o frazione di strato (m)		spessore strato (%)	codice litologico	sabbia%	tot-sabbia%
							spessore strato (m)/spessore totale (4 m) il tutto moltiplicato per 100		% granulometrica dipendente dal codice litologico. Ad ogni codice litologico è associata una % di sabbia	la % litologica reale per ogni singolo strato tiene conto dello spessore dello strato [sabbia% / 100] * [spessore strato %]
3734	2	0,90	1,50	0,60	0,50	letto – 1 m	12,50	3220	82,5	10,31
3734	3	1,50	1,80	0,30	0,30	uguale al campo spessore	7,50	3430	100	7,5
3734	4	1,80	2,00	0,20	0,20		5,00	3220	82,5	4,13
3734	5	2,00	2,40	0,40	0,40		10,00	3430	100	10
3734	6	2,40	2,60	0,20	0,20		5,00	3220	82,5	4,12
3734	7	2,60	4,10	1,50	1,50		37,50	3430	100	37,5
3734	8	4,10	4,70	0,60	0,60		15,00	1320	0	0
3734	9	4,70	4,90	0,20	0,20		5,00	1220	0	0
3734	10	4,90	5,60	0,70	0,10	5 m – tetto	2,50	1320	0	0
3734					4		100			73,56

Tab. 14.2 - Esempio di elaborazione di una stratigrafia al fine del calcolo della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 metri di profondità.

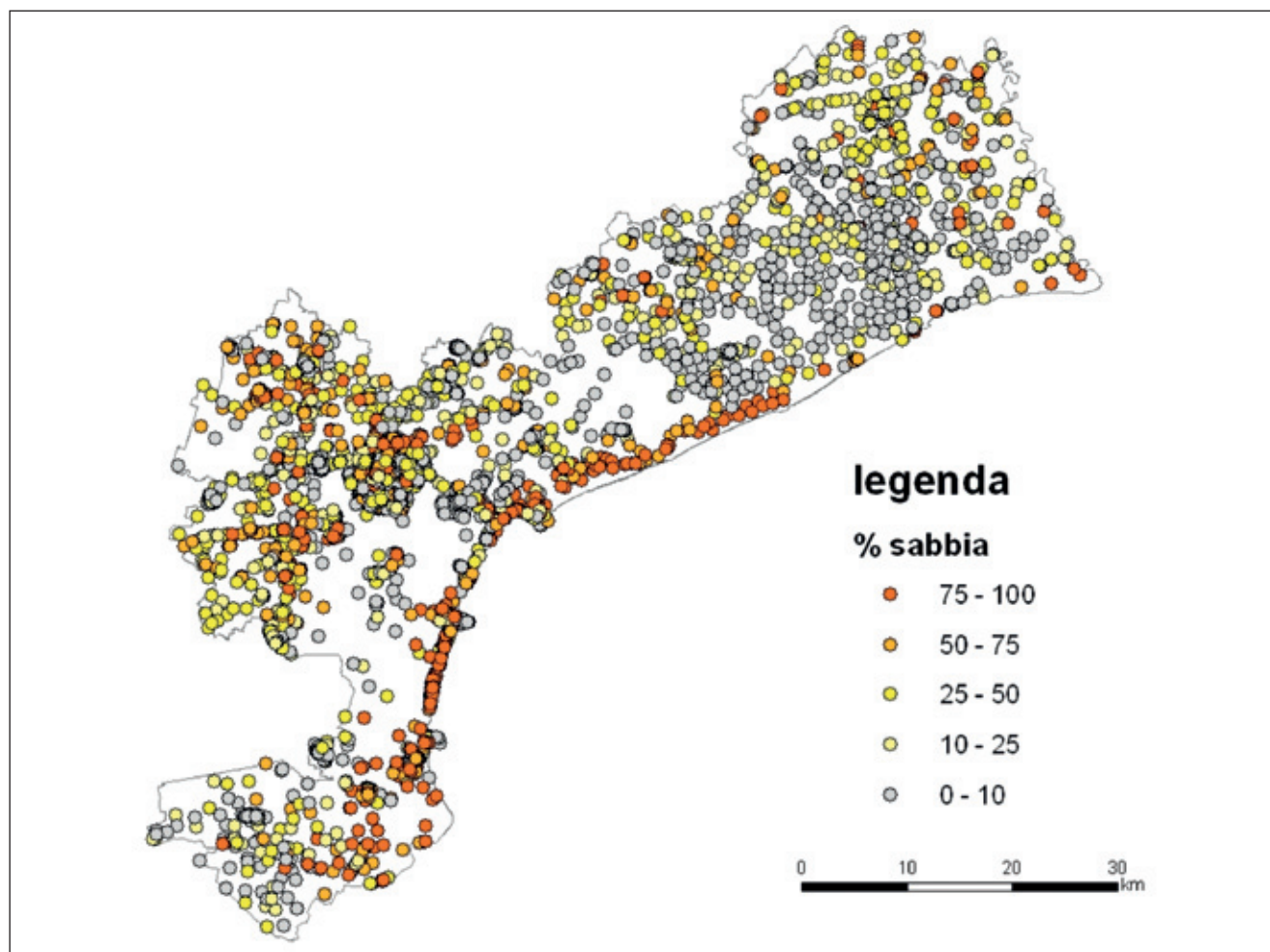


Fig. 14.4 - Sondaggi suddivisi in base alla percentuale di sabbia nell'intervallo 1÷5 m.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata la carta (Fig. 14.5) che rappresenta la percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 m di profondità dal piano campagna.

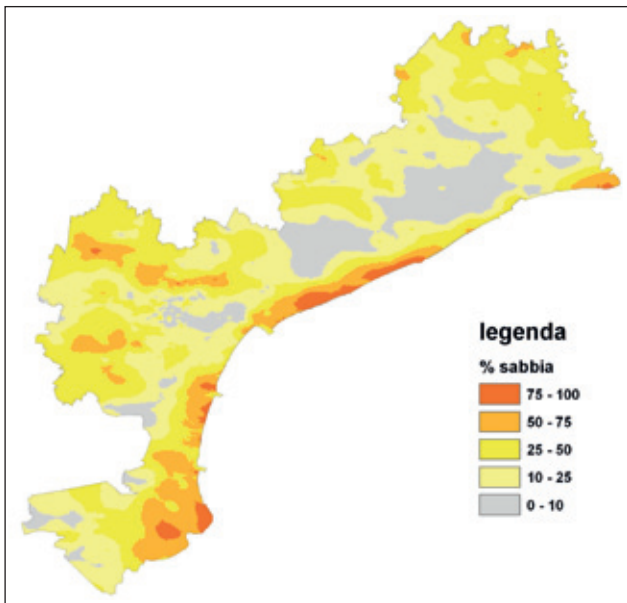


Fig. 14.5 - Carta della percentuale di sabbia presente tra 1 e 5 metri di profondità ottenuta tramite interpolazione (*kriging*).

Si può notare che le aree in questa carta con bassa percentuale di sabbia (inferiore cioè al 10 %) corrispondono sostanzialmente alle aree prive di acquifero nei primi 4 m presenti nella carta del tetto dell'acquifero (Fig. 14.6).

Essendo queste aree prive di acquifero nei primi 5 m di profondità dal piano campagna, si è ritenuto opportuno considerarle come tali nella carta della soggiacenza della falda.

Dalla verifica della carta del tetto dell'acquifero con le misure di falda nei sondaggi e le misure in pozzo (da cui comunque risulta quasi sempre prevalente o corrispondente al tetto dell'acquifero), dal confronto con alcune misure su piezometri localizzate in aree specifiche (Jesolo e litorale di Cavallino, Ca' Bianca di Chioggia e tra i comuni di Spinea e Martellago) presenti nella banca dati idrogeologica provinciale e con l'aggiunta delle aree prive di acquifero risultanti dalla mappa della percentuale di sabbia, è stato possibile ottenere la carta della soggiacenza della falda (Fig. 14.6).

Nella Tab. 14.3 sono riassunte le classi di soggiacenza utilizzate e i relativi punteggi assegnati per confronto con la successiva Fig. 14.7.

