

ELABORAZIONE DI UNA CARTA DELLA VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO PROFONDO DI UN'AREA DEL SALENTO MERIDIONALE CARATTERIZZATA DA CARSIAMO SUPERFICIALE E PROFONDO

CATALDO ROSELLA*, MARGIOTTA STEFANO*, LEO GIORGIO*

* Dipartimento di Scienza dei Materiali – Università di Lecce

1. OBIETTIVI

La falda acquifera sotterranea è suscettibile di contaminazione dovuta ad attività antropiche, in caso di inquinamento, le azioni da intraprendere sono molto costose e spesso impraticabili. Il management delle acque impone quindi di focalizzare l'attenzione sulla prevenzione dell'inquinamento; allo scopo un valido aiuto è rappresentato dall'elaborazione di una Carta della Vulnerabilità degli Acquiferi all'Inquinamento, che costituisce per gli amministratori uno strumento indispensabile per la pianificazione territoriale.

La Penisola Salentina è caratterizzata, per vaste aree, dall'affioramento di rocce carbonatiche di natura prevalentemente organogena le quali hanno favorito, nel corso dei tempi, lo sviluppo di forme di modellamento carsico sia superficiale che sotterraneo; particolare importanza assumono le vore in quanto, mettendo direttamente in comunicazione il suolo con il sottosuolo, favoriscono lo smaltimento delle acque meteoriche corrivanti sulla superficie e nel contempo ravvenano le falde idriche sotterranee.

Dal punto di vista idrogeologico, a partire dall'allineamento Taranto – Brindisi e per l'intero Salento, le acque della falda "profonda", distinta dalle falde più modeste aventi sede in taluni dei sovrastanti sedimenti mio-plio-quaternari, circolano generalmente a pelo libero, pochi metri al di sopra del livello marino (di norma, al massimo 4-5 m s.l.m. nelle zone più interne) e con bassissime cadenti piezometriche (0,1 – 2,5 %) all'interno della formazione carbonatica mesozoica, permeabile per fatturazione e carsismo. La falda risulta in pressione solo laddove i terreni miocenici, e talora anche quelli plio-pleistocenici, si spingono in profondità al di sotto della quota corrispondente al livello marino (COTECCHIA, 1977).



Fig. 1 - Carta del Salento

La zona considerata (Fig. 1) comprende i territori comunali di Parabita e Matino, ha una superficie di circa 33 km², coincidente con i confini comunali delle città di Parabita e Matino. Quest'area rappresenta un sito ideale per poter testare la vulnerabilità degli acquiferi: al suo interno, infatti, sono presenti due centri abitati e una zona poco sfruttata dall'attività antropica. Sono rilevabili varie tipologie di suolo (calcari, calcareniti e argille) e tre vore collegano direttamente la superficie con l'acquifero sottostante.

La stessa situazione appena descritta, sia dal punto di vista geologico che morfologico, si può riscontrare più a sud, in vicinanza dell'abitato di Casarano, laddove è ubicata un'ulteriore cavità carsica.

3. METODO SINTACS

La struttura di valutazione della vulnerabilità intrinseca, nel metodo SINTACS (CIVITA et alii, 1997), è determinata da sette fattori di rischio, a ciascuno dei quali, suddiviso per intervalli di valori e/o per tipologie, viene attribuito un punteggio crescente (da 1 a 10), in funzione dell'influenza sulla vulnerabilità stessa. Inoltre viene introdotto un peso moltiplicatore, diverso per ogni fattore considerato, che amplifica il punteggio in misura direttamente proporzionale all'importanza che il medesimo assume nel determinare il grado di rischio totale.

La sommatoria dei prodotti dei punteggi per i pesi determina un indice di vulnerabilità:

$$I_{\text{SINTACS}} = \sum_{j=1}^7 P_j \cdot W_j$$

che viene messo in relazione con il grado di vulnerabilità, variabile da assai elevato fino a bassissimo.

E' stato scelto proprio il sistema parametrico a punteggi e pesi SINTACS perché è ampiamente riconosciuto a livello internazionale ed è quello che più si adatta alle realtà idrogeologiche, climatiche e di impatto che si riscontrano sul territorio italiano. Grazie alla strutturazione in parametri e pesi, è possibile distinguere diverse situazioni idrologiche e d'impatto in una valutazione indicativa del grado di vulnerabilità di un sito, tale da consentire comparazioni tra situazioni molto diverse, anche distanti fra loro, così da offrire indicazioni facilmente interpretabili dalle Pubbliche Amministrazioni

3.1 Applicazione al caso di studio

Descriveremo adesso come i sette fattori considerati da SINTACS siano stati calcolati nel caso di studio, rimandando alla consultazione della letteratura il dettaglio dei presupposti teorici che hanno guidato l'elaborazione della Carta.

