

Potenzialità e vulnerabilità delle risorse idriche dei monti Volturino e Calvelluzzo (Alta Valle dell'Agri, Basilicata)*

G. D'Ecclesiis⁽¹⁾, D. Grassi⁽²⁾, S. Grimaldi⁽²⁾,
M. Polemio⁽³⁾, F. Sdao⁽²⁾

Riassunto. Lo studio ha avuto come obiettivo principale la valutazione della potenzialità idrica e della vulnerabilità degli acquiferi dei monti Volturino e Calvelluzzo (Basilicata), nonché la definizione dello schema di circolazione idrica sotterranea ivi presente. È stata realizzata la carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi utilizzando alcuni parametri (litologia, densità di fratturazione, precipitazioni efficaci e pendenza) valutati attraverso un metodo parametrico (a punteggi e pesi) applicato ad un reticolo a maglie quadrate di estensione definita.

[Parole chiave: *Risorse idriche, Vulnerabilità, Basilicata*].

Abstract. *The main aim of study is the evaluation of water yield, the vulnerability and the definition of groundwater flow outline of Volturino and Calvelluzzo mounts aquifer (Basilicata). The vulnerability map is presented and discussed. They are utilized many parameters (litology, fracture density, effective rainfall and slope), they are evaluated with a parametric method using a square mesh net.*

[Key words: *Groundwater resources, Vulnerability, Basilicata*].

* Pubbl. n. 1145 GNDCI-CNR, Lavoro svolto dalla U.O. 4.23 del GNDCI.

⁽¹⁾ Geologo, Collab. Dipartimento Strutture, Geotecnica, Geologia Applicata, Facoltà di Ingegneria, Università della Basilicata, Potenza.

⁽²⁾ Dipartimento Strutture, Geotecnica, Geologia Applicata, Facoltà di Ingegneria, Università della Basilicata, Potenza.

⁽³⁾ CNR ce.r.i.s.t., Bari.

1. PREMESSA

Nell'ambito dell'attività di ricerca dell'Unità Operativa 4.23 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (Resp. Prof. Geol. Damiano Grassi) relativa ai Progetti speciali RISE (Risorse idriche strategiche di emergenza) e VAZAR (Valutazione vulnerabilità degli acquiferi), sono state condotte e sono tuttora in corso, ricerche sui caratteri idrogeologici della alta valle del F. Agri al fine di definirne i caratteri idrogeologici e idrodinamici della cospicua falda idrica presente nei massicci carbonatici esistenti al margine della valle e nei depositi alluvionali di colmamento della stessa.

A tutt'oggi è stato portato a termine lo studio idrogeologico e la valutazione della vulnerabilità della falda relativamente ai rilevanti acquiferi dei monti Volturino e Calvelluzzo, in sinistra del F. Agri.

Di tali strutture idrogeologiche sono state censite le sorgenti e di queste analizzati i caratteri chimico-fisici delle 14 più importanti per portata o posizione o caratteri chimico-fisici.

2. CARATTERI GEOLOGICI DEL TERRITORIO

Gli acquiferi in studio sono quelli calcareo-silicei del monte Volturino e del monte di Calvelluzzo.

Le rocce affioranti, in massima parte riconducibili alle Unità lagonegresi sono rappresentate, dal basso verso l'alto, da: marne silicifere ed argillose rosse e verdastre, arenarie a grana fine (Formazione di Monte Facito, Trias Medio); calcari e calcilutiti grigi con liste e noduli di selce (Calcari con selce, Trias Sup.); diaspri policromi ed argilliti silicifere variegiate (Scisti silicei, Giurassico); argilloscisti e

marne silicifere grigiastre (Flysch Galestrino, Giurassico Sup.-Cretaceo). Ad Est del M. Volturino sono inoltre presenti dolomie (Trias) e calcari dolomitici (Giurassico-Cretaceo), riconducibili alla Piat-taforma Campano-Lucana, in sovrascorrimento sulle Unità lagonegresi [CARBONE et al., 1988 e 1991] (fig. 1).

Il Flysch Galestrino, praticamente impermeabile nel suo insieme, cintura la dorsale calcareo-silicea, permeabile per fessurazione, ed ospitante le acque sotterranee che vengono a giorno in corrispondenza delle sorgenti investigate.

Dal punto di vista strutturale l'area è caratterizzata dalle strutture anticlinali del M. Volturino e del M. Lama, dissecate da importanti faglie dirette, talune delle quali, secondo CARBONE et al., (1991), caratterizzate anche da un apprezzabile rigetto orizzontale.

La faglia a direzione ENE-WSW che passa per località L'Arietta, nei pressi delle sorgenti Scruppo, Acero e Romaniello è caratterizzata da una immersione verso SE e da una componente trascorrente sinistra. Essa si interrompe in corrispondenza della faglia ad andamento N-S che parte in corrispondenza

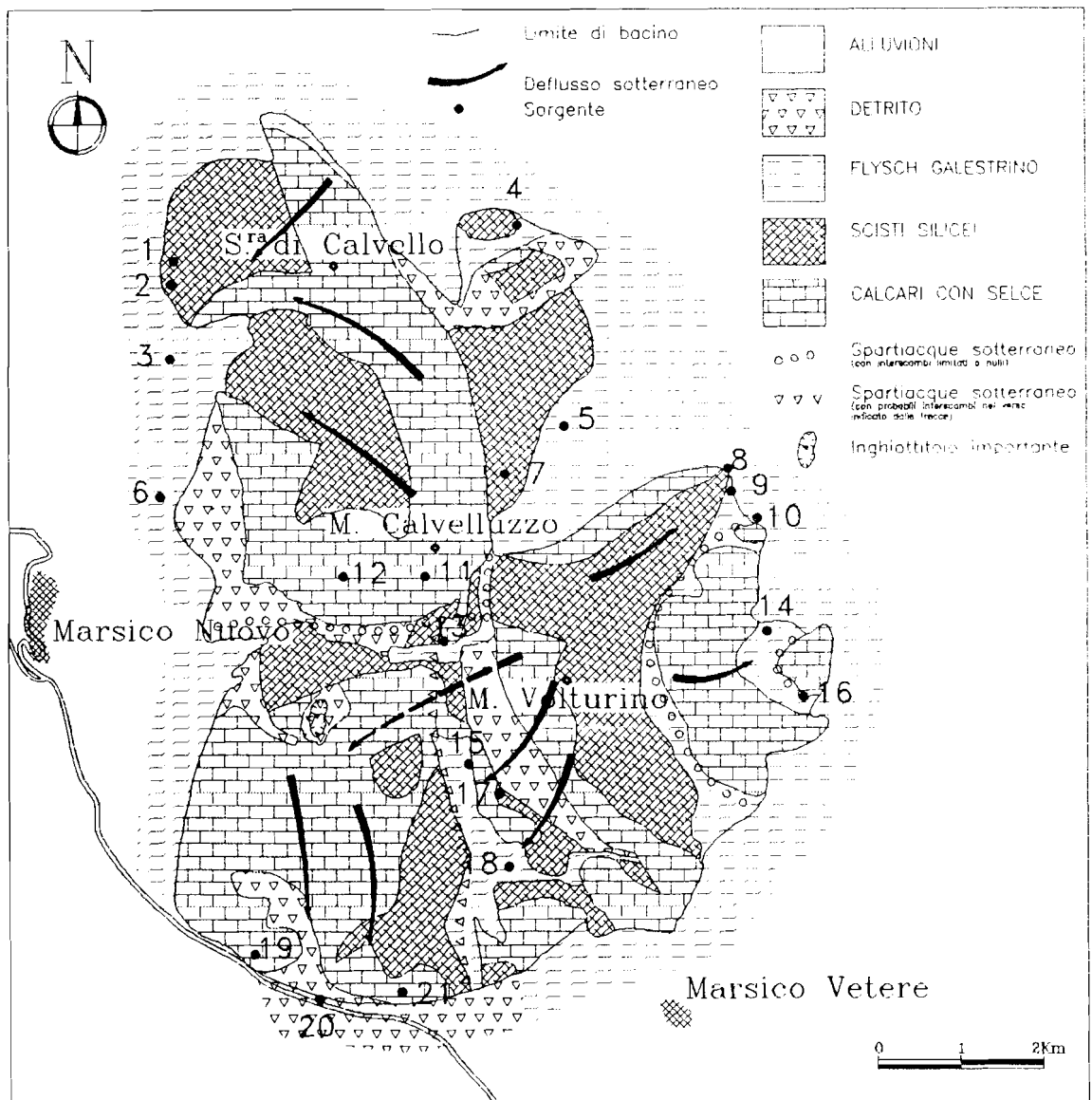


Figura 1. Schema idrogeologico.