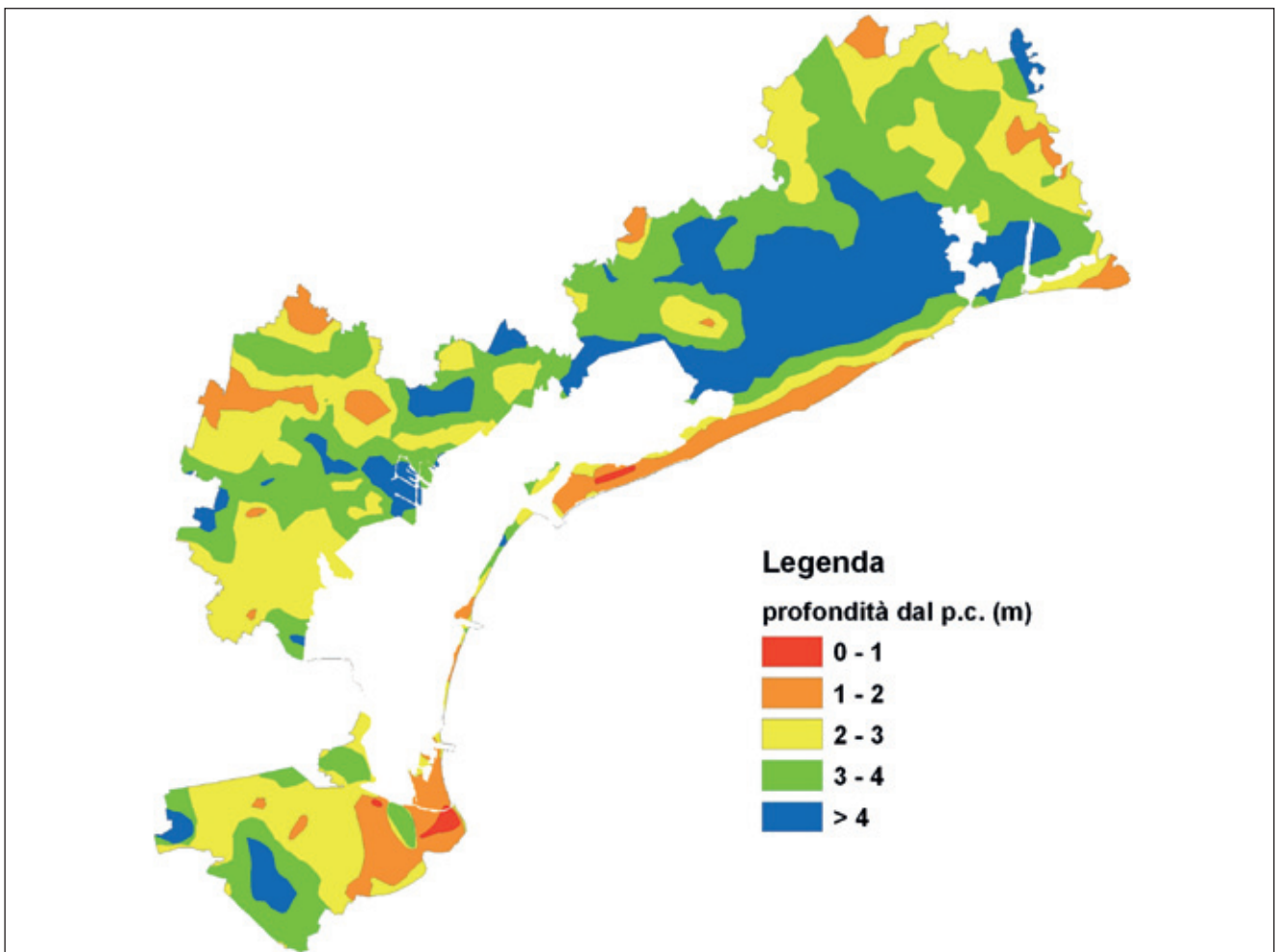


Fig. 14.6 - Carta della soggiacenza della falda.

CLASSI DI SOGGIACENZA E RELATIVI PUNTEGGI		
classe	soggiacenza (m)	punteggio
A	soggiacenza compresa tra il piano campagna e il primo metro	10
B	soggiacenza compresa tra 1 e 2 m	9,4
C	soggiacenza compresa tra 2 e 3 m	9
D	soggiacenza compresa tra 3 e 4 m	7,2
E	aree prive di sedimenti acquiferi fino a 4 m di profondità	6

Tab. 14.3 - Classi di soggiacenza della falda.

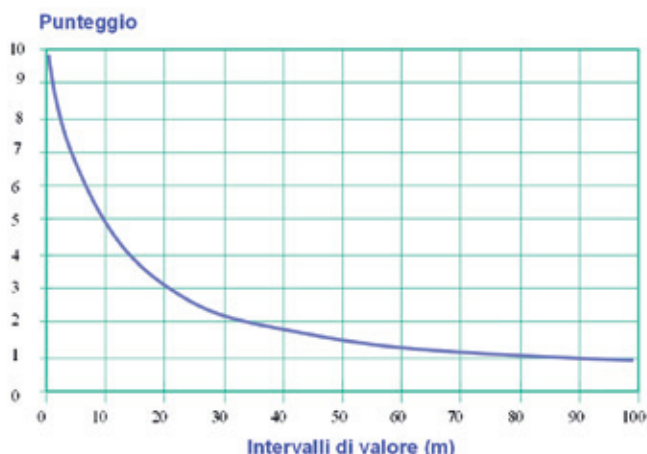


Fig. 14.7 - Valori della soggiacenza e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.8 nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

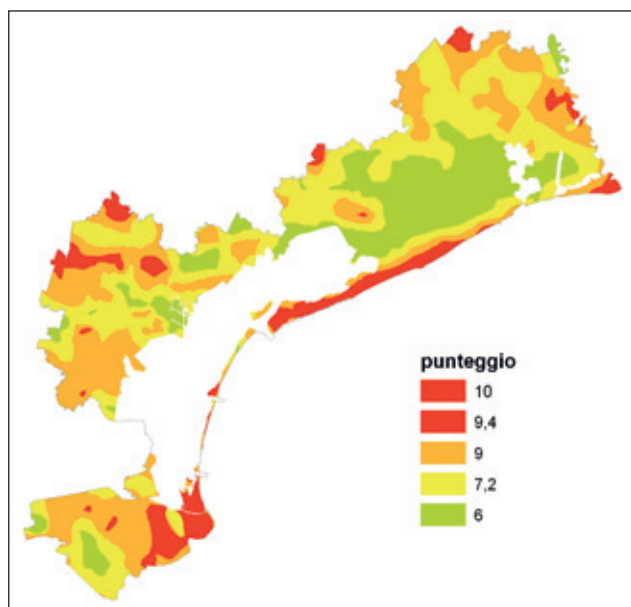


Fig. 14.8 - Punteggi per il parametro soggiacenza.

14.4.2 Infiltrazione efficace

L'*infiltrazione efficace* (I_e) rappresenta l'aliquota di pioggia che giunge all'acquifero e, di conseguenza, fornisce sia una stima dell'effetto di lisciviazione del sistema suolo - sottosuolo sia del trasporto in falda delle potenziali sostanze inquinanti.

Essa viene valutata in maniera indiretta, cioè come

pari alle precipitazioni medie annue moltiplicate per un fattore X definito come coefficiente di infiltrazione potenziale. Si tratta di un metodo empirico che supplisce all'impossibilità di realizzare misure di infiltrazione in situ in modo diffuso sull'intero territorio provinciale.

$$I_e = P_m * X$$

Le *precipitazioni medie annue* vengono indicate col simbolo P_m ; il *coefficiente d'infiltrazione potenziale* X è correlato alla tipologia di copertura e viene ricavato utilizzando il diagramma di Fig. 14.9.

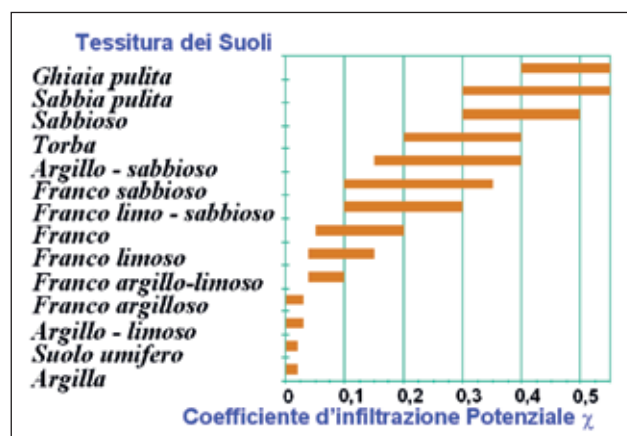


Fig. 14.9 - Grafico per il calcolo dell'infiltrazione media annua in funzione della litologia superficiale (da CIVITA, 1994).

Per ottenere quindi il valore dell'infiltrazione efficace è stato necessario ricavare i dati relativi alla tipologia di copertura (Fig. 14.10) e alla pluviometria.

Le granulometrie da inserire nel diagramma sovrastante sono state ricavate suddividendo i dati disponibili sulla copertura (visualizzati nella sottostante carta) in cinque classi di permeabilità, corrispondenti alle classi di permeabilità visualizzate nella Tab.14.4.

Categoria	Classi geolitologiche	Permeabilità (m/s)	Coefficiente di Infiltrazione
1	Litotipi permeabili	$>10e-4$	0,45
2	Litotipi permeabili	$10e-5 - 10e-4$	0,35
3	Litotipi semipermeabili	$10e-6 - 10e-5$	0,27
4	Litotipi semipermeabili	$10e-7 - 10e-6$	0,07
5	Litotipi semipermeabili	$10e-8 - 10e-7$	0,03

Tab. 14.4 - Coefficienti di infiltrazione in relazione al coefficiente di permeabilità del suolo.