Prima di procedere all'applicazione del metodo (CIVITA, 1994), il territorio d'interesse è stato suddiviso in Elementi Finiti Quadrati (EFQ) con lato di 25 m, a ciascuno di essi verranno assegnati i punteggi dei singoli parametri ed i diversi valori delle cinque linee di pesi, previste dal metodo, che interpretano altrettanti scenari idrogeologici e di impatto.

3.1.1. Soggiacenza della falda

Si definisce soggiacenza la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano campagna (CIVITA et alii, 1997).

Nella zona di interesse, sulla base dei dati idrologici conservati al Genio Civile di Lecce e riguardanti le perforazioni effettuate nell'area, si è ritenuto ragionevole collocare il livello piezometrico a +2.5 m al di sopra del livello medio marino. Eventuali differenze da queste quote non sono significative per la determinazione del parametro, in quanto quest'ultimo è soprattutto frutto dell'altezza di ogni singolo EFQ.

Per stimare la soggiacenza di ogni elemento finito quadrato è stata effettuata la seguente operazione:

$$(\text{altezza di ogni singolo EFQ}) - (2.5 \text{ m})$$

I valori ricavati sono compresi nell'intervallo [48 – 198 m]; essi sono in ogni caso elevati e, quindi, limitatamente al parametro soggiacenza, la falda profonda è poco soggetta ad ingerire un inquinante idroveicolato.

I punteggi SINTACS assegnati sono visibili in Figura 4a.

3.1.2. Infiltrazione efficace

L'infiltrazione efficace assume notevole importanza nella valutazione della vulnerabilità poiché essa regge il trascinarsi in profondità degli inquinanti, ma anche la loro diluizione, dapprima nell'insaturo e, quindi, nella zona di saturazione (CIVITA et alii, 1997).

Il procedimento seguito per il calcolo dell'infiltrazione efficace in ogni singola cella della griglia comporta una serie di operazioni, elencate di seguito:

1. selezione, ricostruzione ed omogeneizzazione delle serie storiche dei dati pluviometrici e termometrici per periodi isocroni sufficientemente lunghi (almeno 20 anni);
2. calcolo delle medie mensili, annue ed interannuali dei dati pluviometrici e termometrici rilevati a ciascuna stazione;
3. calcolo delle temperature medie annue interannuali corrette ($\overline{T_c}$) in funzione della piovosità;
4. calcolo delle funzioni piovosità-quota [$\overline{P} = f(q)$] e temperatura-quota [$\overline{T_c} = f(q)$].

Note le relazioni generali, valide per tutte l'area di interesse, si passa alle elaborazioni che riguardano ciascun EFQ:

5. calcolo della quota media (\overline{q}) di ciascun EFQ;
6. calcolo della piovosità specifica (\overline{P}), in base ai punti 4 e 5;
7. calcolo dell'evapotraspirazione (\overline{Er}), in base ai punti 3, 4 e 5;
8. calcolo della piovosità efficace ($\overline{T_c}$), in base ai punti 6 e 7;
9. identificazione del coefficiente di infiltrazione potenziale ($\overline{\lambda}$), in base alla litologia superficiale (se affiorante o sotto scarsa copertura di suolo) o alle caratteristiche idrauliche del suolo (se questo è potente)
10. calcolo dell'infiltrazione efficace specifica (\overline{I}), in base ai punti 8 e 9.

La dipendenza della temperatura dalla piovosità è un fatto noto e apprezzabile facilmente. La relazione che lega i due parametri viene utilizzata per la determinazione della temperatura media corretta, parametro necessario per il calcolo dell'evapotraspirazione (mm/a) con la formula di Turc (TURC, 1954):

$$Er = \frac{\overline{P}}{\sqrt{0.9 + \frac{\overline{P}^2}{L^2}}}$$

È stato dimostrato, infatti, che il tasso di evapotraspirazione, a parità di condizioni pedologiche e climatiche, dipende dal grado di umidità esistente al suolo, ovvero dalle precipitazioni; sulla base di tale osservazione, nella formula di Turc, la temperatura media dell'aria viene corretta in funzione della piovosità per tenere conto delle diverse condizioni igrometriche.

