

## LA MEDIO-BASSA VALLE DEL FIUME ESINO: IDROGEOLOGIA E VULNERABILITÀ DELLA FALDA DI SUBALVEO

### INDICE

RIASSUNTO	”	79
1. INTRODUZIONE	”	79
2. AREA DI STUDIO	”	79
2.1 La falda acquifera	”	80
3. VULNERABILITÀ VERTICALE DELL'ACQUIFERO	”	80
4. RISULTATI	”	83
5. CONCLUSIONI	”	84
BIBLIOGRAFIA	”	84

### RIASSUNTO

Nell'area oggetto di studio è stato definito in primo luogo il comportamento idrodinamico della falda di subalveo. Successivamente sono stati analizzati i principali fattori che determinano la facilità con cui un eventuale inquinante proveniente dalla superficie del suolo, può raggiungere la falda acquifera sottostante ed è stata valutata quantitativamente la vulnerabilità verticale dell'acquifero alluvionale. Seguendo una logica "raster", la zona in esame è stata discretizzata in una serie di aree elementari su ciascuna delle quali sono stati valutati indici adimensionali in grado di evidenziare efficacemente la reale possibilità della falda freatica di essere raggiunta da sostanze contaminanti.

### 1. INTRODUZIONE

L'opinione pubblica è oggi più che mai rivolta alle problematiche ambientali per una corretta gestione e tutela delle risorse naturali. Le aree pianeggianti e in particolare le vallate alluvionali oggetto sino agli anni '50 di una utilizzazione prevalentemente agricola risultano oggi essere sottoposte ad uno sfruttamento intensivo cui vanno associate attività estrattive rappresentate per lo più da cave di inerti, aree e poli di sviluppo industriale nonché espansioni urbanistiche dalle aree pedecollinari verso le vallate alluvionali.

Fortemente interessate da questi problemi risultano essere le risorse idriche superficiali e sotterranee sottoposte quindi ad un continuo degrado dovuto al sovrasfruttamento e a fenomeni di inquinamento oggi riconosciuti in tutta la loro gravità.

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Camerino.

(\*\*) Libera professionista - Pergola (PS).

(\*\*\*) GEOS s.r.l - Jesi (AN).

(\*\*\*\*) Facoltà di Scienze Ambientali, Università di Urbino.

La contaminazione della risorsa idrica sotterranea avviene quando le sostanze inquinanti, originate in superficie da attività antropiche di tipo agrozootecnico e/o industriale, per pratica corrente o a causa di eventi incidentali, si infiltrano nel suolo sino a raggiungere l'acquifero. Questo processo può svilupparsi con tempi e modalità differenti in funzione sia delle caratteristiche dei fattori di pressione antropica (centri di pericolo) sia delle caratteristiche del territorio in cui tale processo si verifica (vulnerabilità intrinseca).

Attualmente è sempre più sentita l'esigenza di un'approfondita conoscenza del territorio al fine di definire al meglio le possibili strategie di intervento da valutare pertanto non solo nei confronti dei singoli aspetti che separatamente possono condizionare l'insorgenza e la diffusione di fenomeni di inquinamento delle falde, ma piuttosto, facendo riferimento, come unico parametro di sintesi, alla vulnerabilità intrinseca dell'acquifero.

In letteratura esistono metodologie standardizzate per una valutazione quantitativa, ma troppo generica, della vulnerabilità degli acquiferi (metodo GOD, DRASTIC, SINTACS) la cui applicazione, pur essendo operativamente semplice, necessita di un'elevata quantità di informazioni che, nel caso specifico, sono risultate difficilmente reperibili.

Si è proceduto pertanto ad una valutazione quantitativa della vulnerabilità verticale dell'acquifero considerando solo i principali fattori di copertura della falda e non le caratteristiche dell'acquifero stesso.

La carta di sintesi dunque (Fig. 1) consente di individuare zone in cui la falda risulta essere protetta da infiltrazioni verticali di inquinanti ma non consente di stabilire quale sia l'attitudine dell'acquifero a diffondere un eventuale inquinante idroportato.