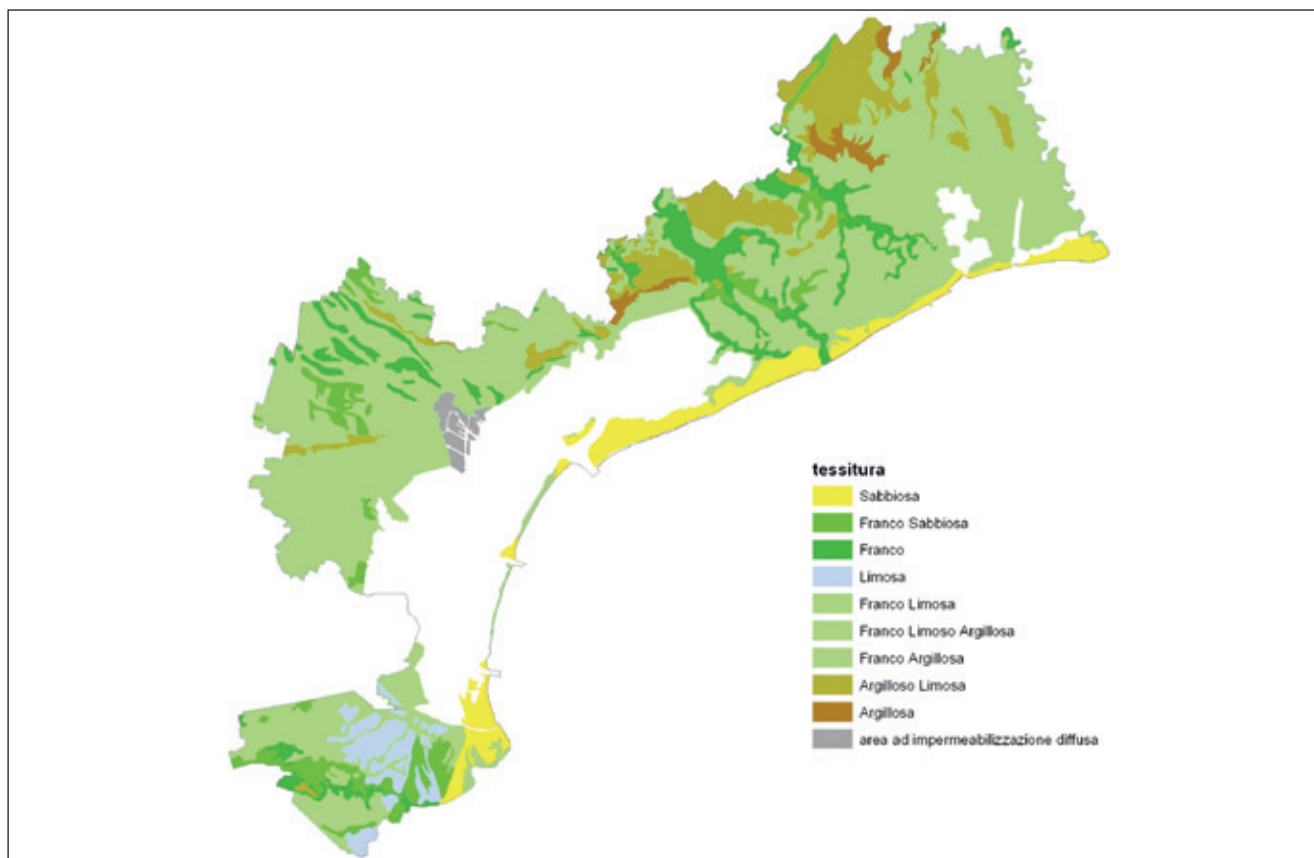


Fig. 14.10 - Carta della copertura (litologia di superficie).

La permeabilità è stata visualizzata nella carta di Fig. 14.11 accorpare i litotipi permeabili in un'unica classe ($k > 10e-5$ m/s).

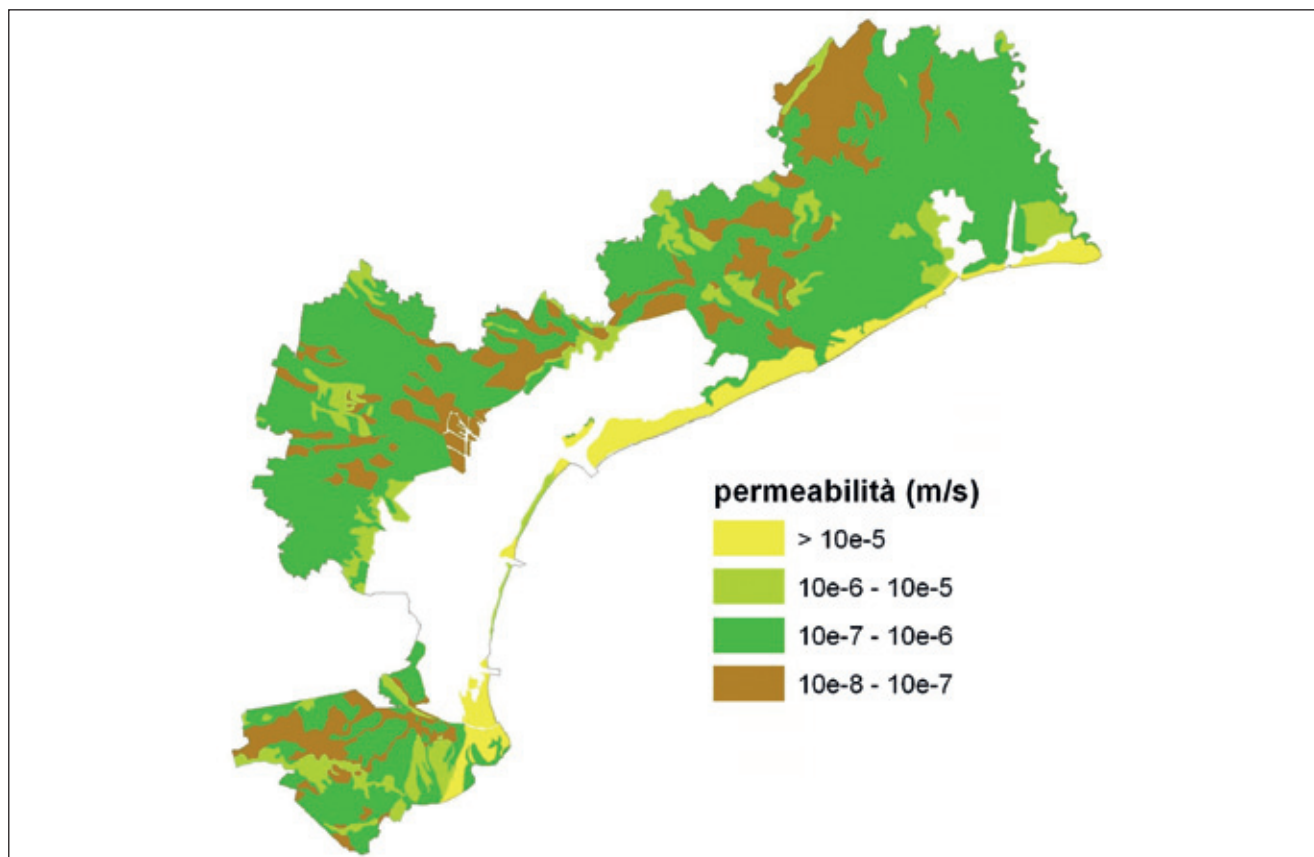


Fig. 14.11 - Carta della permeabilità di superficie ottenuta per riclassificazione della carta della litologia di superficie.

Relativamente ai valori di pluviometria sono stati utilizzati i dati di piovosità media annuale, suddivisi per comune, ottenuti dalla rete di monitoraggio gestita da ARPAV. I valori sono ufficialmente riportati nella D.G.R. 7 agosto 2006, n° 2495. "Approvazione dei criteri tecnici applicativi e della modulistica per la presentazione delle comunicazioni di spandimento e

dei piani di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento - Allegato E1"¹².

Nella precedente Tab. 14.4 sono riportati anche i coefficienti di infiltrazione X utilizzati; moltiplicando tali coefficienti per i valori della pluviometria si sono ottenuti i valori di infiltrazione efficace, rappresentati nella cartografia di Fig. 14.12.

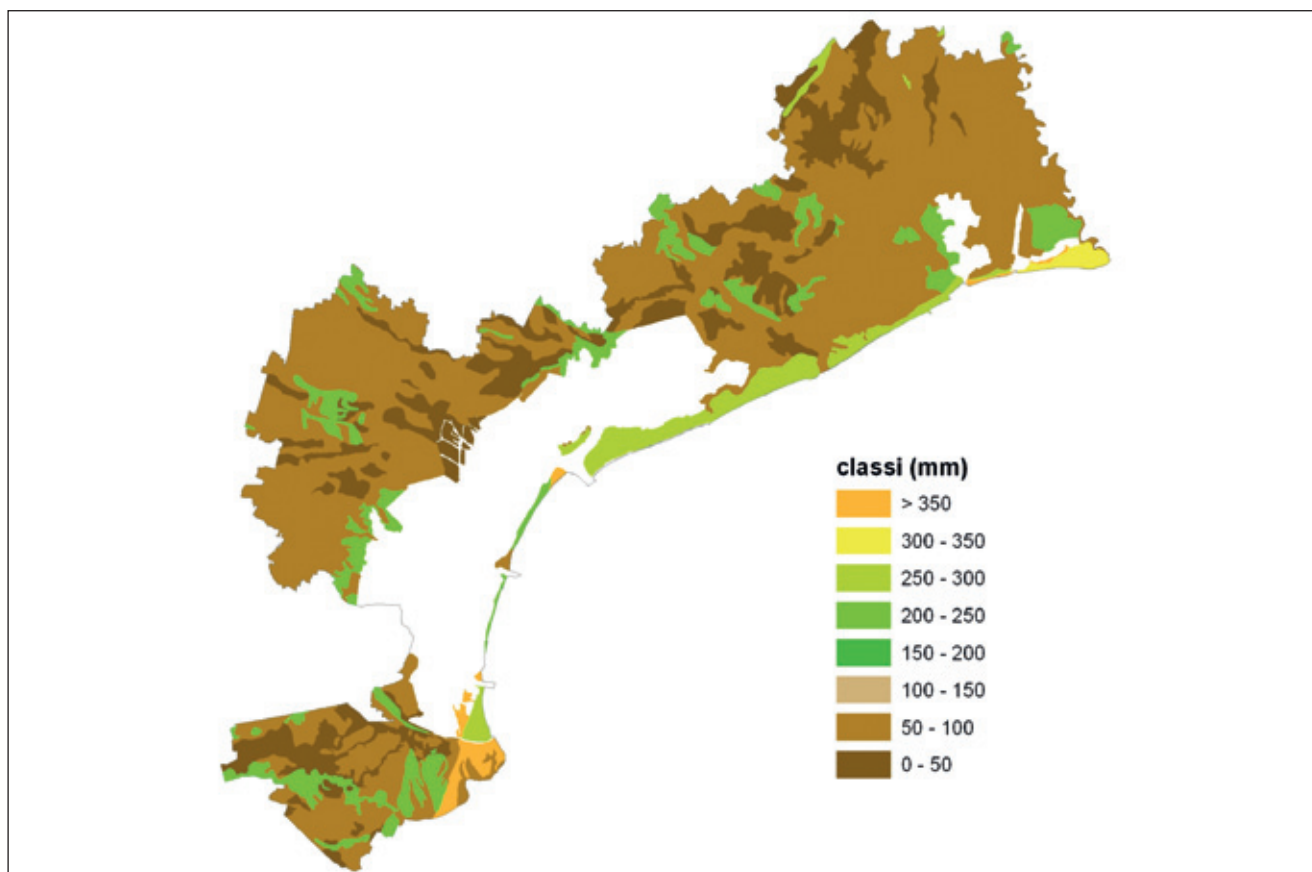


Fig. 14.12 - Carta dell'infiltrazione efficace.