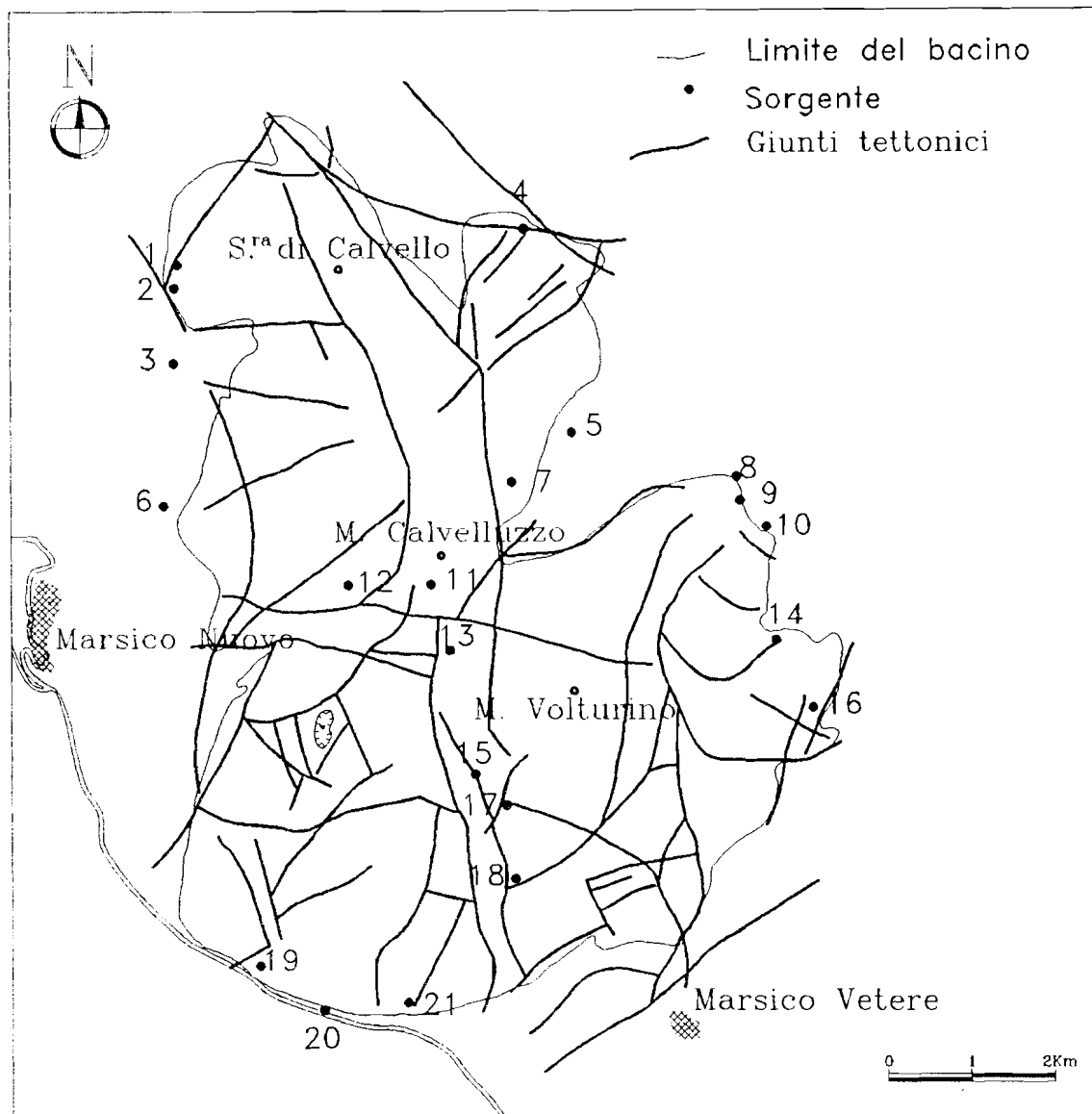


Figura 2. Carta delle lineazioni tettoniche.

della sorgente Romaniello e si interrompe presso località Tre confini, alla base del versante occidentale del M. Volturino (fig. 2).

Una imponente faglia diretta, a direzione N-S, immergente verso ovest, ribassa ad ovest i termini più bassi della successione lagonegrese rispetto alla Serra di Calvello e al M. Calvelluzzo.

A sud, il versante meridionale dei monti Ausineto e S. Nicola sono limitati da una faglia diretta, a direzione NW-SE, con componenti di trascorrenza sinistra.

Alla base del versante ovest del M. Volturino

klippen di calcari di piattaforma sovrascorrono su lembi di Scisti silicei dell'Unità Lagonegrese II, ivi in raddoppio tettonico sulla serie costituente il rilievo del M. Volturino.

3. CARATTERI CHIMICO FISICI DELLE ACQUE

Le principali scaturigini dell'area esaminate sono disposte in corrispondenza di lineazioni tettoniche che intersecano i massicci esaminati, suddividendoli in quattro settori adiacenti: il primo, facente capo ai

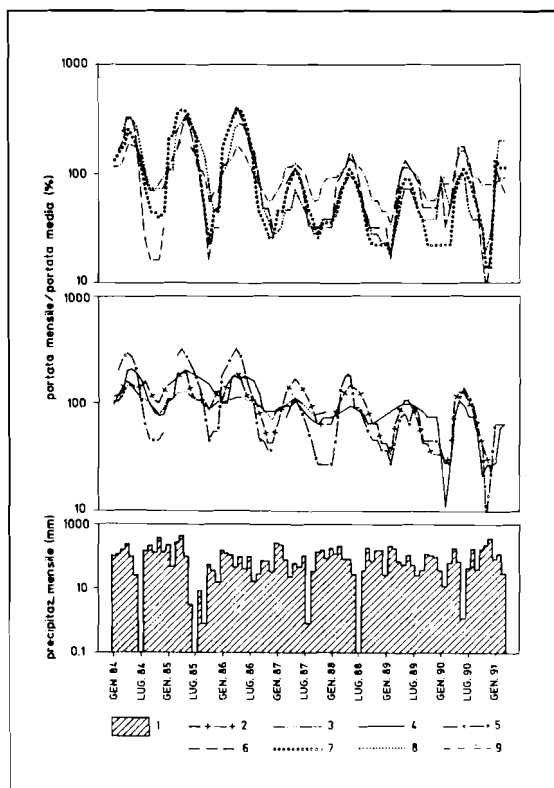


Figura 3. Regime normalizzato delle sorgenti: 1) piovosità; sorgenti: 1) Agri 1; 2) Agri 2; 3) Curvino; 4) Scruppo; 5) Romaniello; 6) Zolfata; 7) Bocca dell'acqua; 8) Genzano.

rilievi della Serra di Calvello e al M. Calvelluzzo; il secondo al M. Ausineto e al M. S. Nicola; il terzo al M. Volturino e il quarto al rilievo dello Scarrone di mezzo.

Ai limiti dei quattro settori individuati si individuano le principali sorgenti alimentate dalle falde acquifere (fig. 1).

Il regime delle portate che caratterizza le principali sorgenti è caratterizzato da una risposta abbastanza rapida alle precipitazioni e da un periodo d'esaurimento che, di norma, si estende per 120-150 giorni e si conclude nei mesi di luglio-agosto.

I diagrammi di fig. 3 mostrano il regime normalizzato delle portate di alcune sorgenti, rispetto alle precipitazioni.

3.1. Settore Serra di Calvello-Monte Calvelluzzo

Il settore più settentrionale dell'area esaminata alimenta numerose scaturigini, fra cui le principali che sono: Agri 1 (n. 1; 1100 m s.l.m.), Agri 2 (n. 2; 1072 m s.l.m.), Agri 3 (n. 3; 838 m) e Curvino (n. 6;

838 m), alla base del versante occidentale della Serra di Calvello; Sulfurea della Terra (n. 4; 1128). Sambuco di sotto (n. 5; 1286) e Femmina morta (n. 7; 1394), alla base del versante orientale della Serra di Calvello e Romaniello (n. 13; 1420), Acero (n. 11; 1532 m) e Scruppo (n. 12; 1226 m), al piede del versante meridionale del M. Calvelluzzo.