Il calcolo di $\overline{T_c}$ prevede la disponibilità di dati riferiti ad almeno una stazione termo-pluviometrica, cui applicare la formula seguente:

$$\bar{T}_c = \frac{\sum \bar{P}_i \bar{T}_i}{\sum \bar{P}_i}$$

in cui \bar{P}_i è la piovosità media mensile (mm) e \bar{T}_i è la temperatura media mensile (°C). Il calcolo andrà eseguito per ogni stazione termo-pluviometrica, ognuna delle quali sarà pertanto caratterizzata da una propria \bar{T}_c .

Nel nostro caso, le stazioni termo-pluviometriche sono situate ai margini del test-site:

- stazione meteorologica di Gallipoli (situata a quota 30 m)
- stazione meteorologica di Taviano (situata a quota 50 m)

Sono state ricercate serie storiche di dati pluvio-termometrici riferite ad almeno un ventennio, la maggior parte dei dati disponibili copre un intervallo di tempo superiore, relativo al periodo 1951-1994.

Da questi dati è stata, quindi, ricavata, per ciascuna stazione, la \bar{T}_c :

$$\bar{T}_{c \text{ (Taviano)}} = 14.59^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_{c \text{ (Gallipoli)}} = 15.57^\circ\text{C}$$

I valori di piovosità e di temperatura rilevati in una determinata regione geografica dipendono da diversi fattori, climatici e morfologici. A parità di regime pluviometrico e termometrico, il fattore più importante è rappresentato dall'altitudine. Si può constatare facilmente che la temperatura diminuisce con la quota, mentre le precipitazioni tendono ad essere più abbondanti ad altitudini via via più elevate. Per questa ragione, per conoscere p e \bar{T}_c di ciascuna cella, appare necessario determinare la correlazione fra questi due parametri e la quota altimetrica; in altre parole, occorre determinare le funzioni che reggono la valutazione di tali parametri con l'altitudine.

La variazione della piovosità media interannuale (o della temperatura media interannuale corretta) in funzione della quota è descritta da un'equazione lineare che, nel caso della piovosità, è espressa in forma parametrica come:

$$\bar{P} = aq + b$$

mentre, per la temperatura corretta vale:

$$\bar{T}_c = aq + b$$

I coefficienti a e b rappresentano, rispettivamente, il coefficiente angolare e l'intercetta all'origine della retta e si ottengono, applicando il metodo dei minimi quadrati, dal seguente sistema:

$$\begin{cases} bn + a\sum q = \sum \bar{P} \\ b\sum q + a\sum q^2 = \sum q\bar{P} \end{cases}$$

Nota sia la relazione tra la piovosità e l'altitudine che la quota di ciascuna cella elementare, è possibile attribuire un valore di \bar{P} a tutti gli EFQ dell'area di interesse.

Per la valutazione dell'infiltrazione efficace il metodo prevede due vie di approccio, a seconda della presenza o meno di suoli spessi; nell'area di studio, si possono distinguere due zone: una è caratterizzata da suolo sottile o assente mentre l'altra da suolo potente.

Per quanto riguarda la zona colorata in viola (Fig. 4a), caratterizzata da rocce nude o coperte da suoli molto sottili, il valore dell'infiltrazione efficace (mm/a) per ogni EFQ è stato ricavato dal prodotto delle precipitazioni efficaci medie annue (\overline{Q}) per l'indice di infiltrazione χ :

$$\overline{I} = \overline{Q} \cdot \chi$$

Per il calcolo di \overline{Q} (mm/a) si è utilizzata la seguente formula:

$$\overline{Q} = \overline{P} - \overline{E_r}$$

nella quale $\overline{E_r}$ è il tasso di evapotraspirazione reale è ricavato utilizzando il modello empirico di Turc (TURC, 1954) sopra citato, ed L è il potere evaporante dell'atmosfera ed è ricavato dalla seguente relazione:

$$L = 300 + 25\overline{T_c} + 0.05\overline{T_c}^3$$

Queste operazioni vanno effettuate per ogni EFQ dell'area di studio.