Confrontando il valore di infiltrazione efficace con il diagramma di Fig. 14.13, si ottengono i punteggi da assegnare per questo parametro.

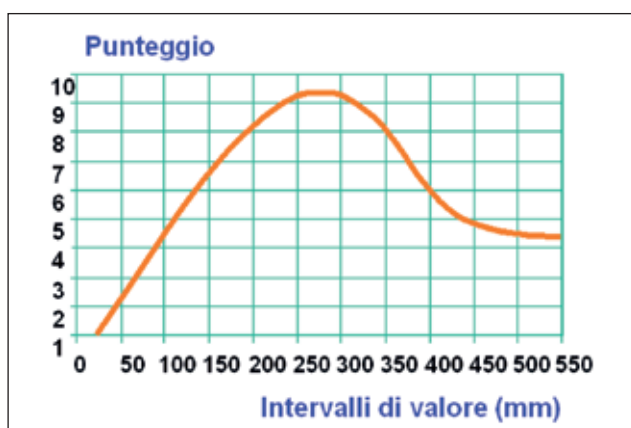


Fig. 14.13 - Valori di ricarica attiva e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.14 nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

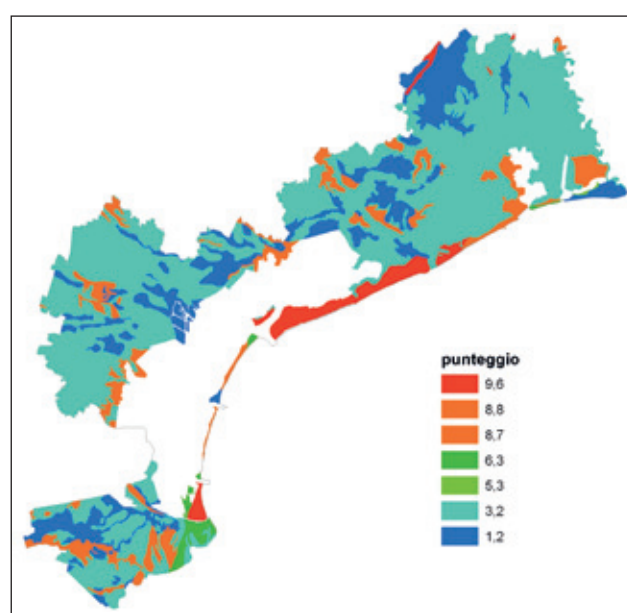


Fig. 14.14 - Punteggi per il parametro infiltrazione efficace.

¹² Vedi anche il capitolo 11 "Climatologia".

14.4.3 Effetto di autodepurazione del non saturo

Il “non saturo” corrisponde all’area compresa tra la superficie della falda e la base del suolo.

La metodologia di calcolo prevede, in sintesi, la riclassificazione della “Carta delle unità di paesaggio” (redatta da Alessandro Fontana del Dipartimento di Geografia dell’Università di Padova per il Servizio

Geologico provinciale, inedita) sulla base delle caratteristiche del non saturo di ciascuna unità.

Nel caso in esame si sono accorpate le unità di paesaggio in otto classi alle quali è stato assegnato un opportuno punteggio, come si può vedere nella Tab. 14.5 e nella Fig. 14.15.

categoria	Unità di paesaggio	descrizione	punteggio
1	RB8	Isole fluviali	7
2	CA1a CA2a CA2s CR1a CR1s CR2a CR2s CR4	Cordoni litoranei apparati deltizi e spiagge	6
3	AB1a AB1b AB2 PR1 PR5 RB1a RB1b RB2	Dossi fluviali	5
4	UR1	Riporti artificiali	3,5
5	LL2	Isole lagunari	3,2
6	AB4 PR2 RB4	Piana di esondazione, area di transizione e incisioni fluviali	3

Tab. 14.5 - Accorpamento delle unità di paesaggio e relativo punteggio assegnato.

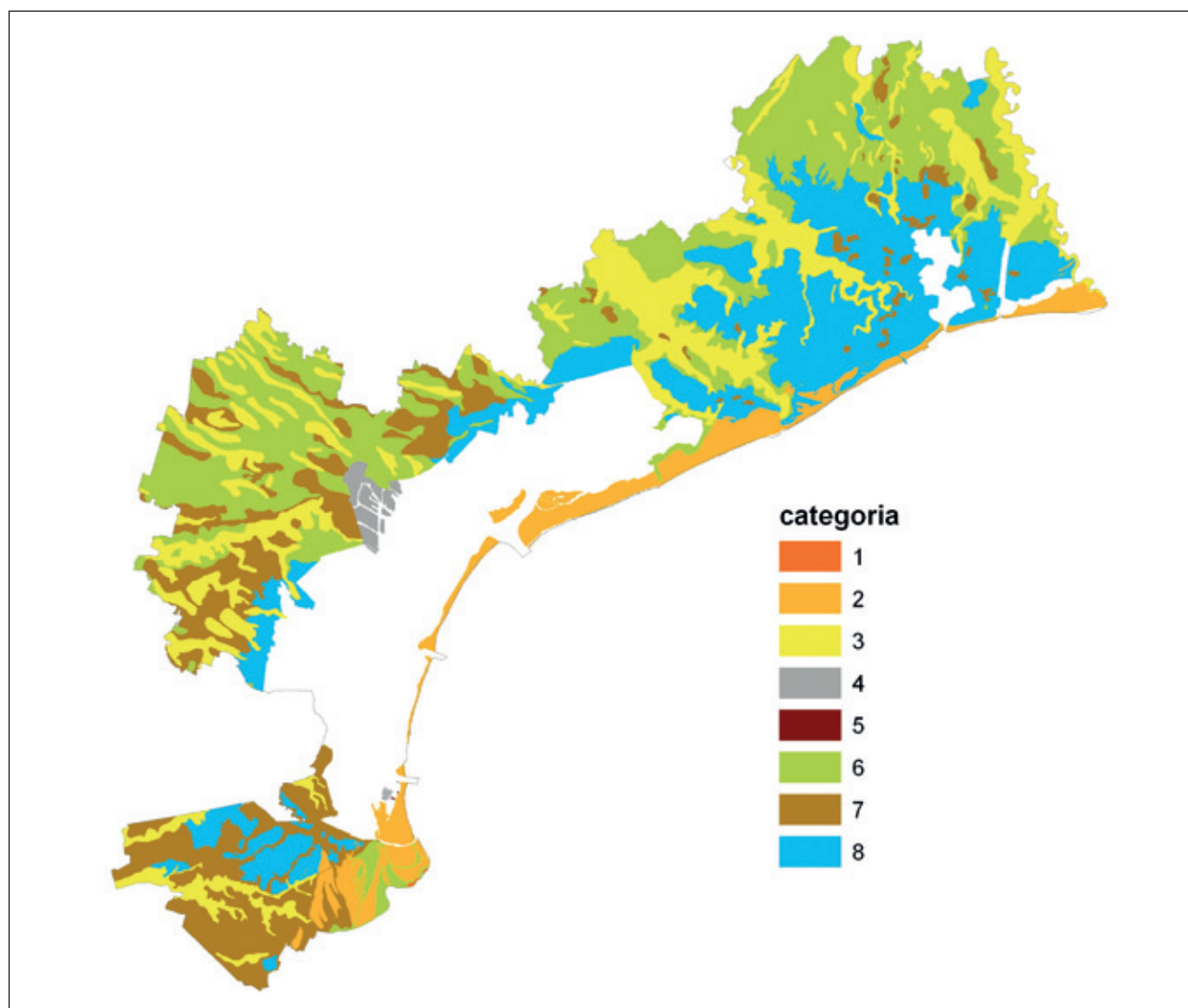


Fig. 14.15 - Accorpamento delle unità di paesaggio in otto categorie.

I punteggi sono stati assegnati sulla base del diagramma *standard* di Fig. 14.16.

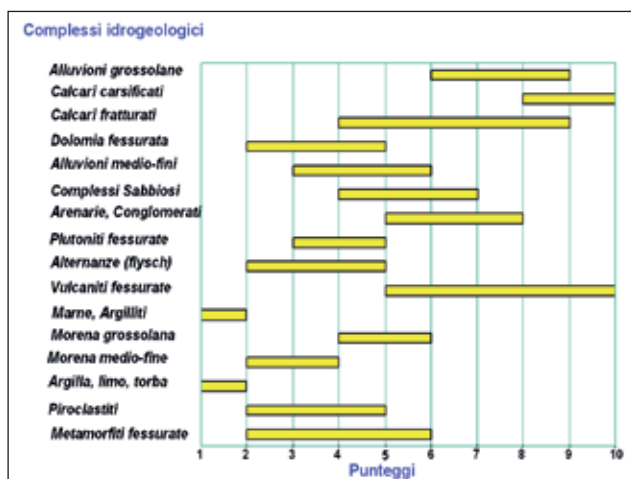


Fig. 14.16 - Punteggi in funzione della composizione litologica della zona non satura (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.17, nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

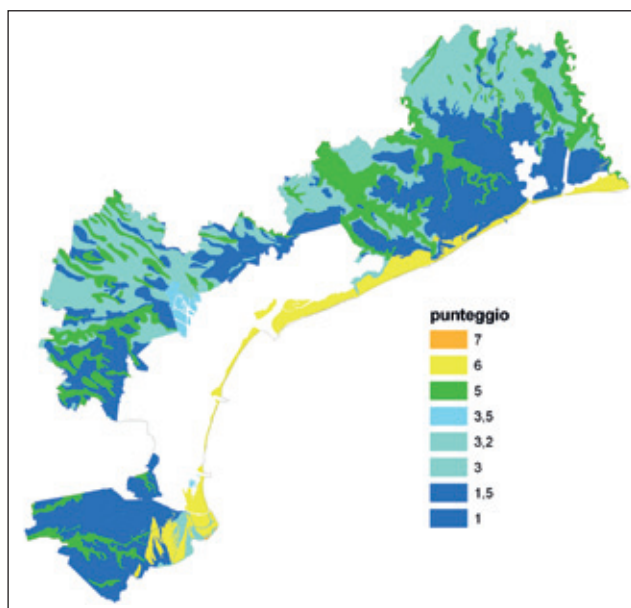


Fig. 14.17 - Punteggi per il parametro autodepurazione della zona non satura.