Complessivamente le portate medie mensili emergenti dalle scaturigini assommano a circa 321,4 l/s, per un volume annuo complessivo di circa 10135670 mc.

Le scaturigini, dal punto di vista altimetrico sono distribuite intorno alla quota 1000, le sorgenti Agri 1 e 2; intorno alla quota 838 le sorgenti Agri 3 e Curvino; tra le quote 1100 e 1532 tutte le rimanenti.

La temperatura delle acque varia tra i 6° centigradi delle sorgenti Femmina morta e Sambuco e i 12,3 gradi della sorgente Sulfurea della Terra.

Il Ph delle acque delle sorgenti campionate è risultato variabile tra 6.83 (Sulfurea della T.) e 7.52 (Curvino) con uno S.Q.M. intorno a 0.23; la conducibilità variabile tra 237 mS/cm (Curvino) e 320 mS/cm (Sulfurea della T.).

I principali rapporti caratteristici calcolati (rSO_4/rCl ; $r(Na+K)/rCl$; rNa/rK ; rMg/rCa ; $rCl/rHCO_3$; rNa/rK ; $r(Ca+Mg)/r(Na+K)$) non hanno mostrato, tra le acque campionate, degli scostamenti sostanziali tranne che, ovviamente, per la sorgente Sulfurea della Terra i cui rapporti caratteristici non sono mai risultati in accordo con quelli delle altre sorgenti (tab. 1).

3.2. Settore Monte Ausineto-Monte S. Nicola

Il settore che comprende i rilievi del M. Ausineto e del M. S. Nicola è quello più meridionale dell'area considerata. Esso alimenta le sorgenti Fontana Galaino, Fontana Capano e Zolfata, tutte poste al piede del M. S. Nicola.

Tabella 1. Rapporti caratteristici delle acque delle sorgenti del 1° settore dell'acquifero in esame.

| | Sulfurea della Terra | Curvino | Altre (Valori medi) |
|---------------------|----------------------|------------|---------------------|
| n° d'ordine e quota | 4 1128 m | 6 838 m | |
| rSO_4/rCl | 1.219 | | 0.632 |
| $r(Na+K)/rCl$ | 4.250 | | 0.929 |
| rNa/rK | 26.200 | | 4.541 |
| rMg/rCa | 0.659 | 0.313 | 0.064 |
| $rCl/rHCO_3$ | 0.110 | 0.113 | 0.006 |
| rNa/rCa | 1.016 | 0.083 | 0.052 |
| $r(Ca+Mg)/r(Na+K)$ | 1.574 | 12.600 | 16.910 |

Complessivamente le portate medie mensili emergenti dalle tre scaturigini assommano a circa 132.5 l/s, per un volume annuo complessivo di 4178520 mc.

Le scaturigini, dal punto di vista altimetrico, sono distribuite in un intervallo di quote molto ristretto tra 630 m e 638 m s.l.m.

La temperatura delle acque varia tra gli 11.5° in corrispondenza della Fontana Capano e i 15° presso la sorgente Zolfata.

Sono state campionate le acque delle sorgenti Fontana Capano e Zolfata; il Ph delle acque campionate è risultato pari a 7,3 per ambedue le scaturigini, la conducibilità 303 mS/cm e 386 mS/cm, rispettivamente.

I principali rapporti caratteristici sono risultati sempre caratterizzati da apprezzabili scostamenti tra le due sorgenti e da una certa familiarità tra la sorgente Zolfata e la sorgente Sulfurea della Terra che, complessivamente si staccano, dal punto di vista chimico nettamente rispetto a tutte le altre sorgenti campionate (tab. 2).

Tabella 2. Rapporti caratteristici delle acque delle sorgenti del 2° settore dell'acquifero in esame e la sorgente Sulfurea della Terra.

| | Sulfurea della Terra | Zolfata | Capano |
|-----------------------|----------------------|-------------|-----------|
| n° d'ordine e quota | 4 1128 m | 21 628 m | 20 631 |
| rSO ₄ /rCl | 1.219 | 0.150 | 0.706 |
| r(Na+K)/rCl | 4.250 | 2.500 | 1.471 |
| rNa/rK | 26.200 | 11.500 | 5.250 |
| rMg/rCa | 0.659 | 0.631 | 0.207 |
| rCl/rHCO ₃ | 0.110 | 0.047 | 0.054 |
| rNa/rCa | 1.016 | 0.180 | 0.080 |
| r(ca+Mg)/r(Na+K) | 1.574 | 8.320 | 12.600 |

Tabella 3. Rapporti caratteristici delle acque delle sorgenti del 3° settore dell'acquifero in esame.

| | Molinara | Genzano | Bocca dell'acq. |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------------|
| n° d'ordine e quota | 18 872 m | 17 1040 m | 15 1005 m |
| rSO ₄ /rCl | 1.533 | 1.176 | 0.765 |
| r(Na+K)/rCl | 1.133 | 1.647 | 1.000 |
| rNa/rK | 7.500 | 8.333 | 4.667 |
| rMg/rCa | 0.520 | 0.356 | 0.227 |
| rCl/rHCO ₃ | 0.060 | 0.061 | 0.068 |
| rNa/rCa | 0.087 | 0.106 | 0.066 |
| r(ca+Mg)/r(Na+K) | 15.471 | 11.429 | 15.235 |

3.3. Settore Monte Volturino

Il M. Volturino individua il settore più orientale del territorio esaminato; esso alimenta le sorgenti Bocca dell'Acqua, Genzano, e Molinara, alla base del versante occidentale del M. Volturino, e le sorgenti Acquaturbata e Volturino alla base del versante occidentale del M. Volturino.

Le portate medie mensili delle sorgenti assommano a 129,6 l/s, per un volume annuo complessivo di 4087065 mc.

Le scaturigini sono disposte a quote differenti in corrispondenza dei due contrapposti versanti; infatti, lungo il versante occidentale, in corrispondenza del quale effluisce la maggior portata sorgentizia, sono distribuite tra le quote 872 m (Molinara: 97.4 l/s) e 1042 m (Genzano: 9 l/s), in corrispondenza del versante orientale sono collocate alle quote 1088 m (Volturino: 1.8 l/s) e 1103 m (Acquaturbata).

La temperatura delle acque delle sorgenti è variabile tra gli 8.7° e i 10.5° in corrispondenza del versante occidentale del M. Volturino e tra 7° e 7.5° in corrispondenza del versante orientale.

Il Ph delle acque campionate, tutte in corrispondenza del versante occidentale del M. Volturino, varia tra 7.32 e 7.39, la conducibilità tra 222 mS/cm e 267 mS/cm.

I principali rapporti caratteristici calcolati (rSO₄/rCl; r (Na + K)/rCl; rNa/rK; rMg/rCa; rCl/rHCO₃; rNa/rK; r (Ca + Mg)/r (Na + K)) non hanno mostrato sostanziali scostamenti tra le acque campionate (tab. 3).

3.4. Settore Scarrone di mezzo

Lo Scarrone di mezzo è posto immediatamente ad est del M. Volturino le cui acque di ruscellamento lo alimentano abbondantemente, agevolate dall'intensa fratturazione che interessa le rocce carbonatiche ivi affioranti in corrispondenza di un Klippe di Calcare con selce dell'Unità Lagonegrese II^a, in sovrascorrimento sui litotipi silicei dell'Unità Lagonegro I.

Le principali sorgenti alimentati dallo Scarrone di mezzo sono le seguenti: Acqua delle bocche e Acqua di Colantonio, emergenti, rispettivamente, alle quote 1136 m e 1260 m s.l.m. e la piccola sorgente da noi denominata Romito (q < 1 l/s). Esse forniscono una portata mensile media complessiva di circa 34.4 l/s per un volume totale annuo pari a 1084838 mc.

La temperatura delle acque è risultata pari a 6°C, il Ph varia tra 7.26 (Romito) e 7.32 (Acqua di Colantonio) e la conducibilità tra 376 mS/cm e 269 mS/cm.