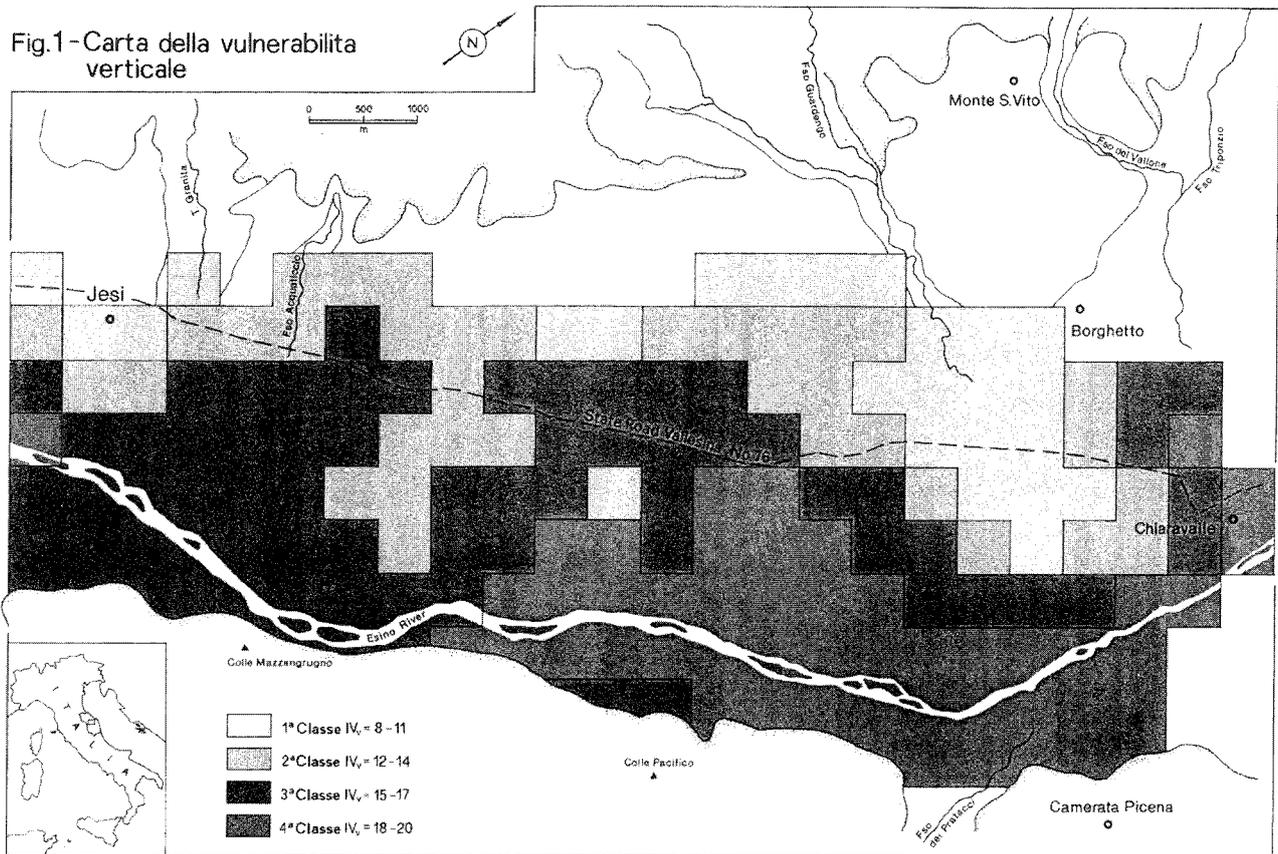
### 2. AREA DI STUDIO

L'area di studio (Fig. 2) è rappresentata dalla medio-bassa valle del Fiume Esino e precisamente dai depositi alluvionali compresi tra il centro abitato di Jesi e il centro abitato di Chiaravalle. La zona è delimitata a NO dall'abitato di M.S. Vito e a SE dal Colle Mazzangrugno e dall'abitato di Camerata Picena.

Il bacino idrografico è racchiuso nel tratto in esame da un sistema collinare caratterizzato da versanti asimmetrici con elevazioni variabili tra 150 - 250 m s.l.m.

I depositi alluvionali si estendono per gran parte in sinistra idrografica fino a Chiaravalle, mentre sono equa-

Fig.1 - Carta della vulnerabilità verticale



mente distribuiti rispetto al corso d'acqua da Chiaravalle al mare.