14.4.4 Tipologia della copertura

L'effetto della copertura (litologia di superficie) è stato valutato sulla base della cartografia della tessitura superficiale, relativa al primo metro di sottosuolo, realizzata elaborando i dati raccolti nell'ambito del progetto "Carta dei suoli"¹³.

I dati relativi alle tessiture derivano da un insieme di rilievi eseguiti nell'ambito del citato progetto: profili e trivellate pedologici, fotointerpretazione ecc.

La distribuzione della tessitura è riportata nella cartografia di Fig. 14.10, già presentata in relazione al calcolo dell'infiltrazione efficace.

Dal confronto con la Fig. 14.18 si sono ottenuti i punteggi che vengono assegnati alle classi di tessitura.

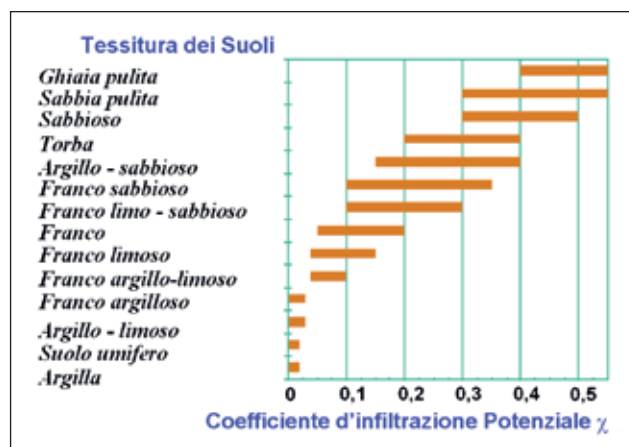


Fig. 14.18 - Tessitura del suolo e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.19, nella quale i punteggi vengono assegnati alle aree a diversa tessitura.

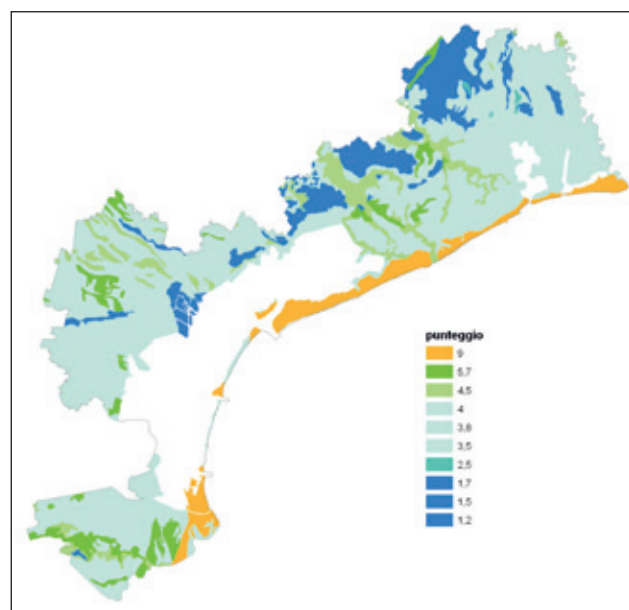


Fig. 14.19 - Punteggi per il parametro copertura.

14.4.5 Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero

Le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero sono un parametro fondamentale nella valutazione della vulnerabilità poiché nella zona satura avvengono fenomeni di diluizione e di dispersione legati ai fenomeni di trasporto.

Si sono distinte quattro diverse tipologie di acquifero a seconda della percentuale di sabbia e di ghiaia

¹³ Si veda il capitolo 6 "Suoli" e le Tavv. 6 e 8.

presente (Tab. 14.6) e ad ognuno è stato assegnato un opportuno punteggio.

Tipologia di acquiferi individuati e punteggi assegnati		
unità	tipologia	punteggio
5	Aree con % di ghiaia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, superiore a 10	9
10	Aree con % di sabbia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, superiore a 70	8
20	Aree con % di sabbia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, compresa tra 50 e 70	6
30	Aree con % di sabbia, da 1 a 10 m di profondità dal piano campagna, inferiore a 50	1,5

Tab. 14.6 - Suddivisione in tipologia di acquiferi sulla base delle percentuali di materiali permeabili presenti nei primi 10 m di sottosuolo.

La divisione del territorio è stata realizzata utilizzando la mappa della percentuale di sabbia presente tra 1 e 10 m di profondità dal piano campagna appositamente ottenuta attraverso la stessa metodologia utilizzata per la realizzazione della mappa della percentuale di sabbia tra 1 e 5 m, estendendo però il calcolo fino a 10 m dal piano campagna, fascia in cui risiede l'acquifero analizzato.

Sono stati così ottenuti 2444 sondaggi; a ognuno dei quali sono state associate informazioni relative alle

coordinate cartografiche e al contenuto percentuale di sabbia e anche di ghiaia.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata la carta di Fig. 14.20, che rappresenta la percentuale di sabbia presente tra 1 e 10 m di profondità dal piano campagna.

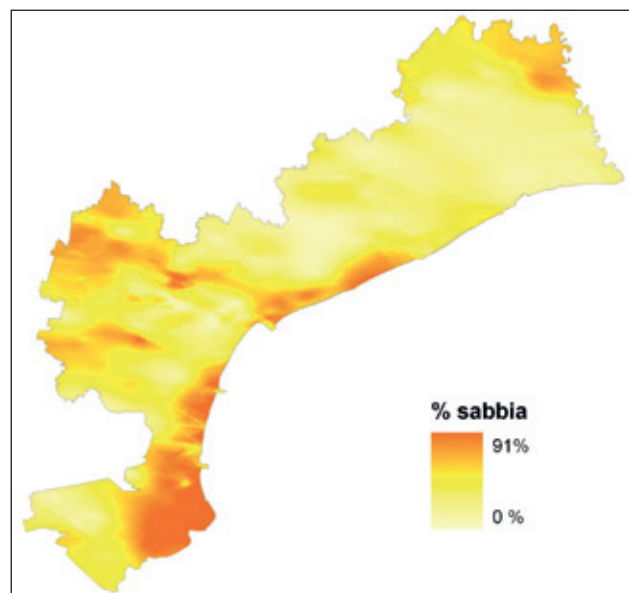


Fig. 14.20 - Carta ottenuta per interpolazione (*kriging*) della percentuale di sabbia presente nei primi dieci metri di profondità.

Estrapolando dalla mappa sovrastante le aree con gli intervalli percentuali di sabbia di 50 e 70 e ricavando dai sondaggi analizzati le aree con presenza di ghiaia maggiore del 10%, si è ottenuta la carta di Fig.14.21, che rappresenta le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

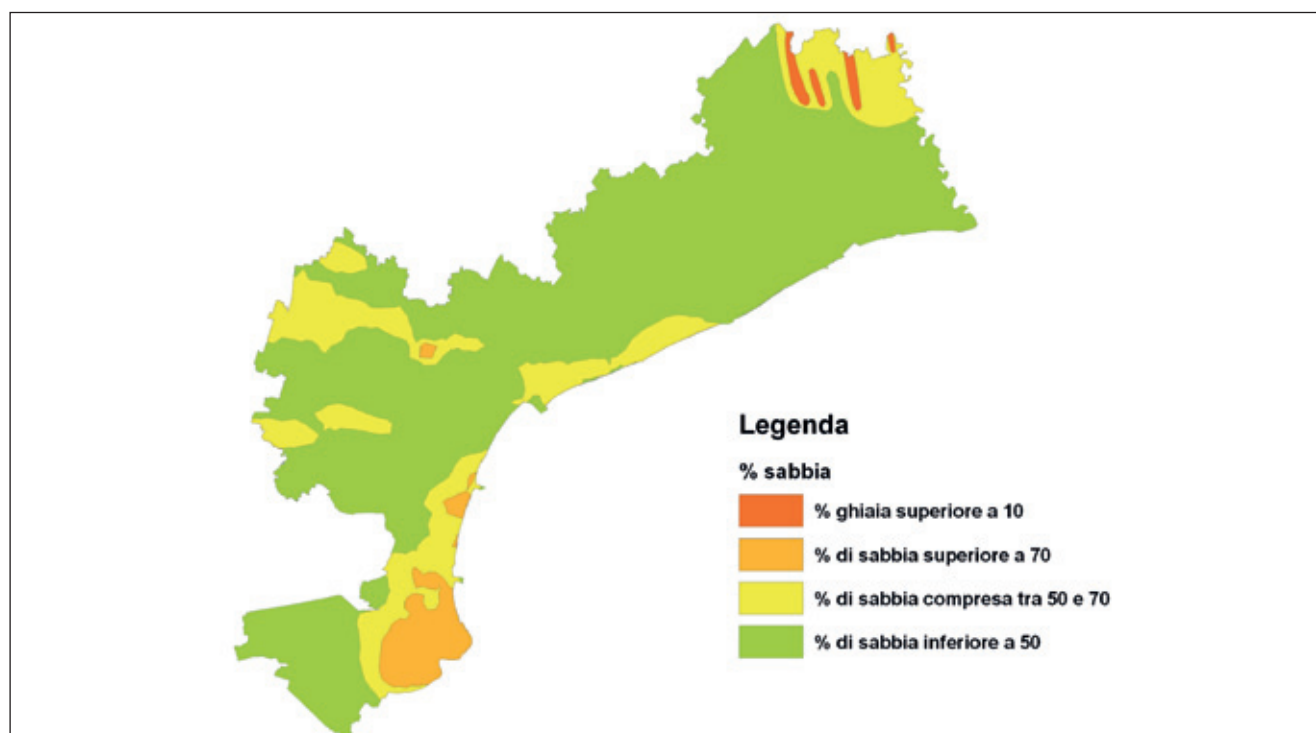


Fig. 14.21 - Carta delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

I punteggi che sono stati assegnati alle varie unità idrogeologiche così delimitate sono stati ottenuti per confronto con il diagramma di Fig. 14.22.