Tabella 4. Rapporti caratteristici delle acque delle sorgenti del 4° settore dell'acquifero in esame.

| n° d'ordine e quota | Romito vedi 14 vedi 14 | Acqua di Colantonio 14 1260 m |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| rSO_4/rCl | 0.667 | 0.611 |
| $r(Na+K)/rCl$ | 0.778 | 0.944 |
| rNa/rK | 6.000 | 4.667 |
| rMg/rCa | 0.057 | 0.129 |
| $rCl/rHCO_3$ | 0.070 | 0.064 |
| rNa/rCa | 0.044 | 0.055 |
| $r(ca+Mg)/r(Na+K)$ | 20.381 | 16.941 |

I rapporti caratteristici desunti dalle risultanze delle analisi chimiche effettuate sulle sorgenti Romito e Acqua di Colantonio mostrano dei valori poco discosti tra loro e coerenti con quelli delle altre sorgenti non sulfuree campionate (tab. 4).

4. PIOVOSITÀ E CLIMA

Sono state prese in considerazione come stazioni di rilevamento dei dati climatici quelle del Servizio Idrografico (Sezione di Catanzaro) esistenti all'interno e all'esterno dell'area in studio, con non meno di vent'anni di dati, relativi al periodo 1921-1985, per non più di 63 anni.

L'elenco delle 14 stazioni considerate è riportato in tab. 5.

Le stazioni sono state selezionate al fine di evidenziare la variabilità dei fattori climatici sui due versanti del M. Volturino, posti nelle valli dei fiumi Basento e Agri. Purtroppo, la distribuzione altimetrica delle stazioni è infelice per l'assenza di stazioni ad alta quota.

La piovosità annua, mai elevata, è contenuta nell'intervallo 706-1168 mm.

Il regime pluviometrico vigente è ovunque di tipo marittimo, caratterizzato da un massimo che, a seconda dei luoghi, si verifica a dicembre o novembre, ed un minimo, tipico di luglio, e secondariamente di agosto.

Determinando per ogni stazione il regime delle precipitazioni meteoriche, mediante il rapporto percentuale tra piovosità mensile e quella annua, risulta evidente che l'intervallo tra minimo e massimo di tale grandezza dimensionale sia sempre molto ristretto, mai maggiore al 4% (fig. 4); ciò comporta che la distribuzione nell'anno della piovosità sia sostanzialmente unica nell'area in esame.

Per estendere le conoscenze sulla distribuzione spaziale della piovosità nelle zone altimetricamente più elevate, si è cercato di stabilire delle regressioni lineari tra quota e piovosità annua, tale approccio ha dato esito negativo, anche ripartendo le stazioni in

Tabella 5. Dati riassuntivi delle stazioni termopluviometriche.

| SII | NEVE | STAZIONE | BACINO | QUOTA (m s.l.m.) | TIPO DI MISURA |
|------|----------|---------------|--------|---------------------|----------------------|
| 4092 | NO | PIGNOLA | BASEN | 924 | P |
| 4095 | dal 1943 | GRANCIA | BASEN | 747 | P |
| 4096 | NO | SELLATA | BASEN | 1200 | P |
| 4097 | NO | ANZI | BASEN | 1066 | P |
| 4098 | NO | CALVELLO | BASEN | 700 | P |
| 4099 | NO | LAURENZANA | BASEN | 850 | P |
| 4116 | NO | MARSICO N. | AGRI | 850 | P |
| 4117 | NO | MARSICO V. | AGRI | 1089 | P |
| 4118 | NO | TRAMUTOLA | AGRI | 654 | P |
| 4119 | NO | ISCA DI TRAM. | AGRI | 597 | P |
| 4120 | NO | VIGGIANO | AGRI | 1023 | P |
| 4121 | dal 1927 | MOLITERNO | AGRI | 879 | P |
| 4122 | NO | MONTEMURRO | AGRI | 710 | P |
| 4093 | NO | POTENZA | BASEN | 826 | T |
| 4121 | dal 1927 | MOLITERNO | AGRI | 879 | T |

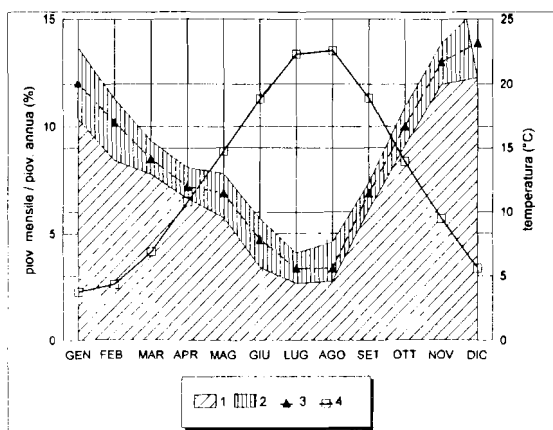


Figura 4. Regime delle precipitazioni e delle temperature: 1) minimo (%) (15 pluviometri); 2) massimo-minimo (%) (15 pluviometri); 3) regime delle precipitazioni (15 stazioni); 4) regime delle temperature (2 stazioni).

virtù del bacino idrografico e del relativo versante. Tale evidenza, già segnalata per la parte della porzione appenninica del bacino idrografico del fiume Basento (COTECCHIA et al., 1991), è dovuta al prevalente effetto della posizione dei versanti rispetto ai mari, in particolare rispetto al mare Tirreno.

Di conseguenza, si è fatto ricorso a tecniche geostatiche, utilizzando come dati la posizione e la piovosità di ciascuna stazione reale, considerata come variabile regionale (DAVIS, 1986 e DE WRACHEIN, 1980).

L'analisi strutturale dei dati ha mostrato la validità del modello «sferico» per descrivere il variogramma sperimentale. Il campione di dati è risultato significativamente anisotropo, la successiva fase di kriging è stata quindi condotta mediante un variogramma direzionale, orientato secondo gli assi principali N-S ed E-W.

I risultati, rappresentati mediante isoiete per un'area rettangolare, sono stati positivamente confrontati con la cartografia esistente sullo stesso tema, realizzata alla scala di interi bacini idrografici (MINISTERO LL.PP., 1951; 1956; CALOIERO et al., 1982 e COTECCHIA et al., 1991).

Nonostante gli sforzi compiuti, l'effetto dell'assenza di stazioni alle quote maggiori può ritenersi soltanto attenuato, contenendo la sottostima delle precipitazioni effettive.

Per quanto attiene alle precipitazioni nevose, misurate in 9 delle 13 stazioni pluviometriche, di cui solo quattro hanno più di 20 anni di osservazioni, si è accertato che esse sono significative generalmente

a quote superiori a 800 m. Le precipitazioni nevose si verificano da ottobre ad aprile e sono più frequenti a gennaio e a febbraio. Generalmente le precipitazioni nevose, la cui media annua è inferiore a 100 cm di manto nevoso, si fondono in pochi giorni; in media la durata del manto nevoso non supera i 30 giorni complessivi. Suddividendo la stagione nevosa in intervalli di 15 giorni, nell'anno medio la prima nevicata si verifica entro il 31/12 e l'ultima entro il 31/3 (MINISTERO LL.PP., 1973). È quindi evidente che il ritardo con cui tali precipitazioni contribuiscono al ruscellamento superficiale sia modesto, ma tale da influenzare significativamente il regime delle sorgenti.

Delle numerose stazioni considerate, solo due risultano dotate di dispositivo termometrico (tab. 5), in tali condizioni un'attendibile elaborazione delle isoterme è possibile solo con l'ausilio di stazioni fittizie definite mediante correlazione tra l'altitudine e le temperature (CANTORE et al., 1987).

Anche dal punto di vista termico il regime, riferito alla temperatura media annua, presenta una variabilità modesta, influenzata in modo non accertabile, dalla disponibilità di solo due stazioni.

La conoscenza della variabilità nello spazio e nel tempo della temperatura e della piovosità permette di valutare, mediante metodi indiretti tradizionali, l'ammontare del surplus idrico o piovosità efficace. A tal fine si è fatto riferimento ad una griglia che suddivide l'area in studio mediante elementi quadrati aventi area pari ad 0,25 kmq. Noto il regime termopluviometrico medio vigente sull'area (definito mediante coefficienti mensili adimensionali), per ciascun elemento sono state calcolate la piovosità e la temperatura media mensile.

Utilizzando il metodo di Turc, modificato correggendo la temperatura in funzione della piovosità (CIVITA et al., 1970), è stato determinato per ciascun elemento il surplus idrico annuo, complessivamente disponibile, per il ruscellamento e l'infiltrazione (fig. 5).