I depositi alluvionali più antichi si riscontrano in sinistra idrografica lungo una ristretta fascia di terreno che dalla periferia di Jesi arriva fin poco oltre M.S.Vito. Le alluvioni terrazzate di 2° ordine sono localizzate tutte in sinistra idrografica nell'ampia fascia di terreno che a monte del fosso di Guardengo dalla S.S. Vallesina si estende sino all'isoipsa dei 100-110 m s.l.m. mentre a valle di esso, sale dalla località Borghetto verso M.S.Vito. I depositi alluvionali dei terrazzi di 3° ordine interessano una fascia di terreni che dalla confluenza del fosso del Vallone con il Triponzio passa per Borghetto ed arriva fino al fondovalle entro cui scorre il fosso del Guardengo (Fig.3). Una sottile lingua limitata inferiormente dalla strada statale n° 76 fa da raccordo con il terrazzo dello stesso ordine su cui insiste il centro di Jesi. In destra idrografica si ha un lembo limitato di terrazzo di 3° ordine sotto Colle Pacifico. I depositi alluvionali di 4° ordine costituiscono gran parte dell'area in esame e delimitano una fascia la cui larghezza, fino a Chiaravalle, è di 3 km circa.

### 2.1 La falda acquifera

Le linee isopiezometriche riportate in Fig. 2 derivano dall'elaborazione delle misure del livello statico relative a Maggio 1987. La carta è stata ottenuta riportando su base cartografica i valori puntuali dei livelli statici riferiti al l.m.m ed interpolandoli con curve isofreatiche. Tramite l'interpretazione della carta isopiezometrica è possibile eseguire uno studio della superficie freatica ed

individuare:

- il principale asse di drenaggio corrispondente all'antico letto del F.Esino. Il suo tragitto risulta subparallelo al corso d'acqua attuale ed in alcuni casi coincidente con esso;
- alcuni assi di drenaggio secondari posti essenzialmente in sinistra idrografica. Tra questi i più evidenti sono quello in corrispondenza del T.Granita, nei pressi di Jesi e quello attribuibile al Fosso del Guardengo che confluisce nel paleoalveo principale poco prima dell'abitato di Chiaravalle.
- un flusso idrico generalizzato diretto dai terrazzi di ordine inferiore a quelli di ordine superiore visibile in sinistra idrografica per la notevole estensione dei depositi alluvionali e dei depositi terrazzati.

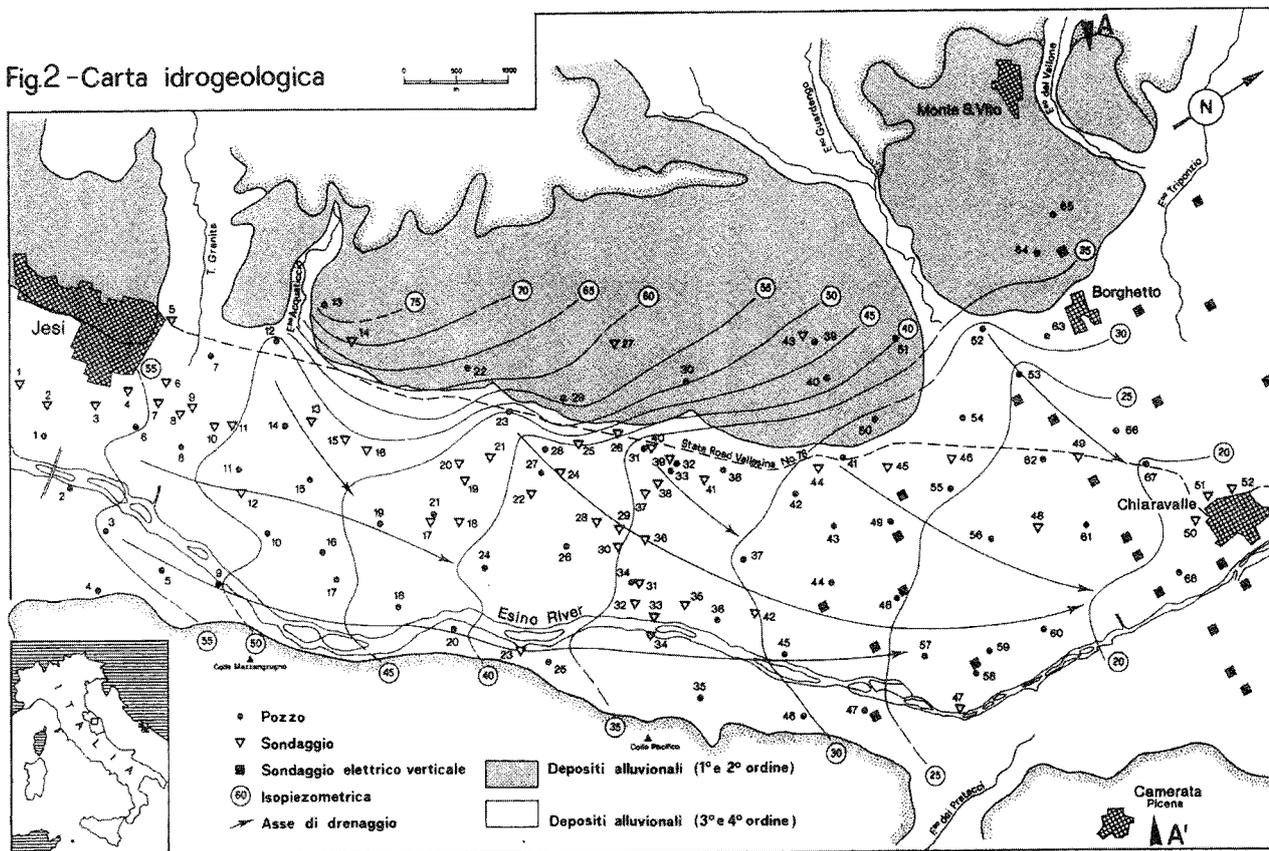
### 3. VULNERABILITÀ VERTICALE DELL'ACQUIFERO