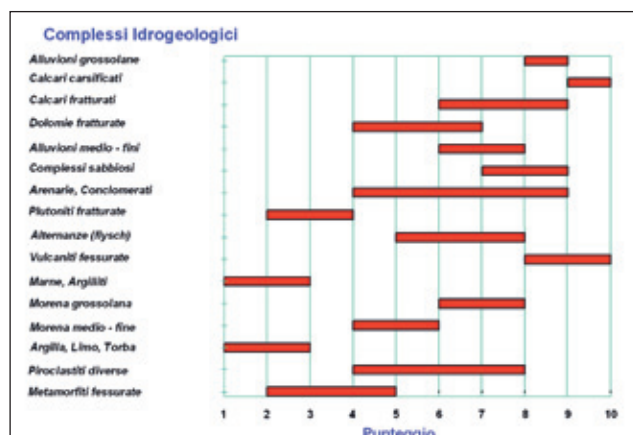


Fig. 14.22 - Caratteristiche delle rocce contenenti la zona satura e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.23 nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

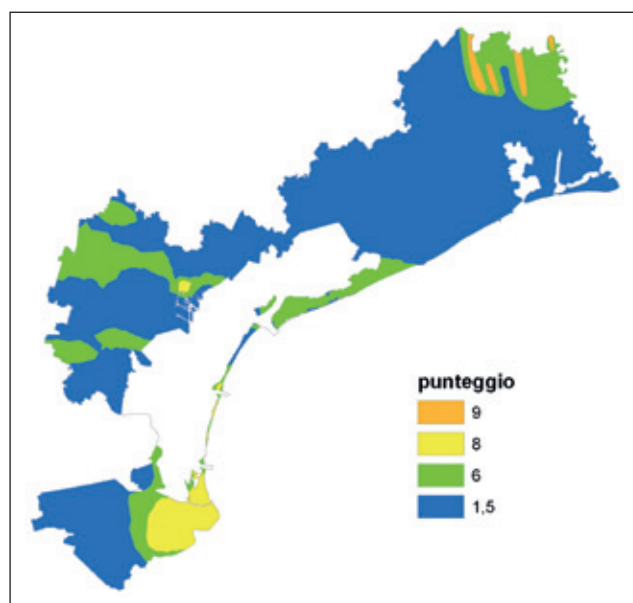


Fig. 14.23 - Punteggi per il parametro caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

14.4.6 Conducibilità idraulica (permeabilità) stimata dell'acquifero

Il parametro conducibilità idraulica (permeabilità) indica la potenziale mobilità di un inquinante idroveicolato nel mezzo saturo; infatti maggiori valori di conducibilità idraulica (k) implicano, a parità di gradiente idraulico, una maggiore velocità di trasporto della sostanza inquinante, come risulta dalla legge di Darcy:

$$Q = k \cdot i \cdot S$$

dove Q è la portata che transita attraverso una sezione ortogonale S con un gradiente idraulico i .

La permeabilità del mezzo saturo è stata valutata utilizzando i sondaggi presenti nella già citata banca dati stratigrafica del Servizio Geologico provinciale.

Sono stati selezionati tutti i sondaggi (a esclusione di quelli effettuati per pozzi idrici e di alcuni altri poco significativi) profondi almeno 5 m e tutti gli strati compresi tra 1 e 5 m (letto > 1 m e tetto < 5 m).

Inoltre, non sono state considerate le stratigrafie con una significativa presenza di materiale di riporto o antropico.

Sono stati complessivamente utilizzati 3168 sondaggi. Di ogni strato o frazione di strato è stato calcolato lo spessore in metri e lo spessore in percentuale rispetto allo spessore totale (4 m) ed è stata assegnata la percentuale delle principali litologie (argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli e torba) come definita dal codice litologico; questa percentuale è stata poi ricalcolata sullo spessore totale (4 m) con la procedura già vista per la carta della soggiacenza della falda (§ 14.4.1). In questo caso inoltre, utilizzando le varie percentuali litologiche così ottenute per ogni sondaggio, è stato possibile ricostruire (attraverso una serie di apposite *query* e un successivo controllo manuale) il codice litologico riferito a questo unico strato di spessore 4 m (profondità da 1 a 5 m), come esemplificato nella Tab. 14.7.

Essendo inoltre tutti i codici litologici suddivisi in quattro classi di permeabilità (Fig. 14.24), è stato possibile far rientrare ogni sondaggio in una di queste quattro classi.

id sondaggio	% argilla	% limo	% sabbia	% ghiaia	% ciottoli	% torba	codice litologico	classe di permeabilità
8	76,25	0	23,75	0	0	0	1230	1
12	8,75	41,25	50	0	0	0	3120	2
14	10,31	52,19	6,56	30,94	0	0	2140	2
17	41	52	7	0	0	0	2110	1
18	42,25	9,75	48	0	0	0	1030	1
20	29,19	25,44	45,38	0	0	0	3042	2
23	28,12	15,37	44	0	0	0	3110	2
27	62,13	37,88	0	0	0	0	1120	1
29	85,56	6,94	0	0	0	7,5	1260	1
33	10,31	8,25	79,25	0	0	2,19	3210	2
35	75	0	25	0	0	0	1230	1
55	44,38	25	30,63	0	0	0	1032	1
58	95,63	4,38	0	0	0	0	1320	1
71	61,25	24,75	5,25	0	0	8,75	1120	1
73	62,06	37,94	0	0	0	0	1120	1
77	14,37	38,62	41,38	0	0	5,62	3020	2
83	40,31	51,62	8,06	0	0	0	2110	1
84	16,25	61,38	22,38	0	0	0	2130	2
91	72,25	15,25	12,5	0	0	0	1120	1
92	14,88	82,5	2,62	0	0	0	2210	1
94	6,56	31,31	62,13	0	0	0	3120	2
95	17,5	82,5	0	0	0	0	2210	1
98	67,5	5,69	26,81	0	0	0	1130	1

Tab. 14.7 - Esempio di calcolo della classe di permeabilità di singoli sondaggi.

1120	argilla con limo	2030	limo e sabbia	3020	sabbia e limo	4110	ghiaia con argilla
1130	argilla con sabbia	2060	limo e torba	3040	sabbia e ghiaia	4130	ghiaia con sabbia
1160	argilla con torba	2110	limo con argilla	3060	sabbia e torba	4120	ghiaia con limo
1140	argilla con ghiaia	2130	limo con sabbia	3110	sabbia con argilla	4150	ghiaia con ciottoli
1220	argilla limosa	2160	limo con torba	3120	sabbia con limo	4230	ghiaia sabbiosa
1230	argilla sabbiosa	2210	limo argilloso	3140	sabbia con ghiaia	4220	ghiaia limosa
1260	argilla torbosa	2230	limo sabbioso	3150	sabbia con ciottoli	4210	ghiaia argillosa
1320	argilla deb limosa	2260	limo torboso	3160	sabbia con torba	4250	ghiaia ciottolosa
1330	argilla deb sabbiosa	2310	limo deb argilloso	3210	sabbia argillosa	4330	ghiaia deb sabbiosa
1360	argilla deb torbosa	2330	limo deb sabbioso	3220	sabbia limosa	4320	ghiaia deb limosa
1400	argilla	2360	limo deb torboso	3260	sabbia torbosa	4310	ghiaia deb argillosa
1150	argilla con ciottoli	2400	limo	3240	sabbia ghiaiosa	4400	ghiaia
				3310	sabbia deb argillosa	5040	ciottoli e ghiaia
				3320	sabbia deb limosa	5030	ciottoli e sabbia
				3340	sabbia deb ghiaiosa	5140	ciottoli con ghiaia
				3360	sabbia deb torbosa	5130	ciottoli con sabbia
	Classe 1: litotipi impermeabili			3430	sabbia fine (*)	5143	ciottoli con ghiaia e sabbia
	Classe 2: litotipi semipermeabili			3400	sabbia	5400	ciottoli
	Classe 3: litotipi permeabili			3045	sabbia ghiaiosa ciottolosa		
	Classe 4: litotipi molto permeabili						

Tabella 3 - Codifiche litologiche utilizzate per l'archiviazione informatizzata dei sondaggi.

Fig. 14.24 - Raggruppamento in quattro classi di permeabilità dei codici litologici.

Le 4 classi di permeabilità sono caratterizzate dai valori di k (m/s) indicati nella Tab. 14.8.

Classe 1	Litotipi impermeabili	$k < 10e-8$
Classe 2	Litotipi semipermeabili	$10e-8 < k < 10e-5$
Classe 3	Litotipi permeabili	$10e-5 < k < 10e-3$
Classe 4	Litotipi molto permeabili	$k > 10e-3$

Tab. 14.8 - Classi di permeabilità del mezzo saturo.

Nella carta di Fig. 14.25 vengono visualizzati i sondaggi suddivisi per classe di permeabilità.