Per quanto riguarda, invece, la zona colorata in verde (Fig. 4a), caratterizzata da suoli spessi, per calcolare l'infiltrazione efficace (mm/a), è stato moltiplicato il valore intero di \overline{P} per l'indice χ in funzione del tipo di tessitura:

$$\overline{I} = \overline{P} \cdot \chi$$

In Figura 4b vengono riportati i punteggi SINTACS per l'infiltrazione relativi all'area di interesse.

3.1.3. Effetto di autodepurazione del Non saturo

La zona insatura è la parte compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero; l'insaturo rappresenta la seconda linea di difesa del sistema acquifero nei confronti degli inquinanti liquidi e/o idroveicolati (CIVITA et alii, 1997).

Il criterio adottato per stimare l'effetto di autodepurazione del non-saturo nel test-site è basato su considerazioni di tipo geologico, partendo dalla carta geologica e dalla stima effettuata relativamente agli spessori delle singole unità litostratigrafiche, mediante la valutazione della stratigrafia di alcune carote di perforazioni effettuate nell'area. Si è suddiviso il territorio in tre regioni, per ciascuna delle quali sono stati estrapolati i punti aventi quota massima e minima: da questi sono stati sottratti 2.5 m, avendo precedentemente assunto che in tutta l'area di studio il livello piezometrico sia situato a +2.5 m al di sopra del livello medio marino.

Lo spessore dell'insaturo è stato valutato per ciascuna regione geologica (Fig. 4c) come:

regione verde: > 100 m

regione blu: 80 m

regione marrone: 56 m

Nella regione verde, la litologia dell'insaturo è uniforme e costituita esclusivamente da calcari carsificati e fessurati; nelle restanti regioni, invece, lo spessore dell'insaturo è costituito da diversi tipi litologici. Sulla base dei dati relativi allo spessore delle singole formazioni, desunte dalle stratigrafie, si è quindi proceduto ad estendere, effettuando delle semplici proporzioni, gli spessori suddetti alle due regioni (marrone e blu). Nella

tabella seguente vengono indicati tali spessori e la media ponderale riferita allo spessore, da utilizzare nel calcolo dell'indice di vulnerabilità intrinseca.

	Spessore dei calcari	Spessore delle calcareniti	Spessore delle argille	Media ponderale
Regione blu	38 m	5 m	37 m	5 m
Regione marrone	12 m	2 m	42 m	3 m

Nella Figura 4c viene riportata la carta dei punteggi relativi al parametro "Effetto di autodepurazione del non-saturo".

3.1.4. Tipologia della copertura

La tipologia dei terreni di copertura e, in particolare dei suoli, riveste un ruolo di massima importanza nella mitigazione dell'impatto degli inquinanti e nella valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi e, quindi, nella stesura delle moderne carte di vulnerabilità.

Il suolo costituisce la prima linea di difesa del sistema acquifero: è al suo interno che si esplicano importanti processi che collettivamente costituiscono il potenziale di attenuazione dei suoli (CIVITA et alii, 1997).

Nell'area di studio sono state identificate solo 2 differenti tipologie della copertura: nella zona attorno alla Serra di S. Eleuterio (colorata in blu in Fig.4d) il suolo è pressoché assente, a causa dell'azione di dilavamento da parte delle acque meteoriche, favorita principalmente dalla pendenza relativamente elevate che caratterizzano quest'area; viceversa, nella zona posta ad ovest della serra (colorata in giallo in Fig.4d) il suolo è potente, poiché qui le pendenze sono molto blande e, di conseguenza, le acque corrivanti dalla serra adiacente tendono a ristagnare depositando il prodotto del dilavamento.

I punteggi SINTACS relativi al parametro "Tipologia della copertura" nell'area di studio sono evidenziati in Figura 4d.

3.1.5. Caratteristiche idrogeologiche dell'Acquifero

La tipologia dell'acquifero descrive i processi che avvengono al di sotto della superficie piezometrica, quando un'inquinante idroveicolato giunge a mescolarsi con l'acqua sotterranea, dopo aver superato le due linee di difesa costituite dalla copertura e dall'insaturo, con abbattimento più o meno rilevante della sua concentrazione iniziale. Tali processi sono: la dispersione, la diluizione, l'assorbimento, la reattività chimica del mezzo. In considerazione del fatto che nel caso studiato la zona saturata è costituita ovunque da calcari carsificati e fessurati, si è ritenuto di assegnare un punteggio unico a tutta l'area di studio (Fig. 4e).