La vulnerabilità verticale di un acquifero rappresenta la facilità con cui esso può essere raggiunto da un inquinante immesso dalla superficie del suolo.

In questa fase la penetrazione avviene mediante un tragitto prevalentemente verticale attraverso la zona non satura, pertanto, la vulnerabilità verticale così definita è legata essenzialmente alle caratteristiche litostratigrafiche ed allo spessore della zona vadosa.

Il valore numerico che definisce quantitativamente la vulnerabilità verticale dell'acquifero si ottiene dalla sommatoria di indici adimensionali in grado di "misurare" le caratteristiche dell'area in esame per quanto

Fig.2 - Carta idrogeologica



riguarda i due fattori considerati: *Litostratigrafia della zona vadosa* e *Soggiacenza della falda*.

L'indice adimensionale associato ai suddetti fattori si ricava dall'applicazione di opportune funzioni di normalizzazione rappresentative di una legge che simula gli effetti protettivi di ciascun fattore sull'acquifero.

Per i due fattori presi in considerazione sono stati individuati i valori di riferimento inferiore e superiore sulla base delle misure di campagna e dei dati di cui si era in possesso mentre per quanto riguarda gli indici adimensionali è stato scelto l'intervallo 0-1 per il quale il valore 0 corrisponde al valore di riferimento inferiore rilevato per il fattore in esame ed il valore 1 corrisponde al valore di riferimento superiore.

Gli indici scelti quali rappresentativi dell'area in esame hanno la stessa rilevanza nella valutazione della vulnerabilità verticale dell'acquifero pertanto, non si è ritenuto opportuno applicare coefficienti di peso.

La valutazione quantitativa degli indici relativi ai fattori considerati viene effettuata considerando l'insieme di informazioni esistenti e disponibili per l'area in esame. La base informativa è costituita per lo più da dati e informazioni puntuali (livelli piezometrici, profili litostratigrafici, sondaggi elettrici verticali) la cui ubicazione è riportata in fig. 2.

Utilizzando le relazioni definite in seguito sono stati calcolati per i fattori considerati i relativi indici adimensionali i quali hanno consentito attraverso interpolazioni di realizzare carte tematiche in cui entrambi i fattori in esame hanno una distribuzione areale.

Il metodo di valutazione della vulnerabilità vertica-

le è stato sviluppato seguendo una logica "raster", la quale prevede la discretizzazione dell'area di studio in una serie di maglie elementari quadrate di 0,5 km di lato. Ad ogni maglia è stato attribuito un punteggio, risultato della media ponderata calcolata in relazione ai campi di valore in cui è suddiviso ogni parametro ed alle rispettive distribuzioni areali.

La vulnerabilità verticale dell'area in esame (Fig. 1) è stata infine calcolata con una semplice somma algebrica dei punteggi attribuiti ad ogni cella della maglia.

#### Litostratigrafia della zona vadosa

Il terreno superficiale insaturo costituisce l'elemento di protezione passiva dell'acquifero sottostante da eventuali percolati o sostanze inquinanti provenienti dalla superficie.

Una zona vadosa costituita prevalentemente da materiale a bassa permeabilità può limitare l'infiltrazione di un inquinante e quindi consente di attribuire alla falda sotterranea modesti valori di vulnerabilità verticale. Al contrario, una zona vadosa costituita da materiale grossolano ad alta permeabilità non è in grado di ostacolare l'infiltrazione e contribuisce pertanto ad attribuire alla falda valori di vulnerabilità verticale più elevati.

Utilizzando le stratigrafie esistenti è stata calcolata la percentuale di terreno coesivo (limo e argilla) sullo spessore totale dello strato soprafalda applicando la seguente relazione:

$$V = \sum_{i=1}^n h_i / H * 100 \quad (1)$$

dove:

V = spessore percentuale di terreno coesivo sullo spessore totale della zona vadosa.

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo di terreno coesivo (m)

H = spessore della zona vadosa (m)

n = numero di strati caratterizzati da terreno coesivo

Immaginando che la protezione della falda dall'infiltrazione di eventuali inquinanti aumenti linearmente all'aumentare della percentuale di terreno a bassa permeabilità (1) la funzione di normalizzazione della litostratigrafia della zona vadosa sarà la seguente:

$$(IV - IV_1)/(IV_2 - IV_1) = (V - V_1)/(V_2 - V_1) \quad (2)$$

dove:

IV = indice litostratigrafico della zona vadosa

IV<sub>1</sub> (IV<sub>2</sub>) = indice litostratigrafico in corrispondenza del valore di riferimento minimo (massimo) dello spessore percentuale di terreno coesivo

V<sub>1</sub> (V<sub>2</sub>) = valore di riferimento minimo (massimo) dello spessore percentuale di terreno coesivo.

V = spessore percentuale di terreno coesivo calcolato con la (1).

L'equazione (2) rappresenta una retta passante attraverso due punti noti che in questo caso hanno le seguenti coordinate:

$$V_1 = 0 \quad V_2 = 100$$

$$IV_1 = 1 \quad IV_2 = 0$$

A V<sub>1</sub> pari a zero corrispondono zone in cui il terreno insaturo è totalmente costituito da materiale permeabile (ghiaia e sabbia). L'indice adimensionale IV<sub>1</sub> relativo alla litostratigrafia della zona vadosa in questo caso è posto uguale ad 1 poichè la falda sottostante risulta priva di "protezione" e pertanto molto vulnerabile.

Al contrario, ad uno spessore percentuale di terreno impermeabile pari a 100 (V<sub>2</sub>) corrisponde un indice litostratigrafico nullo (IV<sub>2</sub>). Questi valori sono rappresentativi di aree in cui il terreno insaturo sovrastante la falda è prevalentemente argilloso e quindi in grado di limitare, se non impedire, l'infiltrazione di un inquinante.

In fig. 4 è riportata la funzione di normalizzazione della litostratigrafia della zona vadosa calcolata per tutti i valori di "V" ricavati dalle stratigrafie note.

#### Soggiacenza della falda

Si intende lo spessore di materiale sovrastante la zona saturata che un potenziale inquinante, veicolato dall'acqua di infiltrazione, deve attraversare per raggiungere la falda sotterranea. Maggiore è la potenza di tale strato insaturo e a parità di materiale, maggiore è la protezione idrogeologica nei confronti di sostanze inquinanti. Lo spessore dello strato di terreno insaturo definisce il tempo che l'inquinante impiega per raggiungere l'acquifero ed è pertanto determinante nella valutazione della vulnerabilità verticale.

Anche in questo caso, la funzione di normalizzazione è stata scelta ipotizzando che l'efficacia protettiva della zona insatura aumenti linearmente all'aumentare dello spessore. La funzione di normalizzazione assume la