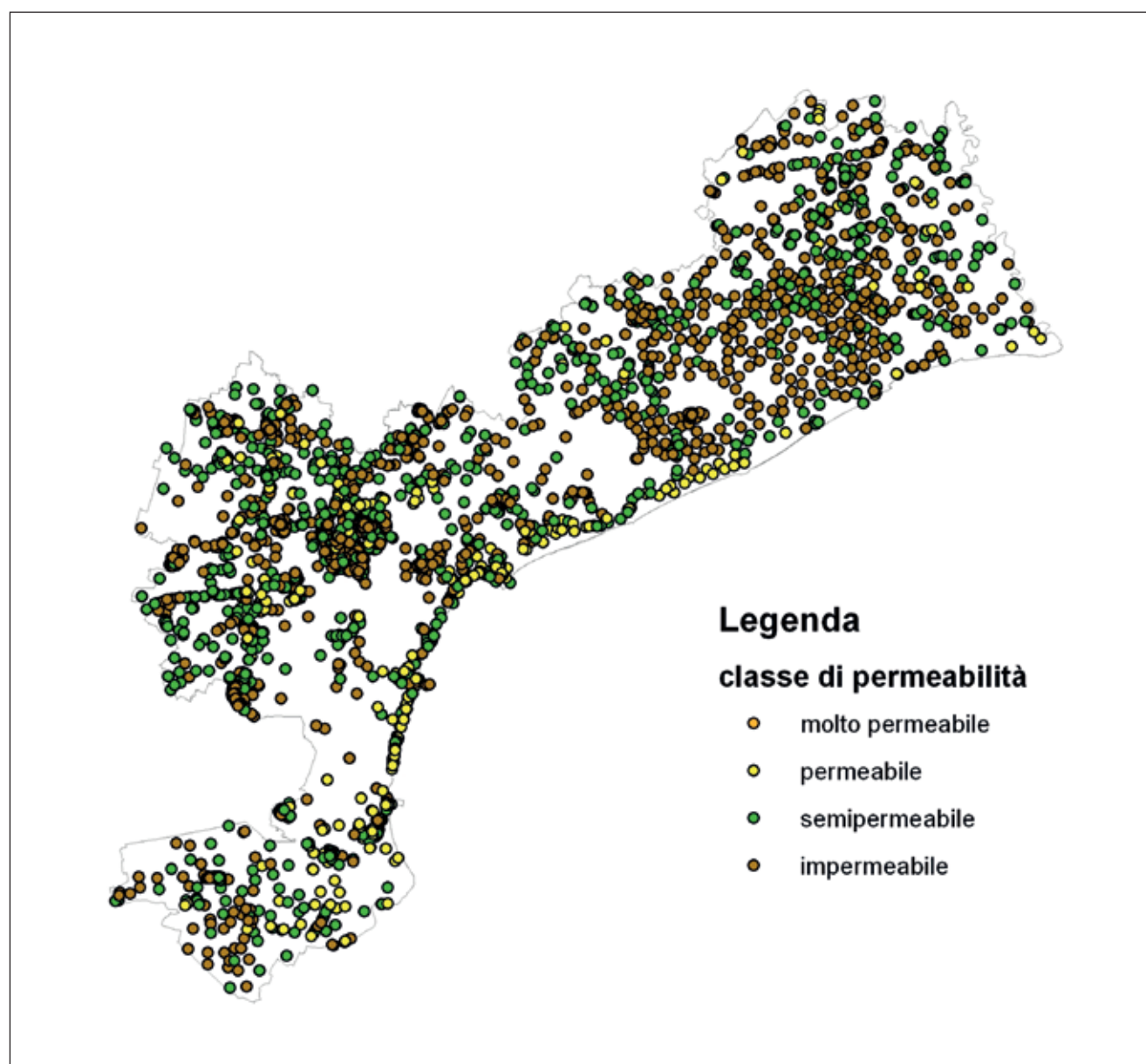


Fig. 14.25 - Sondaggi suddivisi per permeabilità calcolata.

Dall'interpolazione (*kriging* ordinario) di questi punti è stata ricavata la carta di Fig. 14.26 che rappresenta la classe di permeabilità che caratterizza la porzione di sottosuolo tra 1 e 5 m di profondità dal piano campagna.

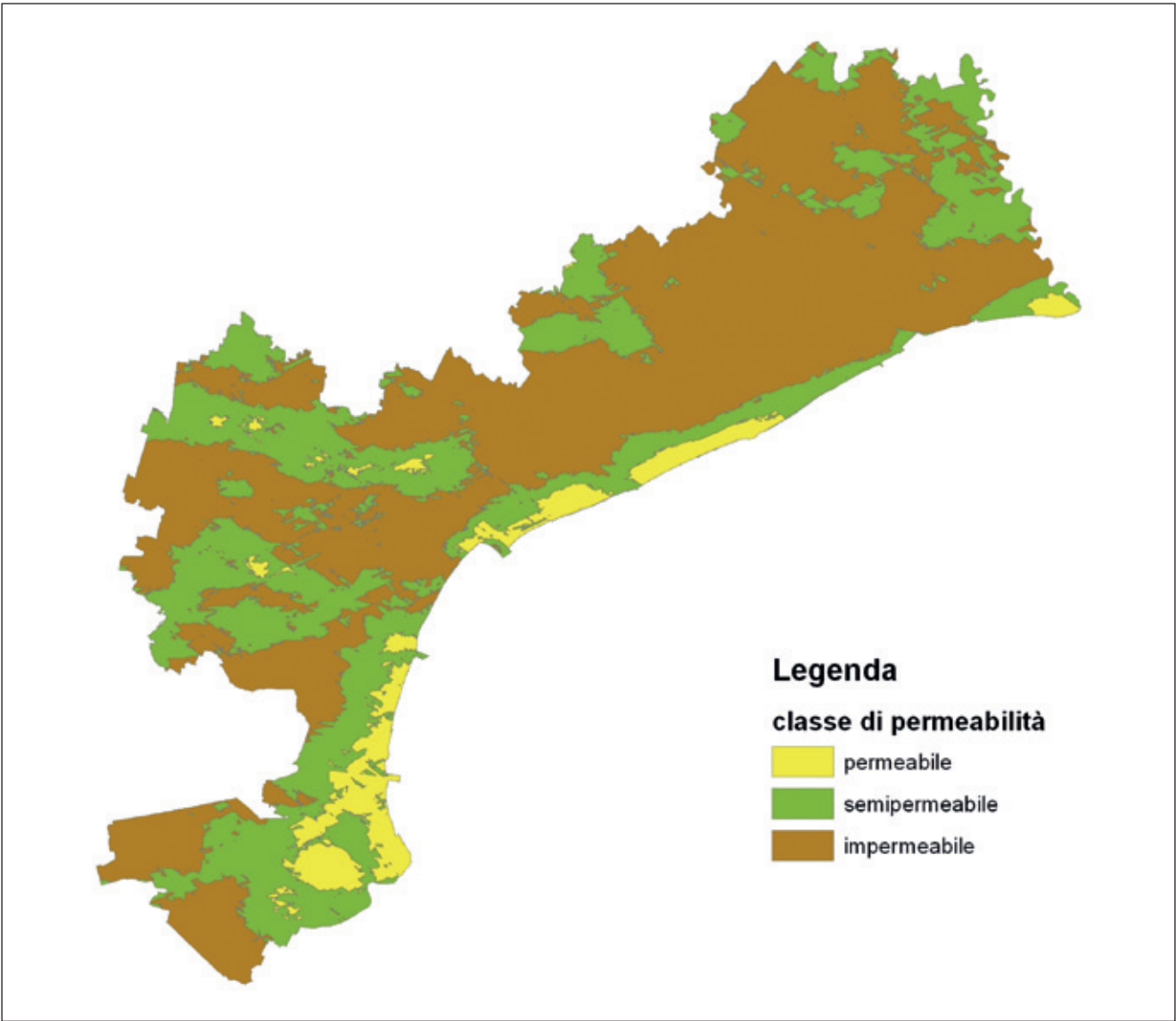


Fig. 14.26 - Carta della permeabilità ottenuta per interpolazione (*kriging*) dei valori calcolati sui singoli sondaggi.

Utilizzando il diagramma di Fig. 14.27, si ottiene il punteggio che viene assegnato a ogni classe di permeabilità.

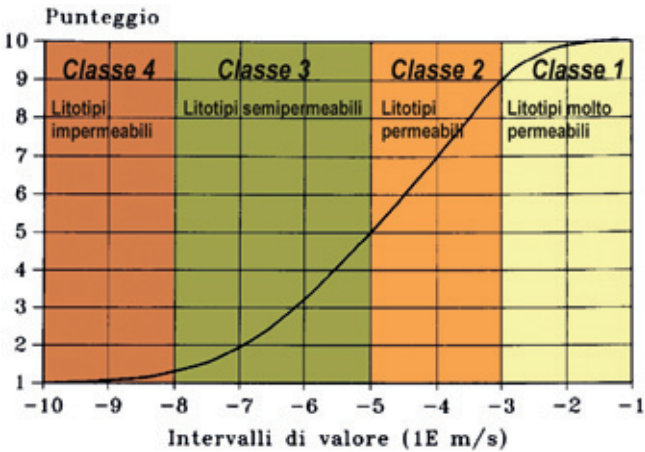


Fig. 14.27 - Valori della conducibilità idraulica e relativi punteggi (da CIVITA, 1994 - integrato).

I punteggi ricavati sono stati riportati nella Tab. 14.9.

<i>Litotipi</i>	<i>k (m/s)</i>	<i>punteggio</i>
Impermeabile	$k < 10e-8$	1,1
Semipermeabile	$10e-8 < k < 10e-5$	2
Permeabile	$10e-5 < k < 10e-3$	5

Tab. 14.9 - Punteggi e permeabilità delle classi di litotipi.

Si ottiene infine la carta di Fig. 14.28, nella quale i punteggi vengono assegnati alle varie aree.

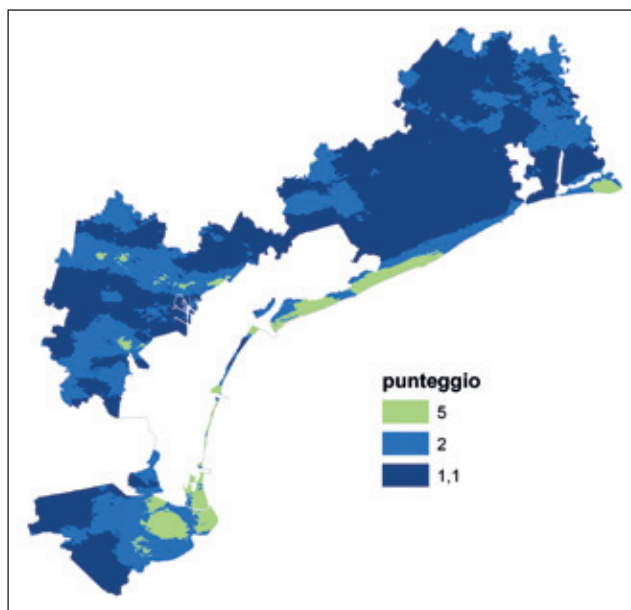


Fig. 14.28 - Punteggi per il parametro permeabilità dell'acquifero.