Il minimo surplus idrico, pari a 472 mm, è associato alla piovosità e alla temperatura media annua di 1002 mm e di 12,6°C, mentre il massimo surplus, pari a 586 mm, si verifica grazie a 1025 mm di piovosità e 7,6°C di temperatura. Mediamente, sull'area in studio, si verifica un surplus pari a 524 mm/anno per unità di superficie.

5. CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'ACQUIFERO

L'acquifero che alimenta tutte le principali sor-

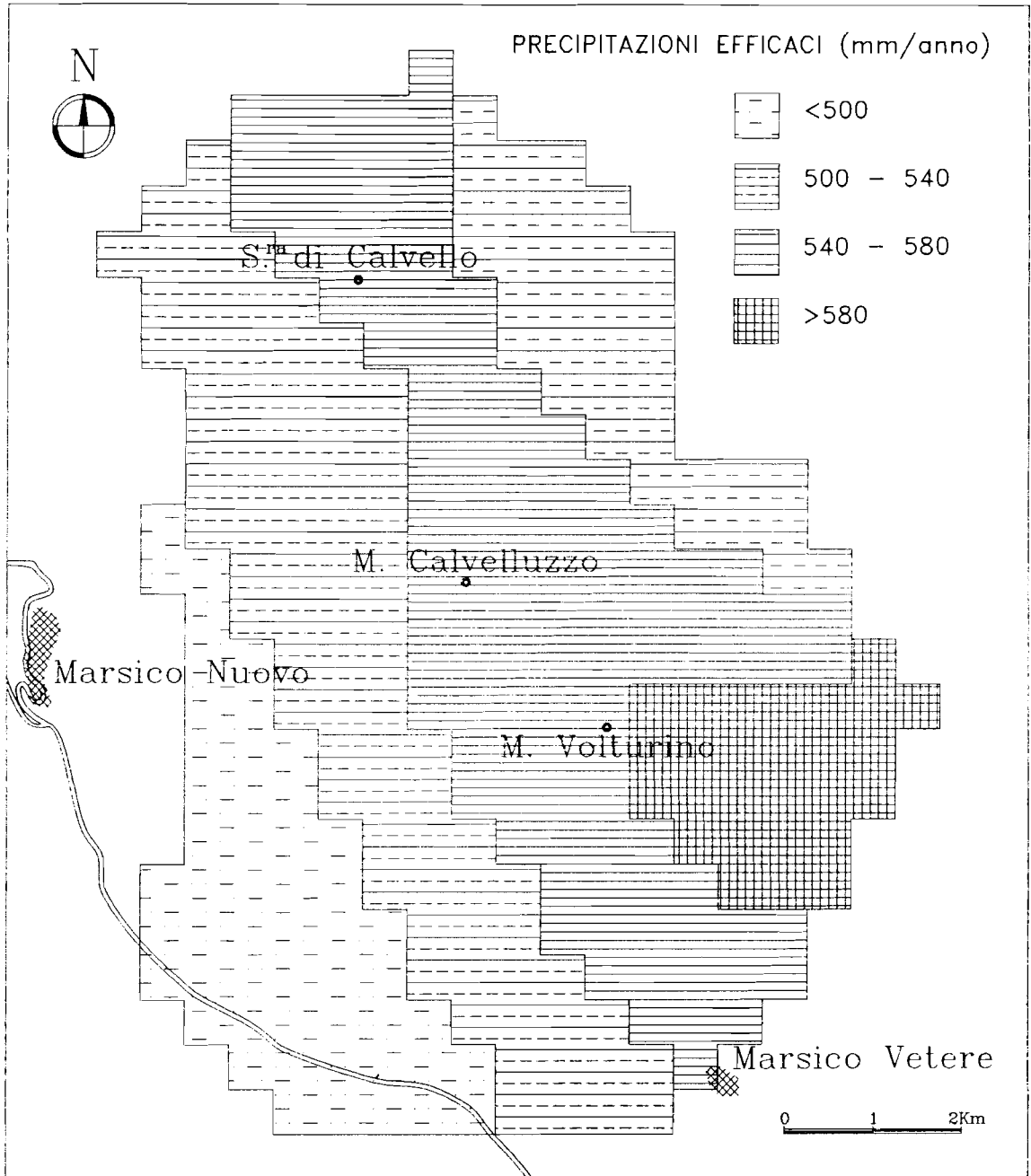


Figura 5. Carta della distribuzione delle precipitazioni efficaci (surplus idrico).

genti è di natura carbonatica (fig. 1, schema idrogeologico) e risulta suddiviso in quattro strutture minori da due allineamenti di faglia: il primo con direttrice all'incirca NNW-SSE e il secondo grossomodo E-W e dal sovrascorrimento tra le due unità lagonegresi.

La prima struttura, corrispondente al settore Serradi Calvello - M. Calvelluzzo è quella caratterizzata dal bilancio più rilevante con un volume di acque totale annuo di 10135670 mc, pari al 52% del totale delle acque sorgive emergenti dall'area nel suo complesso.

Il settore M. Ausineto-M. S. Nicola fornisce un contributo di acque sorgive all'incirca uguale a quello del settore del M. Volturino, rispettivamente pari al 21.4% e al 20.9%.

Il minor contributo, ovviamente, è fornito dall'area più piccola tra quelle considerate, ossia quella dello Scarrone di mezzo i cui efflussi sorgivi rappresentano soltanto il 5.7% del totale.

La circolazione idrica sotterranea si svolge essenzialmente in due direzioni prevalenti, entrambe indirizzate verso la valle del F. Agri, la prima verso le sorgenti del gruppo Agri e Curvino, la seconda verso le sorgenti Capano-Zolfata.

Una certa aliquota di acque sotterranee si sversa, al di sotto della copertura quaternaria fluviolacustre della valle dell'Agri e dei depositi flyscioidi posti alla sua base, nei calcari con selce costituenti il substrato della valle.

A profondità di 170 m circa, nei pressi della sorgente Galaino, infatti, pozzi idrologici hanno individuato, al di sotto dei litotipi afferenti alla successione fluviolacustre e al flysch Galestrino, una falda in pressione, risalente fino a - 20.20 m dal pc. caratterizzata da una pressione di circa 15 atm, che sottoposta ad emungimento con gradini di portata fino a 74 l/s ha denunciato un abbassamento corrispondente di 193 cm.

Le acque sotterranee del M. Volturino, nel loro flusso in direzione SW, intersecano la lineazione tettonica ad andamento NW-SE che ribassa a sud i litotipi impermeabili e determina, anche a causa dell'intensa cataclaszizzazione subita dai litotipi calcareo-dolomitici, uno spartiacque sotterraneo aperto, in corrispondenza del quale vengono a giorno le sorgenti Bocca dell'acqua, Genzano e Molinara e si verificano travasi sotterranei verso l'attiguo settore M. Ausineto-M. S. Nicola.

Le acque emergenti dallo Scarrone di mezzo derivano in gran parte dal contributo di acque superficiali che il versante orientale del M. Volturino, caratterizzato dalla presenza di Scisti silicei disposti a franapoggio, fornisce e che si riversano in direzione del Piano dell'Imperatore. L'infiltrazione delle acque è viepiù agevolata dalla diffusissima fratturazione che interessa ivi i depositi carbonatici assimilabili, praticamente, ad un brecciamme tettonico inglobante grossi ammassi estremamente fessurati.

Particolari per posizione e caratteri chimico-fisici risultano le due sorgenti sulfuree individuate nell'area; ambedue sono poste in corrispondenza di lineazioni tettoniche, caratterizzate da notevoli rigetti verticali ed anche orizzontali.

Le caratteristiche chimico-fisiche denunciano una comunanza con circuiti più profondi caratterizzati anche da tempi di permanenza delle acque nell'acquifero maggiore. In ambedue i casi, comunque, si verifica un mescolamento delle acque provenienti da circuiti profondi con acque superficiali, molto più marcato nella sorgente Zolfata. La presenza di solfuri denota probabilmente il contatto con rocce di natura argillosa o con rocce evaporitiche. L'origine profonda delle acque sulfuree è comprovata dalle temperature più elevate che, benché mescolate con acque più superficiali, le acque delle sorgenti mantengono: 12,3° la Sulfurea della Terra e 15° la Zolfata.