3.1.6. Conducibilità idraulica dell'acquifero

La conducibilità idraulica è la capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo e, dunque, di un inquinante idroportato o con le stesse caratteristiche di densità dell'acqua sotterranea (CIVITA et alii, 1997).

La permeabilità idraulica dei calcari varia da un minimo di 10^{-9} m/s per calcari fratturati ad un massimo di 10^{-2} m/s per calcari carsificati. Dal momento che la zona saturata dell'area di studio è costituita da calcari localmente sia fratturati sia carsificati, si è ritenuto opportuno considerare come permeabilità media il valore m/s, tenendo in considerazione che tali peculiarità, pur se diffuse in tutto il corpo sedimentario, manifestano l'intensità massima in zone relativamente confinate. Di conseguenza è stato assegnato un punteggio unico a tutta l'area (Fig. 4f).

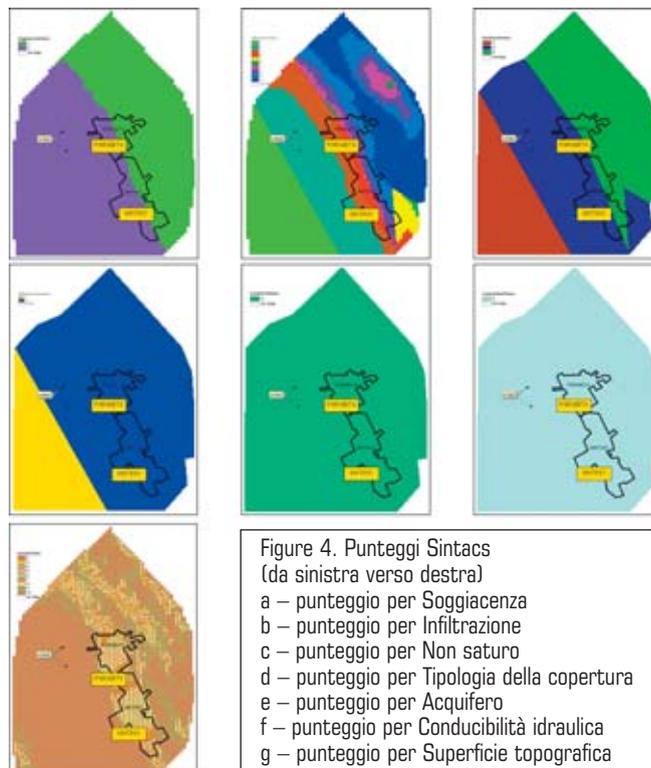
3.1.7. Acclività della Superficie topografica

L'acclività della superficie topografica influisce sulla valutazione della vulnerabilità intrinseca, soprattutto perché da essa dipende la quantità di ruscellamento che si produce a parità di precipitazione, e la velocità di spostamento dell'acqua (o di un inquinante fluido o idroveicolato) sulla superficie. In pratica si attribuisce un punteggio elevato alle pendenze molto blande, corrispondenti a parti del territorio dove un inquinante può spostarsi poco sotto l'azione della gravità, o addirittura ristagnare favorendo l'infiltrazione. Operativamente, si stabiliscono delle classi di acclività (comprese fra 0 e 30%) attribuendo il massimo punteggio SINTACS alle aree con superficie topografica pianeggiante, dove quindi il ristagno ed il trasferimento in profondità dell'inquinante sono maggiormente favorite (CIVITA et alii, 1997).

Per la valutazione del parametro "acclività" all'interno dell'area di studio, si è fatto ricorso ad un Digital Terrain Model (DTM), appositamente creato a partire da carte topografiche 1:7500. Il modello digitale del terreno si presta a vari tipi di analisi, tra cui analisi morfologiche ed idrologiche, quali l'esposizione dei versanti, la curvatura, ecc..

Dall'analisi effettuata sul DTM dell'area di studio è stata ricavata la pendenza, che calcola la variazione del valore altimetrico di ogni cella rispetto a quelle circostanti e lo divide per l'ampiezza della singola cella, ottenendo in questo modo un valore di pendenza esprimibile in percentuale o in gradi, che varia in modo continuo tra le celle. Dal punto di vista morfologico, le pendenze dei versanti rivestono una notevole importanza nel concorrere a determinare l'entità dei deflussi in particolar modo per quanto riguarda la loro velocità di scorrimento.

In Figura 4g è riportata la carta dei punteggi relativa al parametro "Acclività della superficie topografica".



4. CALCOLO DELLA VULNERABILITÀ TOTALE

4.1. La vulnerabilità intrinseca

Per il calcolo dell'indice di vulnerabilità totale del test site è stata utilizzata la quinta stringa prevista dal metodo, destinata a quelle zone ove sussistono condizioni di carsismo profondo e completo. Si tratta di aree estesamente carsificate in superficie ed in profondità, con collegamenti rapidissimi tra superficie e acquifero, attraverso punti di perdita dei dreni superficiali, pozzi carsici, inghiottitoi, ecc.. In questa stringa, l'azione di mitigazione della soggiacenza combinata con l'insaturo è pressoché nulla, poiché le acque superficiali si riversano nel sottosuolo percorrendo condotti anche molto profondi con velocità incomparabilmente maggiori di quelle che caratterizzano i processi infiltrativi normali. In queste situazioni, anche l'azione di attenuazione degli inquinanti prodotta generalmente dal suolo risulta molto bassa. La massima enfasi viene attribuita, attraverso il valore dei moltiplicatori, all'infiltrazione efficace e alle caratteristiche dell'acquifero ed alla sua permeabilità. Un elevato valore di moltiplicatore viene attribuito anche all'acclività, in modo da tenere nel massimo conto le zone assorbenti o pendenti a scarsa pendenza che favoriscono il ristagno se non l'allagamento temporaneo o continuativo (CIVITA et alii, 1997).

I valori dell'indice di vulnerabilità totale sono stati normalizzati, ossia espressi in percentuale, per semplificare la lettura della Carta (Fig. 5).

4.2. La vulnerabilità integrata

Il metodo SINTACS permette di valutare esclusivamente la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento, intendendo per "intrinseca" la vulnerabilità del sistema idrogeologico dipendente dalle sole caratteristiche naturali: climatologia, pedologia, geologia, idrogeologia.

Tuttavia, è interessante ed utile collegare questo tipo di vulnerabilità con l'ubicazione delle infrastrutture o con le attività che hanno attinenza con l'utilizzo dell'acqua sotterranea da parte dell'uomo; ciò permette di definire la vulnerabilità integrata di un'area. La redazione di una Carta della Vulnerabilità Intrinseca costituisce, dunque, solo il primo e fondamentale passo per la definizione della vulnerabilità integrata.

Per la produzione della Carta della Vulnerabilità Integrata (Fig. 6), si è ritenuto opportuno aggiungere ai 7 parametri considerati dal metodo SINTACS ulteriori 9 parametri, collettivamente raccolti sotto la locuzione "fattori antropici", i cui punteggi, nell'intervallo 1-10, sono riepilogati nella tabella seguente:

Fattori Antropici	Punteggio
Vore	10
Pozzi	8
Canali	7
Insedimenti industriali	6
Cave	5
Insedimenti urbani	4
Infrastrutture di collegamento	2
Acquedotto	1
Rete ferroviaria	1

CONCLUSIONI

Dal confronto tra la Carta della Vulnerabilità Intrinseca (Fig. 5) e la Carta della Vulnerabilità Integrata (Fig. 6) relative al test site, si evince che la distribuzione dei gradi di vulnerabilità sul territorio varia notevolmente, allorché vengono presi in considerazione i fattori antropici, potenziali fonti di inquinamento. Nella Carta della Vulnerabilità Intrinseca, il territorio può essere suddiviso in tre zone caratterizzate dai gradi di vulnerabilità medio, alto ed elevato, mentre nella Carta della Vulnerabilità Integrata, il territorio risulta ripartito in due grandi regioni, caratterizzate da vulnerabilità media ed alta, con alcune porzioni a vulnerabilità elevata.

Lo scenario illustrato nella Carta della Vulnerabilità Integrata appare più veritiero, le regioni caratterizzate da una vulnerabilità elevata sono proprio quelle in cui sono ubicate le zone industriali di Parabita e Matino, mentre le zone a vulnerabilità media sono quelle in cui le attività umane sono meno presenti.

La presenza dei centri abitati di Parabita e Matino, che la Carta della Vulnerabilità Intrinseca posizionava in una zona a vulnerabilità alta, ha contribuito in maniera notevole all'aumento della vulnerabilità della zona in cui sono situati, portando il rischio dal grado alto a quello elevato.

Altri fattori che hanno contribuito all'innalzamento del fattore di rischio sono stati la presenza delle vore, di un canale e numerosi pozzi nella zona centrale.

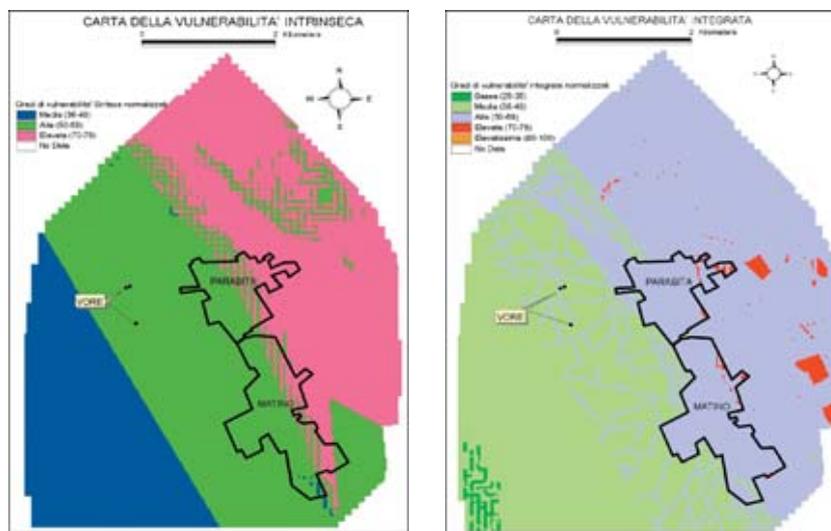


Fig. 5 - Carta della Vulnerabilità Intrinseca

A questo proposito particolare attenzione dovrebbe essere posta dagli amministratori alla manutenzione, tramite la periodica pulizia, dei canali e delle vore presenti nell'area, per il ruolo fondamentale che queste svolgono nello smaltimento delle acque meteoriche e quindi di ravvenamento della falda. Dai sopralluoghi effettuati, infatti, è emersa una situazione ambientale piuttosto critica, caratterizzata dalla presenza di acqua stagnante in corrispondenza delle cavità carsiche, mettendo in risalto la scarsa o nulla capacità assorbente delle vore stesse, nonché, a luoghi, dalla tracimazione dell'acqua dai canali. Questo dato di fatto comporta da un lato l'elevato rischio di allagamento delle aree suddette, in quanto in ogni caso verso di esse vengono convogliate le acque ricadenti in gran parte del territorio limitrofo, e dall'altro la possibile contaminazione della falda per il trasporto in essa di sostanze nocive non opportunamente dragate dai canali stessi.

BIBLIOGRAFIA

- CIVITA M. (1994) – Le Carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Pitagora Editrice, Bologna, pp. 325.
- CIVITA M., DE MAIO M. (1997) – SINTACS: un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento – Metodologia e automatizzazione. Pitagora Editrice, Bologna.
- COTECCHIA V. (1977) – Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia. Quaderno CNR-IRSA n. **20**, Roma, pp. 462.
- MARGIOTTA S. (1999) – Censimento e studio delle formazioni carsiche superficiali interessanti alcune aree della provincia di Lecce. Studio e valutazione dei rischi idrici e idrogeologici della provincia di Lecce – Accordo di programma tra la provincia di Lecce, l'Università degli Studi di Lecce (Osservatorio di chimica, fisica e geologia ambientale) e l'Università degli Studi di Bari; coordinatore Carrozzo M.T.
- MARGIOTTA S. (1999) – Manifestazioni carsiche del Salento. Considerazioni morfologiche e geologiche. Studio e valutazione dei rischi idrici e idrogeologici della provincia di Lecce – Accordo di programma tra la provincia di Lecce, l'Università degli Studi di Lecce (Osservatorio di chimica, fisica e geologia ambientale) e l'Università degli Studi di Bari
- MARGIOTTA S., PENNETTA L. (1999) – Carta geolitologica della Provincia di Lecce. Studio e valutazione dei rischi idrici e idrogeologici della provincia di Lecce – Accordo di programma tra la provincia di Lecce, l'Università degli Studi di Lecce (Osservatorio di chimica, fisica e geologia ambientale) e l'Università degli Studi di Bari.
- TURC L. (1954) – Le bilan d'eaux des sols: relation entre les précipitation et l'écoulement. Ann. Agron. **5**, pp. 491-596.