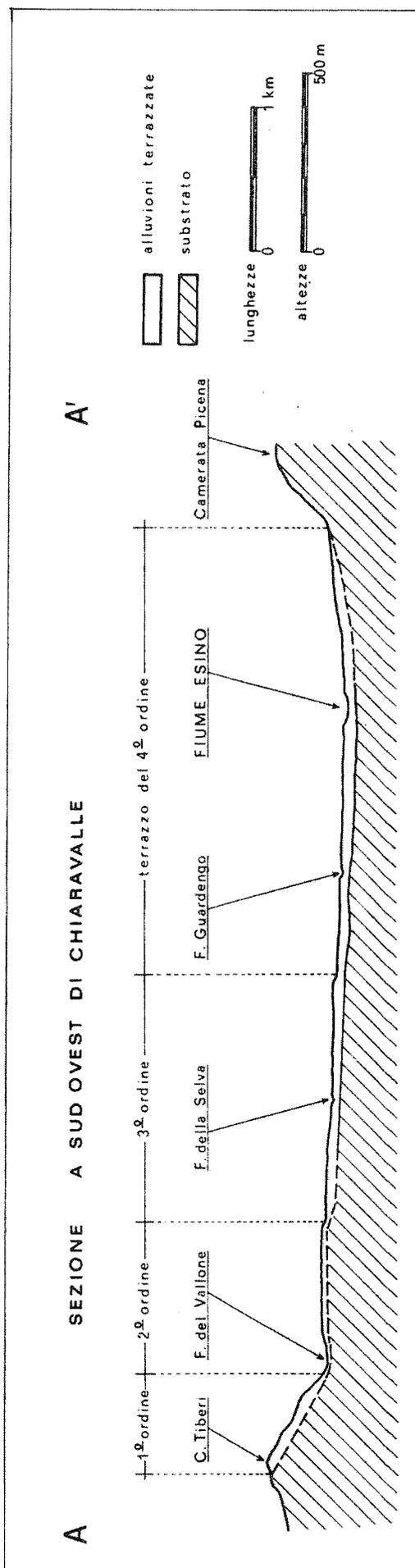


Fig. 3 - Da : "La falda acquifera del subalveo del medio e basso Esino" - Università degli Studi di Ancona

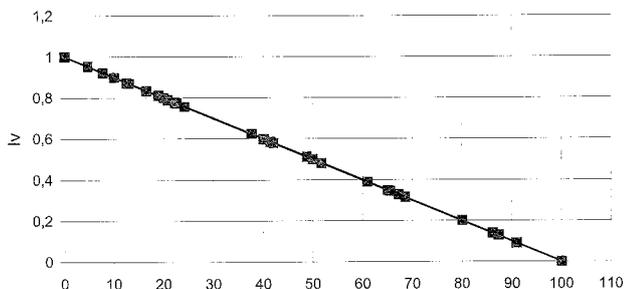


Fig. 4 - Funzione di normalizzazione litostratigrafia in zona vadosa

forma seguente:

$$(IS-IS1)/(IS2-IS1) = (S-S1)/(S2-S1) \quad (3)$$

dove:

IS = indice di soggiacenza della falda

IS1 (IS2) = indice di soggiacenza della falda in corrispondenza del minimo (massimo) valore riscontrato.

S1 (S2) = valore di riferimento minimo (massimo) dello spessore del terreno insaturo.

S = soggiacenza della falda.

Anche in questo caso, la (3) rappresenta l'equazione di una retta passante attraverso due punti noti che hanno le seguenti coordinate:

$$\begin{array}{ll} S1 = 1,5 \text{ m.} & S2 = 32 \text{ m} \\ IS1 = 1 & IS2 = 0 \end{array}$$

I valori di soggiacenza S1 e S2 corrispondono alla minima e massima profondità della falda lungo il tratto di vallata alluvionale preso in considerazione.

Ipotizzando una relazione lineare tra l'indice di soggiacenza della falda (adimensionale) e lo spessore del terreno che la sovrasta si avrà una vulnerabilità massima in corrispondenza del più basso valore di soggiacenza misurato ed una vulnerabilità decrescente con l'aumento dello spessore del terreno insaturo, sino a raggiungere valore nullo per  $S = 32 \text{ m}$ .

In fig. 5 è riportata la funzione di normalizzazione della soggiacenza calcolata per tutti i valori di "S" presi in esame.

#### 4. RISULTATI

La carta di sintesi della vulnerabilità verticale è stata ottenuta sommando in ogni cella del grigliato il punteggio relativo rispettivamente all'indice litostratigrafico della zona vadosa (IV) e all'indice di soggiacenza della falda (IS).

La distribuzione areale dell'Indice di Vulnerabilità Verticale (IVv) è stata ricavata differenziando tramite una scala colorimetrica i seguenti intervalli numerici:

##### Indice di Vulnerabilità Verticale

1 <sup>a</sup> classe	8-11
2 <sup>a</sup> classe	12-14
3 <sup>a</sup> classe	15-17
4 <sup>a</sup> classe	18-20

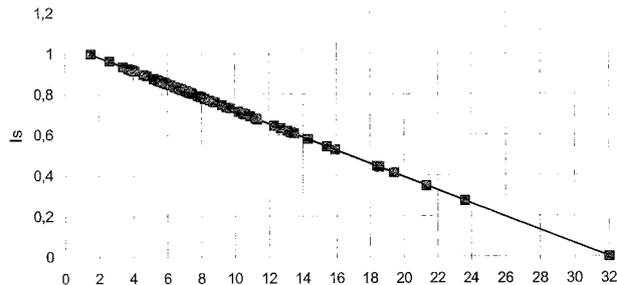


Fig. 5 - Funzione di normalizzazione soggiacenza

Le zone in cui i valori dell'Indice di Vulnerabilità verticale sono compresi tra 8 e 11 rappresentano il 16 % dell'area in esame.

Si tratta esclusivamente di aree poste in sinistra idrografica per lo più corrispondenti agli antichi depositi terrazzati. I fattori considerati concorrono in questi punti ad una maggiore protezione della falda da attribuire in parte ad un indice di soggiacenza compreso tra 0.6 e 0.7 ma soprattutto ad un indice litostratigrafico della zona vadosa compreso tra 0.3 e 0.4. Quest'ultimo è in accordo con le caratteristiche composizionali dei terreni in esame i quali, anche se costituiti da materiale ghiaioso in percentuale elevata, presentano un'abbondante matrice limoso-argillosa.

Le rimanenti aree caratterizzate da un Indice di Vulnerabilità verticale della 1<sup>a</sup> classe sono localizzate nei pressi dell'abitato di Jesi e nell'area posta fra la strada statale n° 76 ed il Fosso Guardengo, prima della confluenza con il Fosso Triponzio. In questo caso l'aumento della componente fine a scapito di quella ghiaiosa è probabilmente da attribuire al materiale trasportato dai suddetti affluenti a regime fortemente torrentizio. I rispettivi bacini imbriferi di natura argilloso-sabbiosa, potrebbero aver scaricato a valle, nei periodi di intensa attività pluviometrica quantitativi di sedimenti fini tali da "inquinare" il materiale sedimentario più grossolano trasportato dal fiume.

Valori di vulnerabilità compresi tra 12 e 14 coprono circa il 20% del territorio in esame. Tali zone sono per lo più limotrofe alle precedenti fatta eccezione per un'area di 6 km<sup>2</sup>, in corrispondenza del Km 65 della S.S. Vallesina, che si protrae dai depositi terrazzati più antichi sino a 500 m circa dall'alveo attuale del fiume.

La 3<sup>a</sup> classe di vulnerabilità copre il 37% dell'area di studio. Le zone caratterizzate da tali valori sono prevalentemente localizzate in corrispondenza dei terrazzi alluvionali più recenti (3° e 4° ordine) e si estendono con continuità nei primi 5 km della vallata in esame.

Procedendo per i rimanenti 7 km lungo l'asta fluviale sino a Chiaravalle, nei suddetti depositi tendono a prevalere ghiaie ben classate con sfericità buona e superficie ben arrotondata miste a sabbie a granulometria media e grossolana. La soggiacenza della falda in quest'area è sempre inferiore a 7 m dall'attuale piano di campagna ed il corrispondente indice Is è compreso tra 0.8 e 0.9.

I due fattori considerati concorrono pertanto ad individuare un'area caratterizzata da un'alta vulnerabilità relativa (IVv compreso tra 18 e 20).

La fig. 6 mostra la distribuzione percentuale degli intervalli numerici dell'Indice di Vulnerabilità verticale all'interno dell'area di studio.

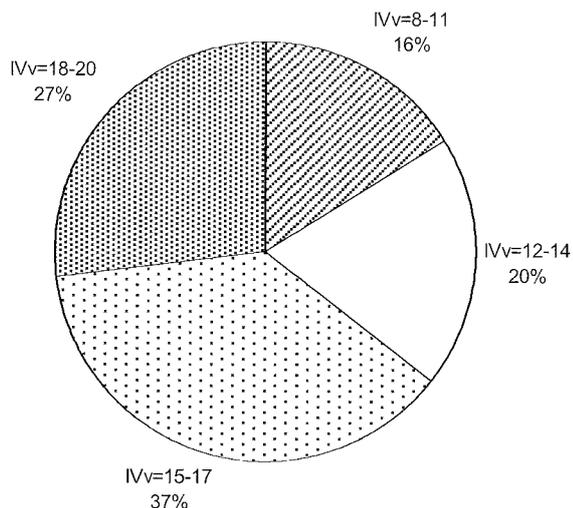


Fig. 6 - Distribuzione percentuale dell'Indice di Vulnerabilità verticale

## 5. CONCLUSIONI

La difficoltà di realizzare un sistema standardizzato di valutazione della vulnerabilità degli acquiferi per l'ampia casistica relativa alle situazioni geologiche esistenti, ha indotto gli autori a procedere nel miglioramento del metodo proposto.

Questo, eventualmente applicabile ad altri acquiferi alluvionali con opportune variazioni dei valori di riferimento (minimo e massimo) della soggiacenza e dello spessore percentuale del terreno coesivo, potrebbe essere ulteriormente approfondito procedendo con il prelievo di campioni di suolo da sottoporre a prove di laboratorio. Tali indagini volte a determinare quantitativamente le principali grandezze idrodinamiche dei sedimenti prelevati, consentirebbero di definire sperimentalmente i coefficienti di "peso" degli indici adimensionali considerati.

La cartografia ottenuta potrebbe quindi rappresentare un possibile strumento da utilizzare nel caso di "emergenze" da inquinamento ed un interessante punto di partenza per avviare una programmazione territoriale che consenta di migliorare l'uso del territorio e di organizzare dal punto di vista legislativo un quadro di normative e vincoli specifici.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLER L. et al. (1985) - *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hidrogeologic settings*. EPA, 600.2-5.018, 1-30.
- BARATELLI C., DE LUCA D.A., MASCIOTTO L. & ZUPPI G.M. (1990) - *Applicazione al settore settentrionale della pianura cuneese del metodo DRASTIC per la valutazione quantitativa della vulnerabilità degli acquiferi*. Atti del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, 75-95.
- BARELLI G., GELMINI R., MARINO L. & PALTRINIERI N. (1990) - *Modalità di costruzione delle carte di Vulnerabilità e del Rischio di inquinamento delle acque sotterranee nel comune di Modena*. Atti

del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, 99-111.

- BERETTA G.P. (1988) - *Generalità sulle fasce di rispetto. Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee*. C.N.R. n° 75, 7-43.
- BERETTA G.P. (1992) - *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*. Pitagora Editrice, Bologna.
- CAVALLIN A., CERUTTI P., LAUZI S. & MANCUSO M. (1987) - *Valutazione quantitativa della vulnerabilità degli acquiferi mediante sistema automatizzato*. Atti della riunione dei Ricercatori di Geologia.
- CAVALLIN A., CERUTTI P. & MANCUSO M. (1990) - *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi (Hinterland orientale milanese)*, Atti del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, 113-129.
- CIVITA M. (1988) - *Le carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee*. C.N.R. n° 75, 47-55.
- CIVITA M. (1989) - *Problemi connessi con il corretto sfruttamento e la protezione delle risorse idriche sotterranee in Italia*. Suolosottosuolo: congresso internazionale di Geoingegneria, 1287-1306.
- CIVITA M. (1991) - *La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Atti del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee.
- DE LUCA D. & VERGA G. (1991) - *Una metodologia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*. Acque sotterranee, VIII (29), 30-33.
- GABBANI G., GARGINI A. & PRANZINI G. (1990) - *Un nuovo metodo di valutazione della vulnerabilità all'inquinamento di un acquifero*. Atti del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, 187-206.
- GARZONIO C.A., NANNI T. & VIVALDA P. (1990) - *Le pianure alluvionali dei fiumi Esino, Musone e Potenza: idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi*. Atti del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, 207-246.
- GASPARINI G. & VANDINI R. (1990) - *La metodologia di costruzione delle Mappe di rischio ambientale applicata ad un progetto di piano urbanistico: il caso di Campogalliano*. Atti del primo convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, 247-277.
- MURATORI A. (1988) - *Vincoli territoriali da imporre per la tutela delle opere di captazione e proposta di normativa*. Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee. C.N.R. n° 75, 179-190.
- UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ANCONA (1978) - *La falda acquifera del subalveo del medio e basso Esino*. 200 pp.