La temperatura dell'acqua risulta nell'arco del periodo annuale non subire considerevoli oscillazioni come comprovato da numerose misure effettuate e come lasciano intuire alcuni toponimi locali come, ad esempio, «pietre calde».

Lungo il bordo occidentale degli acquiferi esaminati le acque travasano, in profondità, verso le rocce carbonatiche costituenti il substrato della successione fluviolacustre e del flysch galestrino in corrispondenza della valle del F. Agri. Tali rocce carbonatiche costituiscono un profondo acquifero a sé stante su quale, pur avendo in animo di affrontare uno studio specifico, si ritiene di poter formulare alcune considerazioni:

- l'acquifero è confinato dai litotipi argilloso-marnosi della Formazione del Galestrino;

- l'acquifero dovrebbe essere caratterizzato da acque poco mobili, in quanto non connesso con gli acquiferi carbonatici del versante opposto della valle dell'Agri che, afferendo ad unità tettoniche più interne rispetto alle lagonegresi, trovansi in sovrascorimento al di sopra di queste ultime e, quindi, difficilmente in contatto con le rocce calcareo-silicee in parola;

- l'acquifero profondo tanto è poco vulnerabile all'eventuale rilascio di inquinanti in superficie quanto è sensibilissimo al rilascio di inquinanti in profondità, in quanto, se verificate le caratteristiche qui ipotizzate, l'acquifero risulterebbe caratterizzato da lunghi tempi di permanenza delle acque che, dal punto di vista della vulnerabilità corrispondono a una lenta propagazione dell'inquinante nell'acquifero, ma anche ad un lento processo di smaltimento dello stesso.

6. VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO

La vulnerabilità intrinseca dell'acquifero è stata valutata considerando quei fattori e/o parametri che

(direttamente e/o indirettamente) condizionano la possibile immissione e diffusione di sostanze inquinanti, generalmente idroveicolate, nella falda sotterranee.

Premesso che l'area in esame presenta un andamento orografico tipicamente appenninico e che tale andamento, associato alla complessa configurazione idrogeologica dell'acquifero e alla scarsità d'informazione dirette (provenienti da indagini geostatiche/o da pozzi di emungimento), riduce drasticamente la quantità di parametri e/o fattori utilizzabili opportunamente in fase di valutazione della vulnerabilità intrinseca, i fattori condizionanti tale fenomeno utilizzati, in realtà gli unici attualmente disponibili, sono: litologia, acclività della superficie topografica, densità della rete di fratturazione e precipitazione efficaci.

Il sistema adoperato, parametrico a punteggi e pesi (pcsm) (CIVITA, 1994), consiste nell'attribuzione di un punteggio (Ppar), compreso tra 1 (bassa influenza) e 10 (alta influenza), ad ogni classe di appartenenza (intervallo di valori) dei parametri considerati. Il punteggio così aggiudicato è opportunamente amplificato dal prodotto con un fattore moltiplicatore a gamma fissa («peso») precedentemente deciso; ciò al fine di assicurare la giusta evidenza al parametro considerato nell'ambito della valutazione della vulnerabilità. La scelta del fattore moltiplicativo è influenzata dal ruolo che il parametro in questione riveste nei diversi processi che sovrintendono alla protezione o meno dell'acquifero e dei terreni sovrastanti.

Questo semplice algoritmo è stato applicato a tutte le celle rappresentative di una precisa porzione di territorio. Quest'ultimo, infatti, è stato discretizzato in celle quadrate di 500 m di lato (25 ha) formanti una maglia di forma irregolare. La somma dei valori, relativi ai singoli parametri opportunamente pesati, rappresenta la vulnerabilità intrinseca, secondo un indice di vulnerabilità (Iv), dell'unità di territorio, legato alla singola cella. L'indice di vulnerabilità è stato quindi ottenuto:

$$Iv = Ppar \cdot Peso$$

6.1. Parametri base utilizzati

La valutazione del contributo che ciascuno dei parametri considerati dà alla definizione dell'indice di vulnerabilità intrinseco è stata effettuata sulla base di una discretizzazione dei singoli parametri in chiave di significato idrogeologico.

In particolare per quanto concerne la litologia sono stati distinti quattro complessi idrogeologici a

Tabella 6. Punteggi e pesi dei parametri utilizzati.

| LITOLOGIA | PUNTEGGIO | PESO |
|---------------------------------|-----------|------|
| Detrito | 10 | 8 |
| Calcari con selce | 7 | 8 |
| Scisti Silicei | 4 | 8 |
| Flysch Galestrino | 1 | 8 |
| FRATTURAZIONE ($\Sigma l/A$) | | |
| 0 - $10 * 10^{-3}$ | 1 | 10 |
| $10 * 10^{-3}$ - $18 * 10^{-3}$ | 4 | 10 |
| $18 * 10^{-3}$ - $36 * 10^{-3}$ | 7 | 10 |
| $> 36 * 10^{-3}$ | 10 | 10 |
| PENDENZA | | |
| 0°- 5° | 10 | 5 |
| 5°- 15° | 7 | 5 |
| 15°- 30° | 4 | 5 |
| 30°-50° | 1 | 5 |
| SURPLUS IDRICO | | |
| < 500 mm/a | 2 | 6 |
| 500 - 540 mm/a | 4 | 6 |
| 540 - 580 mm/a | 6 | 6 |
| > 580 mm/a | 7 | 6 |

comportamento, in termini di grado e tipo di permeabilità, differenziato ed è stato assegnato a ciascuno di essi, un punteggio, secondo la tab. 6.

Il punteggio assegnato a ciascuna classe litologica è dipendente dal tipo di permeabilità e dal grado, decrescente dalla prima alla quarta classe e dalla percentuale di affioramento della singola litologia per ciascuna cella.

Essendo la permeabilità secondaria di gran lunga quella più condizionante, in termini idrogeologici gli acquiferi considerati, è stata valutata la densità di fratturazione, ottenuta attraverso fotointerpretazione a grande scala e rilevamento diretto (fig. 6).

La densità di fratturazione (DI) è espressa dalla seguente relazione:

$$DI = l / A$$

dove:

l = lunghezza totale della singola frattura rilevata nell'unità areale (cella) (m);

A = estensione della singola cella (25 ha).

Sono state in tal modo definite quattro classi di DI, corrispondenti a quattro intervalli di valori, cui sono stati attribuiti i relativi punteggi, come in tab. 6.

Altro parametro considerato è stata l'acclività della superficie topografica, anche in questo caso

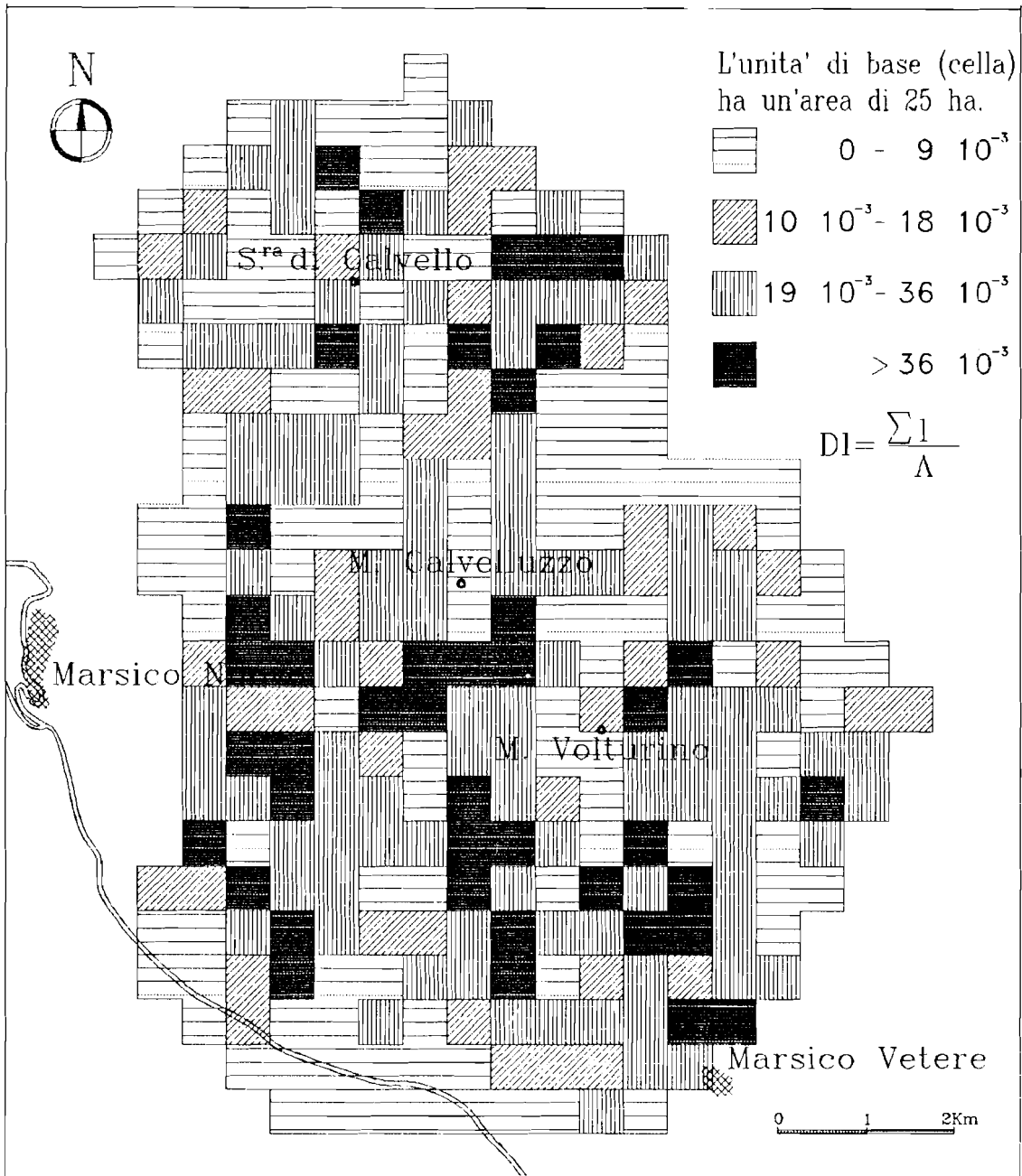


Figura 6. Carta della densità di fratturazione.

sono state individuate varie classi di pendenza, relativamente ad ogni cella, ed attribuiti i relativi punteggi e peso, secondo quanto indicato in tab. 6 (fig. 7).

Infine, ultimo parametro considerato è stato il surplus idrico medio annuo per unità di cella.

Sono state in tal modo definiti quattro intervalli di surplus idrico, cui sono stati attribuiti i relativi punteggi e peso come in tab. 6 (fig. 5).

In conclusione le tabelle illustrano gli intervalli di valori assegnati ai fattori e/o ai parametri considerati, il punteggio loro attribuito e il peso utiliz-

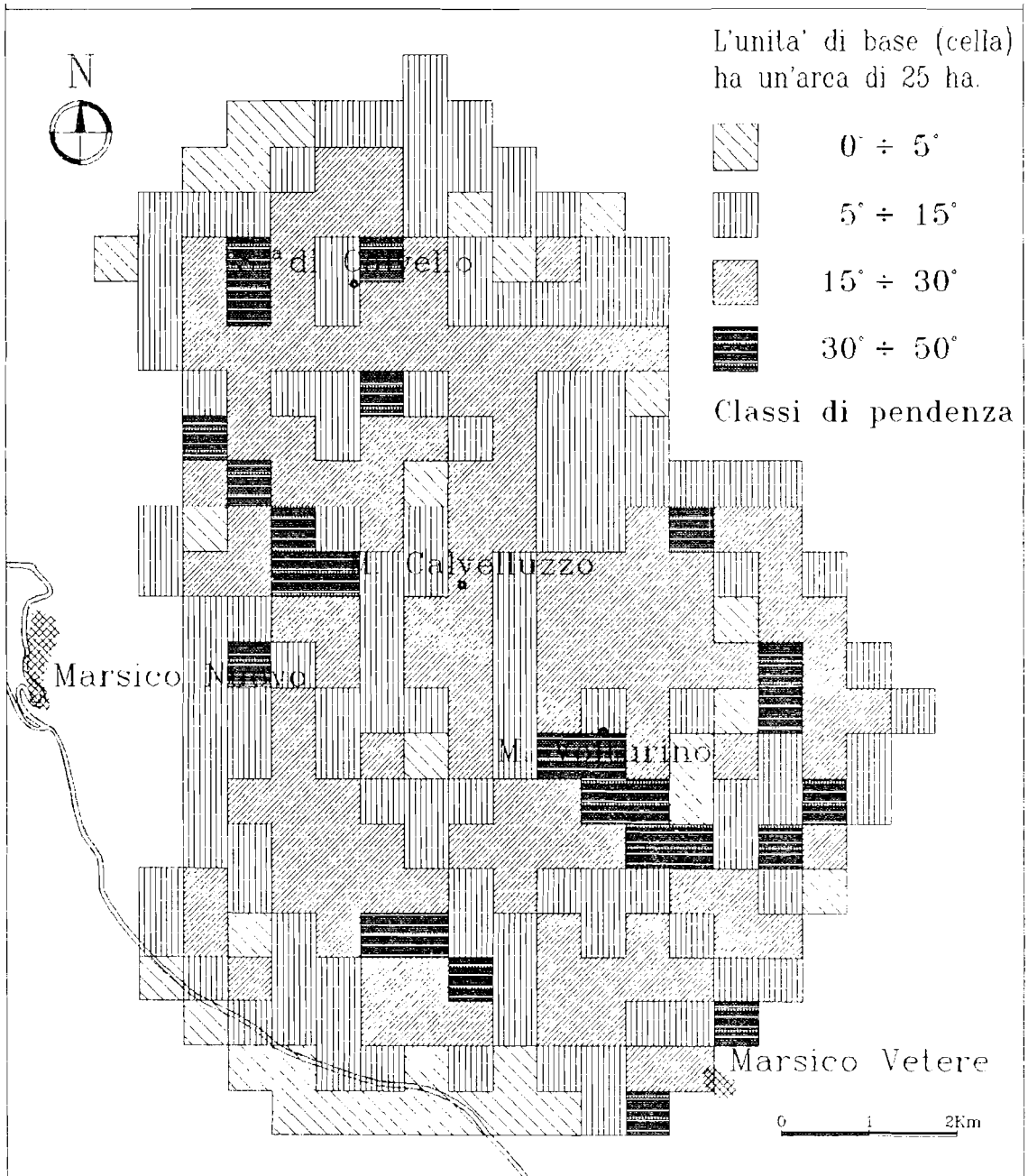


Figura 7. Carta delle pendenze.

zato nella valutazione dell'Indice di Vulnerabilità (Iv).

6.2. Vulnerabilità degli acquiferi

Le risultanze dell'elaborazione effettuata, sintetizzate in fig. 8, hanno individuato quei settori che

per caratteristiche proprie risultano maggiormente esposti al rischio di inquinamento.

La metodologia utilizzata, benché ricalchi le linee guida di metodi ampiamente applicati in altre aree del nostro paese (CIVITA, 1994), ha dovuto adeguarle alle caratteristiche del territorio studiato e alla disponibili-

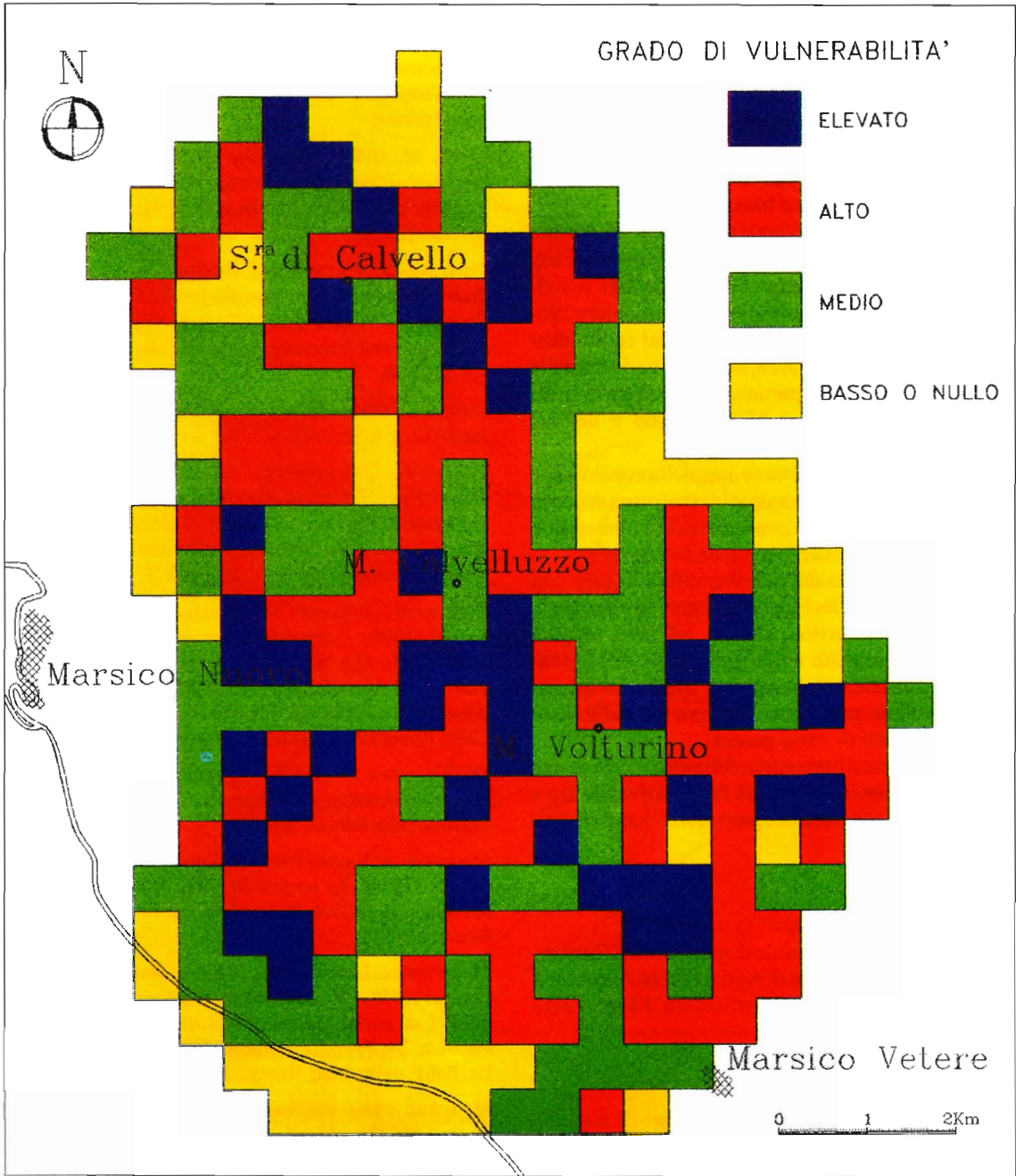


Figura 8. Carta della vulnerabilità.

tà di dati. L'elevata altitudine raggiunta dal territorio esaminato e le modalità di circolazione nell'acquifero, caratterizzate da un andamento a cascata (come spesso accade negli acquiferi carbonatici dell'Appennino), non consentono un attendibile approccio alla definizione degli spessori delle zone saturate e insature se non

in prossimità delle sorgenti, soprattutto in mancanza di dati stratigrafici ed idrogeologici puntuali e diretti.

La scala utilizzata per la realizzazione della carta di base, 1:25.000 (D'ECCLESIS et al., 1994) consente di attribuire alla cartografia elaborata la qualifica di operativa.

La distribuzione delle varie classi di vulnerabilità definite non rispecchia, in maniera decisa, nessuno dei singoli fattori considerati, ciò in conseguenza della metodologia adottata.

Coerentemente con le previsioni le aree a più alta vulnerabilità intrinseca corrispondono a quelle caratterizzate da litologie calcareo-silicee, con elevata densità di fratturazione e bassa pendenza.

In particolare si evidenziano settori ad elevata vulnerabilità in corrispondenza della lineazione tettonica che separa i settori sud-occidentali e sud-orientali del territorio considerato. Particolare rilevanza assume tale aspetto alla luce del ruolo idrogeologico svolto da tale area, in corrispondenza della quale è individuato lo spartiacque aperto tra le strutture idrogeologiche del M. Volturino e dei M. Ausineto e Calvelluzzo.

In definitiva per un'area come quella considerata, complessivamente poco antropizzata (priva di centri di pericolo), è possibile considerare la vulnerabilità intrinseca corrispondente a quella integrata.

L'utilità di carte della vulnerabilità di aree con siffatte caratteristiche è legata alla prevenzione e alla sorveglianza del territorio. Infatti, tali aree, seppure naturalmente protette dalle accidentate configurazioni orografiche, rappresentano spesso, in quanto poco controllate, preferenziali siti per lo smaltimento abusivo di rifiuti di vario genere.

La conoscenza preventiva delle aree a più elevata vulnerabilità consente una più facile sorveglianza e una opportuna gestione del patrimonio naturalistico in esse presente.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per la gentile disponibilità il Consorzio di Bonifica della Val d'Agri e l'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese, in particolare l'Ing. Carlo D'Anisi.

BIBLIOGRAFIA

- CANTORE V., IOVINO F. & PONTECORVO G. (1987) - *Aspetti climatici e zone fitoclimatiche della Basilicata*. CNR, Ist. di Ecologia e Idrologia Forestale, pubbl. n. 2, Cosenza.
- CARBONE S., CATALANO S., LENTINI F. & MONACO C. (1988) - *Le unità stratigrafico-strutturali dell'Alta Val d'Agri nel quadro dell'evoluzione del sistema catenavolfossa*. Mem. Soc. Geol. It., vol. **XLI**, 331-341.
- CARBONE S. et al. (1991) - *Carta Geologica della Val d'Agri*. Scala 1:50.000 stampato dalla SELCA, Firenze.
- CIVITA M., DE RISO R. & NICOTERA (1970) - *Sulla struttura idrogeologica alimentante sorgenti del F. Sarno e le falde pedemontane profonde della parte sud-orientale della conca campana*. Atti del Conv. Int. sulle Acque Sotterranee, Palermo.
- CIVITA M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale n. 31, Pitagora Editrice, Bologna.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. & RICCHETTI E. (1991) - *Studio delle caratteristiche morfoevolutive del fondovalle del F. Basento tra Pisticci scalo e la foce, finalizzato all'ottimizzazione dell'intervento antropico*. Mem. Soc. Geol. It., 47, 587-608.
- DAVIS J.C. (1986) - *Statistics and data analysis in Geology*. John Wiley & Sons. USA.
- D'ANISI C., D'ECCELSIIS G., GRASSI D., GRIMALDI S. & POLEMIO M. (1991) - *Studio idrogeologico degli acquiferi dei Monti Volturino e Serra di Calvelluzzo (Alta Val d'Agri-Basilicata)*. Presentato nella sessione poster della riunione annuale delle U.O. del GNDCI, Roma 1991.
- D'ECCELSIIS G., GRASSI D., GRIMALDI S., POLEMIO M. & SDAO F. (1994) - *Carta della Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi dei M.ti Volturino e Serra di Calvelluzzo (Alta Valle del F. Agri-Basilicata)*. Pubbl. n. 1141 del GNDCI, presentata nella riunione annuale delle U.O. del GNDCI-CNR, Roma 12-15 dicembre 1994, in corso di stampa.
- DE WRACHIEN D. (1980) - *Procedimenti automatici di stima del dato e loro applicazioni nelle scienze idrologiche*. Masson Italia Editori, Milano.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, CONS. SUP. SERVIZIO IDROGRAFICO (1937) - *Le sorgenti Italiane. Elenco e descrizione*. Pubbl. n. 14, vol. V, Lucania, Ist. Polig. dello Stato, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, CONS. SUP. SERVIZIO IDROGRAFICO (1956) - *Precipitazioni medie mensili ed annue e numeri di giorni piovosi per il trentennio 1921-1950*. Pubbl. n. 24, Fasc. III, Sezione Idrografica di Catanzaro, Ist. Polig. dello Stato, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, CONS. SUP. SERVIZIO IDROGRAFICO (1973) - *La nevosità in Italia nel quarantennio 1921-1960*. Pubbl. n. 26, Ist. Polig. dello Stato, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, CONS. SUP. SERVIZIO IDROGRAFICO (1921-1986) - *Annali idrologici. Parte I e II*, Sezione idrografica di Catanzaro, Ist. Polig. dello Stato, Roma.
- TURC L. (1954) - *Le bilan d'eau des sols. Relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement*. Ann. Agron., Paris, 1954-1955.