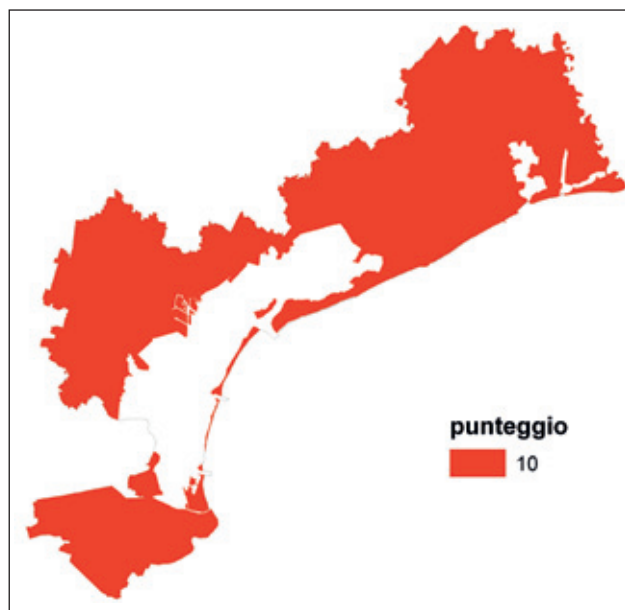


Fig. 14.30 - Punteggi per il parametro acclività della superficie topografica.

14.4.7 Acclività della superficie topografica

Per quanto riguarda l'acclività della superficie del terreno, si sottolinea che a maggiori valori di questa grandezza corrisponde un minor ristagno d'acqua sul suolo; ciò determina un'aliquota di infiltrazione inferiore ai corpi idrici.

I valori rappresentativi di pendenza dell'area oscillano intorno all'uno per cento. Con riferimento alla Fig. 14.29, si sono assegnati uniformemente i valori di punteggio massimo pari a 10 (Fig. 14.30)¹⁴.

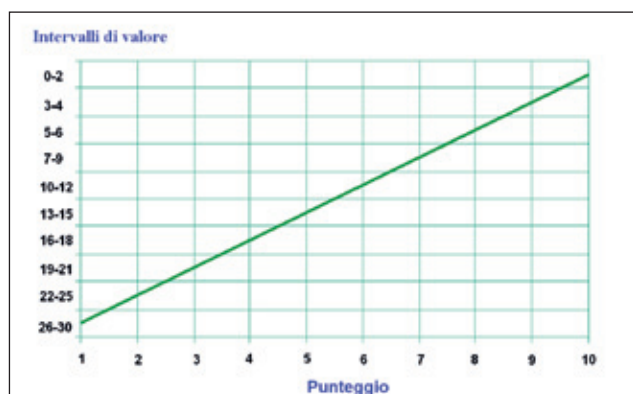


Fig. 14.29 - Valori dell'acclività della superficie topografica e relativi punteggi (da CIVITA, 1994).

14.5. CALCOLO DELL'INDICE SINTACS E REALIZZAZIONE DELLA CARTOGRAFIA DI SINTESI

La determinazione finale dell'indice SINTACS di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi superficiali all'inquinamento risulta dalla sommatoria del prodotto dei singoli punteggi per i diversi pesi, secondo la relazione:

$$I_{\text{sintacs}} = \sum_{i=1}^7 (\text{punteggio parametro}(i) * \text{peso}(i))$$

La struttura modulare dell'*input* di SINTACS è stata concepita per usare varie linee di pesi ("stringhe") in alternativa e contemporaneamente, poiché tali stringhe descrivono di fatto il tipo di situazione idrogeologica e d'impatto.

Nella versione più recente (*Release 5*) SINTACS prevede cinque diverse stringhe (CIVITA & DE MAIO, 1997).

Le cinque situazioni descritte sono:

- **ordinaria** - aree a vegetazione spontanea o sterile, assenza di concimazioni chimiche...;
- **fonti diffuse** - aree agricole interessate da utilizzo di fitofarmaci e/o concimazioni chimiche, spargimento liquami, settori a rischio per le risorse idriche sotterranee come complessi industriali;
- **drenaggio da corpi idrici superficiali** - aree soggettive al reticolo drenante naturale e artificiale; aree di irrigazione con grandi volumi d'acqua;
- **settori interessati da diffusi fenomeni carsici**;
- **aree in rocce fratturate**.

Le stringhe di pesi previste per ciascuna situazione sono riportate nella Tab. 14.10.

¹⁴ Considerata la scala di studio e di pubblicazione è del tutto evidente che l'acclività è praticamente nulla su tutto il territorio provinciale; nel caso di maggior dettaglio andranno però considerate aree di limitata estensione, ma con un certo grado di acclività. Si citano, a titolo d'esempio, nella parte nord-orientale le fasce di raccordo con la bassura del fiume Reghena, mentre nell'area meridionale la fascia circostante a un paleomeandro dell'Adige, adiacente all'Adige stesso, in località Viola di Carvare.

Parametro	Ordinaria	Fonti diffuse	Drenaggio	Carsismo	Fessurato
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	2	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	1	2	2	5	4

Tab. 14.10 - Stringhe di pesi previste dal metodo SINTACS.

Le caratteristiche dell'area permettono l'utilizzo sia della linea di pesi "drenaggio" che di quella "fonti

diffuse". Si è optato per l'uso della linea di pesi "drenaggio" in quanto essa ben descrive la situazione di un'area sottoposta in parte a scolo meccanico e comunque solcata da una fittissima rete di drenaggio delle acque.

Applicando questa metodologia di calcolo, l'indice SINTACS può assumere valori teorici variabili tra 23 e 260 (o tra 8,8 e 100 considerando il valore normalizzato).

La Fig. 14.31 riporta in scala ridotta la carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento, che è raffigurata alla scala 1:100.000 nella planimetria di Tav. 12.

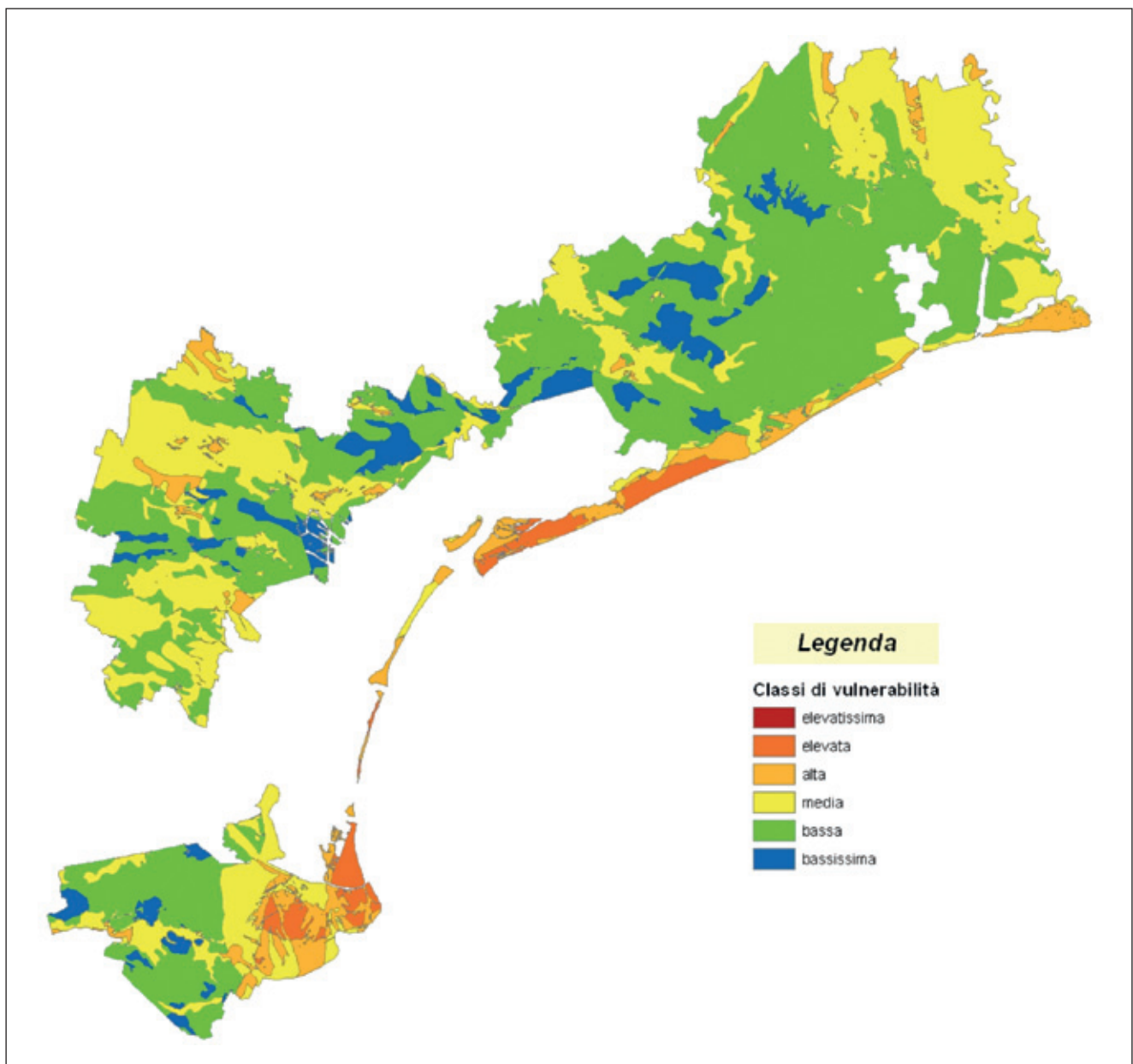


Fig. 14.31 - Carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento.