

UNIVERSITA' DEGLI STUDI << G. D' ANNUNZIO >>  
CHIETI - PESCARA

---

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali  
Corso di Laurea in Scienze Geologiche

TESI DI LAUREA SPERIMENTALE  
IN  
IDROGEOLOGIA APPLICATA

***ANALISI DELLE RISORSE IDRICHE E  
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA',  
CON L' AUSILIO DI METODOLOGIE GIS,  
DELL'ACQUIFERO ALLUVIONALE DEL FIUME  
METAURO TRA MONTEMAGGIORE E FANO (PU)***

*Relatore*  
Prof. Gian Carlo Crema

*Laureando*  
Marco Di Girolamo

*Correlatore*  
Dott. Felice Tatangelo

Anno Accademico 2003 / 2004

*A mamma, papà  
mia sorella e mio fratello...*

## **INDICE**

<b>Capitolo 1 – SCOPI, OBIETTIVI E METODOLOGIE</b>	pag.
1.1 Introduzione.....	1
1.2 Scopi ed obiettivi dello studio.....	3
1.3 Metodologie di lavoro.....	4
<b>Capitolo 2 – ASPETTI TEORICI SULLA VULNERABILITA’</b>	
2.1 Vulnerabilità degli acquiferi.....	7
2.2 Metodologie per la valutazione quantitativa della vulnerabilità.....	9
2.3 Descrizione del metodo DRASTIC.....	13
2.3.1 Parametri del metodo DRASTIC.....	15
<b>Capitolo 3 – METODOLOGIA GIS NELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE</b>	
3.1 GIS: Definizione ed applicazioni.....	17
3.1.1 Il software ArcGIS.....	17
3.1.2 Struttura di un Geodatabase.....	18
3.2 Modello Geodatabase per le risorse idriche.....	20
<b>Capitolo 4 – LA BASSA VALLE ALLUVIONALE DEL FIUME METAURO</b>	
4.1 Inquadramento geografico.....	24
4.2 Inquadramento geologico.....	26
4.3 Assetto tettonico.....	29
4.4 Caratteristiche geomorfologiche.....	31

## **Capitolo 5 – GESTIONE DEL TERRITORIO**

5.1	Usò del suolo.....	35
5.2	Centri potenziali di pericolo (CDP).....	39

## **Capitolo 6 – IDROLOGIA**

6.1	Il Fiume Metauro ed il suo bacino idrografico.....	43
6.2	Utilizzo delle risorse idriche.....	47
6.3	Portate fluviali.....	51

## **Capitolo 7 – BILANCIO IDROLOGICO**

7.1	Descrizione dei parametri per il bilancio idrologico.....	55
7.2	Bilancio idrologico dell'area in esame.....	58
7.2.1	Precipitazioni reali (P).....	58
7.2.2	Temperature.....	60
7.2.3	Evapotraspirazione reale ( $E_r$ ).....	66
7.2.4	Deflusso idrico globale (D).....	68
7.3	Analisi dei risultati.....	71

## **Capitolo 8 - ANALISI DELL' ACQUIFERO**

8.1	Geometria dell' acquifero.....	74
8.2	Andamento del substrato.....	80

## **Capitolo 9 –IDRODINAMICA SOTTERRANEA**

9.1	Caratteristiche idrodinamiche dell' acquifero.....	83
9.1.1	Oscillazioni piezometriche.....	89
9.1.2	Analisi storiche.....	90
9.1.3	Substrato e deflussi.....	94
9.2	Soggiacenza.....	96

## **Capitolo 10 – IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE**

10.1 Parametri chimico - fisici delle acque sotterranee.....	99
10.1.1 pH.....	99
10.1.2 Temperatura.....	103
10.1.3 Conducibilità.....	106
10.2 Analisi chimiche.....	110
10.2.1 Rapporti caratteristici.....	123

## **Capitolo 11 – FENOMENOLOGIE DI INQUINAMENTO**

11.1 Inquinamento da Nitrati.....	128
11.2 Inquinamento chimico e batteriologico.....	130

## **Capitolo 12 - VULNERABILITA' DELLA BASSA VALLE ALLUVIONALE DEL FIUME METAURO**

12.1 Stima della vulnerabilità tramite il metodo DRASTIC.....	134
12.3 Considerazioni sulla vulnerabilità dell' acquifero.....	148

## **Capitolo 13 - CONCLUSIONI**

13.1 Considerazioni conclusive.....	151
13.1.1 Limiti e vantaggi delle metodologie applicate.....	166
13.2 Proposte di ricerche future.....	165

<b>Bibliografia.....</b>	<b>167</b>
--------------------------	------------

<b>Web links.....</b>	<b>173</b>
-----------------------	------------

## RINGRAZIAMENTI

*Desidero aprire la presente ricerca con i ringraziamenti, poiché questa è stata frutto di collaborazione e sostegno da parte di molti. Vorrei ringraziare le persone che mi hanno seguito più direttamente nello svolgimento della tesi, il relatore prof. Crema Gian Carlo, il quale mi ha insegnato che passione per il proprio lavoro, altruismo e disponibilità, caratteristiche che lo hanno da sempre contraddistinto, devono andare di pari passo e per i preziosi consigli professionali che mi ha dato; il correlatore ed ormai amico dott. Tatangelo Felice, per avermi trasmesso grande interesse ad un mondo a me finora sconosciuto, il mondo GIS; inoltre per avermi sopportato, incoraggiato nei momenti più critici e per la rilettura costante, critica e meticolosa della presente tesi. A loro tutto il mio affetto e la mia profonda stima. Non posso non includere tra i primi ringraziamenti la mia famiglia, mamma, papà, mio fratello e mia sorella, ai quali dedico questa tesi; quello che sono e che ho realizzato fino ad oggi, lo devo interamente a loro, per l' affetto, l' incoraggiamento, la vicinanza, lo "stimolo continuo per proseguire gli studi", che mi hanno donato fin dalla mia infanzia. Vorrei ringraziare la piccola Annamaria, che mi ha accompagnato e sostenuto affettuosamente, durante le campagne di misura e tutto il lavoro di tesi. Ringrazio l'ASET di Fano, nelle persone del geom. Rinaldo Tonucci, capo settore del servizio acquedottistico e Giorgio Garofalo, responsabile dei SIT, per le informazioni e i dati che mi hanno gentilmente fornito. Ringrazio anche il dott. Geol. Gianni Papaveri, per i preziosi dati bibliografici fornitimi. Il mio ringraziamento va anche ai miei compagni di viaggio nell' ambito universitario, Dario, il dott. Francesco Di Credico, Federico, Lorenzo, Vera, Francesco Mascioli, Filippo, Sandro e Alessia, Michele, Giovanna, Claudia e tanti altri non meno importanti, i quali hanno condiviso con me questi anni di studio. Ringrazio tutte le persone che riempiono la mia vita e che indirettamente hanno contribuito alla realizzazione della presente tesi: gli amici di Orsogna, la mia parrocchia, l' Azione Cattolica parrocchiale, quella diocesana, l'equipe ACR, per avermi trasmesso i migliori sentimenti e valori che porto dentro. Infine desidero ringraziare tutte le persone che hanno abitato insieme a me nelle varie case universitarie, in particolare gli ultimi coinquilini, il dottore e amico Carlo Alberto e Giovanna.*

*<<...Ecco, io sto davanti a te, là sulla roccia, sull' Oreb: colpirai la roccia e ne uscirà acqua. Il popolo berrà >>.*

*(Es 17,6)*

*«Talete dice che il principio è l'acqua, perciò anche sosteneva che la terra sta sopra l'acqua; prendeva forse argomento dal vedere che il nutrimento d'ogni cosa è umido e persino il caldo si genera e vive nell'umido; ora ciò da cui tutto si genera è il principio di tutto....»*

*Aristotele: Metafisica*

# Capitolo 1

## SCOPI, OBIETTIVI E METODOLOGIE

### 1.1 Introduzione

Le mutate esigenze di una società in continuo sviluppo, la cui domanda d'acqua è divenuta sempre più pressante sia in termini di quantità che di qualità, rendono necessarie un ulteriore sviluppo nel campo della ricerca della captazione, dell' utilizzazione razionale e della protezione delle risorse idriche sotterranee. Infatti, con l' aumento dei consumi ad uso industriale, con l' estensione delle aree irrigue, e con la nascita delle grandi concentrazioni urbane, si è sentita la necessità di razionalizzare l'uso delle risorse idriche facendo sì che la richiesta d'acqua venisse soddisfatta preservando gli equilibri idrogeologici naturali.

La gestione ottimale delle risorse idriche esige, tra l' altro, la conoscenza delle reali condizioni di infiltrazione, circolazione ed emergenza delle acque sotterranee. Per poter distribuire razionalmente le captazioni sul territorio, per poter assicurare la disponibilità idrica anche nei periodi dell'anno in cui è maggiore la richiesta dell' utenza e per poter salvaguardare gli acquiferi dai pericoli d' inquinamento, è indispensabile avere informazioni sui bacini di alimentazione sotterranei e sulle relative potenzialità, sulle modalità di deflusso delle acque, sulle aree di drenaggio e di alimentazione preferenziali, sulle zone di recapito naturale, sui volumi d'acqua che alimentano annualmente le falde, sulle riserve idriche immagazzinate, sulle interconnessioni esistenti tra bacini sotterranei limitrofi e sugli interscambi tra deflussi superficiali e sotterranei.

Lo sfruttamento delle risorse idriche dei subalvei, deve essere condotto avvalendosi di uno studio integrato che coinvolga sia le acque sotterranee sia le acque superficiali dell'intero sistema del bacino idrografico di cui il subalveo fa parte, poiché esiste uno stretto legame tra le due tipologie di acque.

La falda di subalveo è un sistema molto complesso nel cui ambito agiscono fattori che solo apparentemente sono tra loro indipendenti. Qualsiasi intervento, infatti, condotto nel bacino idrografico ed in particolare nell'area alluvionale , si ripercuote

in maniera più o meno accentuata nell' acquifero. Lo sfruttamento di una falda richiede quindi una precisa conoscenza dei caratteri idrogeologici dell' intero sistema , inquadrato nel contesto del bacino idrografico. In tale modo è possibile pianificare lo sfruttamento e la gestione delle risorse idriche sotterranee, controllare e limitare l' inquinamento delle falde ed è possibile infine conoscere a priori quale può essere la risposta dell' acquifero alle sollecitazioni esterne.

Di particolare interesse è, in questi ultimi anni, il tema dell' inquinamento delle acque sotterranee che rappresenta una calamità strisciante e tanto più pericolosa perché, a differenza delle alluvioni, delle frane, dei sismi, delle eruzioni vulcaniche, esso non ha estrinsecazioni evidenti, non si consuma con quella rapidità e violenza che colpisce e rimane indelebile nel ricordo delle popolazioni che la subiscono. L' inquinamento causato da rilasci puntuali ed estesi da parte, ad esempio, di industrie, di allevamenti e di centri abitati, il più delle volte celati o ignorati, tende ad infiltrarsi nel sottosuolo attraversando prima la zona insatura, ovvero la parte di sottosuolo non interessata dalle acque sotterranee, poi la zona satura, ovvero la parte di sottosuolo sede delle acque di subalveo, tanto poco conosciuta quanto trascurata nella pianificazione ambientale, impiegando mesi, magari anni per raggiungere un soggetto a rischio, una fonte di approvvigionamento idrico. Laddove si palesa un inquinamento catastrofico, esso impatta intere popolazioni per tempi lunghissimi, può influire sulla salute di generazioni se non viene affrontato con misure, peraltro, estremamente costose e di esito non sempre certo.

## 1.2 Scopi ed obiettivi dello studio

La presente ricerca, si pone come obiettivo principale quello di effettuare una valutazione della vulnerabilità intrinseca all' inquinamento, allo scopo di fornire una zonizzazione delle aree maggiormente esposte alla contaminazione della valle alluvionale del fiume Metauro, nel tratto compreso tra Montemaggiore ed il mare, area che ricade in buona parte nel territorio comunale di Fano.

Per il conseguimento di tale obiettivo, sono state adottate metodologie di indagine applicative, allo scopo di definire le condizioni idrogeologiche dell'acquifero e le caratteristiche chimico - fisiche delle acque di falda; Le analisi effettuate hanno permesso di determinare le caratteristiche intrinseche del territorio al fine di:

- avere uno scenario completo della possibilità che il terreno assorba un inquinante idrotrasportato e che questo si propaghi nella falda.
- avere informazioni circa il diverso grado di idoneità delle varie zone ad accogliere insediamenti produttivi o valutarne la loro pericolosità in funzione del territorio dove sorgono.

Un ulteriore obiettivo della presente ricerca, è quella di gettare le basi per costruire uno “scenario dinamico”, ossia una rappresentazione della vulnerabilità dell'acquifero in questione, integrata con un continuo aggiornamento degli elementi variabili; a tale scopo è stata utilizzata la metodologia GIS (Geographic Information System ) che consente, non solo di produrre una cartografia efficiente a diverse scale agendo sul medesimo set di dati, ma anche la creazione e la gestione di basi dati geografici costantemente aggiornabili, i quali permettono sia una visualizzazione ottimale dei dati contenuti, che l' “interrogazione” del software per evidenziare determinati aspetti, in modo tale da ottenere un' analisi completa del problema in questione. L' utilizzo di tale metodo per lo studio di vulnerabilità ha dunque come finalità, la creazione di uno strumento che sia di supporto alle pianificazioni territoriali dell' area in esame.

### 1.3 Metodologie di lavoro

Il lavoro è stato sviluppato in più fasi. Si è partiti da una ricerca bibliografica relativa all' area in esame, nella quale sono state reperite carte topografiche in scala 1:25000, carte geologiche , geomorfologiche di dettaglio, carte dell' uso del suolo in scala 1:10000, ortofotocarte in scala 1: 10000 al fine di effettuare i vari inquadramenti, come ad esempio quello geografico, geologico, geomorfologico, necessari per un primo approccio ad uno studio di interesse geologico.

Contestualmente sono stati reperiti dati concernenti stratigrafie, tramite le quali si è potuto effettuare una ricostruzione delle geometrie del sottosuolo in esame. E' stato possibile inoltre, ottenere dati sulle analisi chimiche delle acque relative all'anno 2003, effettuate nei pozzi di proprietà del comune di Fano, portate del fiume Metauro relative agli anni 2003 – 2004 nella zona di ricarica, dati idrologici storici, dati utili per effettuare un bilancio idrologico del bacino d'interesse, informazioni che sono state utilizzate per definire le condizioni idrogeologiche del sito in studio.

Terminata la ricerca bibliografica iniziale, si è passati ad una successiva fase di acquisizione dati di campagna; si è proceduto infatti ad un censimento dei pozzi in numero di 17, scelti adeguatamente in funzione della scala utilizzata e compatibilmente con la disponibilità dei privati; nei pozzi censiti sono state eseguite misure piezometriche, termometriche, di conducibilità elettrica specifica e di pH. Tali misure sono state effettuate in due periodi: una nel periodo di morbida, all'inizio del mese di Maggio dell'anno 2004 ed una nel periodo di magra, all' inizio del mese di Ottobre del medesimo anno. Questo ha permesso di avere a disposizione informazioni aggiornate di natura chimico- fisica, inerenti alle acque di subalveo.

Dopo la fase di acquisizione, la ricerca è proseguita con l' elaborazione dei dati di campagna utilizzando il metodo di "Delaunay", un metodo geometrico che ha permesso la ricostruzione dell' andamento della morfologia della superficie piezometrica e quindi l' individuazione delle principali zone di drenaggio e di alimentazione, si è risaliti così anche all' andamento della soggiacenza. Tramite

tale metodo geometrico inoltre, si è riusciti a determinare l' andamento dei caratteri idrochimici di base delle acque, quindi delle temperature, delle conducibilità e del pH. Tutte le ricostruzioni sono state eseguite relativamente ai mesi di Maggio e di Ottobre. Tramite questo tipo di approccio, si sono potute delineare le caratteristiche idrogeologiche dell' acquifero esaminato, così come le caratteristiche chimico – fisiche delle acque sotterranee.

Successivamente, si è tentata una ricostruzione approssimativa delle stratigrafie dell' acquifero in esame, così anche la ricostruzione dell' andamento del substrato; si è proceduto in questa direzione con lo scopo di avere un' idea sulle variazioni laterali ed in profondità, delle permeabilità delle varie litologie coinvolte, le quali influenzano il deflusso delle acque sotterranee, così da mettere in evidenza eventuali zone con i maggiori apporti idrici; inoltre questo ha permesso di conoscere gli spessori dell' acquifero in tutta l' area d'interesse.

Sono state redatte, inizialmente in cartaceo, varie carte tematiche: carte delle piezometrie, carte della soggiacenza, carta degli andamenti della temperatura, della conducibilità, del pH; tali elaborati, sono stati redatti relativamente ai due periodi scelti per il censimento dei pozzi. Inoltre sono state elaborate anche una carta geologica ed una carta dell' uso del suolo (nota in letteratura anche come “land use”). Le analisi chimiche reperite, hanno permesso infine, la realizzazione di carte tematiche della distribuzione spaziale dei tipi chimici principali, che caratterizzano le acque dell' area in esame, in particolar modo la carta dei nitrati, principale causa d' inquinamento delle pianure alluvionali. La redazione di tutte le carte tematiche ha permesso un' interpretazione efficiente dei dati reperiti per il raggiungimento degli obiettivi della presente tesi.

Per poter meglio analizzare i dati a disposizione, si è scelto di utilizzare la metodologia GIS, che prevede innanzitutto, la creazione di un database in cui far confluire i vari dati. Il vantaggio di tale metodologia, è quello di facilitare la gestione e l' analisi di tutta la mole di informazioni ottenute nelle precedenti fasi. La realizzazione del database, ha previsto una fase di “editing”, ovvero di digitalizzazione di tutte le carte tematiche elaborate in cartaceo, correlate di tabelle

degli attributi, che sono state popolate dalle informazioni inerenti alle varie carte; tutto ciò ha facilitato la gestione di tali carte e l' ha resa più efficiente. La complessa organizzazione del database, che ha richiesto un lavoro accurato e sistematico, è stato sicuramente ripagato dall' efficienza, che una metodologia come quella GIS può dare.

Dopo aver raccolto ed organizzato i dati pluviometrici e termometrici a disposizione, si è passati ad elaborare un bilancio idrologico del bacino in esame, per effettuare una valutazione quantitativa delle risorse idriche sotterranee nell'area oggetto di studio.

Tramite il sistema GIS incrociando i dati, si è potuto effettuare, in maniera agevolata, l' analisi di tutto il materiale a disposizione.

Le elaborazioni ottenute fin qui, sono confluite tutte nell' ultima fase, dove, con l' utilizzo di alcuni metodi specifici, si è giunti ad una stima della vulnerabilità all' inquinamento dell' area in esame, effettuando una zonizzazione del sito tramite una griglia a maglie di un chilometro di lato. Il database creato in questo lavoro, tramite il percorso di cui sopra a mezzo della metodologia GIS, può essere ripreso ed aggiornato in qualsiasi contesto, in base alle esigenze del momento.

## Capitolo 2

### ASPETTI TEORICI SULLA VULNERABILITA'

#### 2.1 Vulnerabilità degli acquiferi

Per numerose località collinari e costiere, l' unica risorsa idrica attualmente utilizzabile a scopo idropotabile, agricolo ed industriale è data dalle acque degli acquiferi delle pianure alluvionali. L' elevata trasmissività dei depositi e la scarsa protezione naturale dei livelli produttivi ghiaiosi, conferiscono agli acquiferi delle pianure un' elevata vulnerabilità. Infatti l' attività agricola, industriale e la stessa presenza di numerosi insediamenti abitativi ha provocato l' inquinamento delle acque di molte zone delle pianure rendendole, a volte, non più utilizzabili a scopi idropotabili.

Le prime carte di vulnerabilità vengono realizzate a partire dall' inizio degli anni Sessanta in Francia (*Albinet & Margat, 1970; Putallaz & Sauty, 1974*), quindi in Cecoslovacchia (*Olmer & Rezac, 1974*) e in Russia. In Italia il primo esempio di Carta di vulnerabilità si ha nel 1978 in Friuli (*Bottino et al. 1980*)

Sono state coniate diverse definizioni della vulnerabilità intrinseca o naturale di un acquifero:

- *la possibilità di penetrazione e propagazione, in condizioni naturali, nei serbatoi naturali ospitanti la prima falda generalmente libera, di inquinanti provenienti dalla superficie (Albinet & Margat, 1970);*
- *il grado di esposizione al pericolo di inquinamento delle acque sotterranee determinato da condizioni naturali e indipendente dalla effettiva presenza di fonti di inquinamento (Olmer & Rezac, 1974);*
- *il complesso di condizioni naturali, superficiali e sotterranee, che influenzano il moto di un inquinante verso un acquifero sottostante (Vrana, 1981);*
- *la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche e idrodinamiche, ad*

*ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell' acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo (Civita, 1987);*

- *la suscettibilità delle acque sotterranee a subire un peggioramento della loro qualità a causa dell'inquinamento prodotto da attività antropiche (Bachmat & Collin, 1987);*
- *le caratteristiche intrinseche che determinano la suscettibilità delle varie parti di un acquifero ad essere sfavorevolmente colpite da un carico inquinante imposto (Foster, 1897);*
- *la facilità o meno con cui le sostanze contaminanti si possono introdurre, si possono propagare e possono persistere in un determinato acquifero (Celico, 1988).*

E' necessario porre l' accento sull' importanza della definizione dei parametri per la valutazione della vulnerabilità di un corpo idrico sotterraneo. Infatti, quest'ultima, è strettamente legata ad una conoscenza approfondita ed articolata dei caratteri idrogeologici (piezometrie, permeabilità...), dei caratteri idrochimici di base (conducibilità, temperatura, pH...), dei caratteri inquinologici e sulla tipologia e distribuzione dei centri di pericolo nel territorio dominante. La conoscenza di dette caratteristiche, risulta essere la necessaria e quasi insostituibile premessa alla caratterizzazione della vulnerabilità, nella quale sono messi in evidenza tutta quella serie di elementi discriminanti, atti ad individuare la predisposizione di un acquifero e della sua copertura a ricevere e diffondere inquinanti. La procedura e la scelta dei parametri per la valutazione della vulnerabilità di un acquifero dipendono, in un determinato complesso idrogeologico, dal metodo che si vuole adottare per la valutazione della vulnerabilità e dai dati disponibili.

Una stima di vulnerabilità di una data area, è molto importante, non solo ai fini di gestione della risorsa idrica e quindi di pianificazione territoriale, ma anche ai fini di prevenzione (tramite il controllo e la previsione di fenomeni inquinati sia diffusi che puntuali) e di utilizzo operativo nel caso di emergenze.

## 2.2 Metodologie per la valutazione quantitativa della vulnerabilità

Lo scopo comune delle diverse metodologie di valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento, consiste nel permettere un confronto diretto, più o meno quantitativo, tra differenti situazioni idrogeologiche e di impatto antropico e, quindi, distinguere su una base comune e, per quanto possibile, non soggettiva, situazioni di potenziale pericolo. Sono state prese in considerazione le più recenti metodologie, basate sulla parametrizzazione di una serie di caratteristiche fisiche chimiche ed idrogeologiche del suolo e del sottosuolo. Tali metodi sono:

- **metodo DRASTIC**, (*Aller et Alii, U.S. Environmental Protection Agency, 1985–87*) si tratta di un Point Count System Model (PCSM), un sistema parametrico piuttosto sofisticato a punteggi e pesi che utilizza sette parametri: soggiacenza, infiltrazione efficace (o ricarica attiva dell'acquifero), litologia dell'acquifero, tipologia del suolo, pendenza della superficie topografica, composizione dell'insaturo, conducibilità idraulica dell'acquifero. Ad ognuno di tali parametri viene attribuito un punteggio (tra 1 e 10) predisposto su tabelle. Viene successivamente calcolato il prodotto del punteggio di ogni singolo parametro per i corrispondenti moltiplicatori compresi in due diverse linee di pesi (in alternativa) a seconda dell'uso del suolo (DRASTIC ordinario e DRASTIC agricolo). Il risultato è la somma dei prodotti che da un indice DRASTIC ed è compreso tra 23 per la situazione di minima vulnerabilità e 260 per la situazione di massima vulnerabilità. La metodologia proposta da Aller et Alii, ha l' indubbio pregio della completezza, specie riguardo all' elevato numero di parametri chiamati in gioco, alcuni dei quali, come la topografia e l' entità della ricarica, non sono in genere presi in considerazione negli altri metodi. Il metodo ha inoltre la caratteristica, comune agli altri metodi semi-quantitativi o quantitativi, di fornire un

risultato il più possibile oggettivo e, anche se potrebbero risultare discutibili i criteri con cui sono stati assegnati i punteggi e pesi dei vari parametri, sostanzialmente essi appaiono accettabili alla luce del confronto con i risultati ottenuti con altre metodologie. Anche se il metodo operativo appare sufficientemente semplice da applicare, rimane l'evidente difficoltà di avere a disposizione per tutte le zone di un territorio investigato, in particolar modo se molto vasto, una così grande mole di informazioni specifiche, specie riguardo alcuni parametri come il tipo di suolo e l'entità della ricarica. Inoltre, se il risultato sotto forma numerica permette un più preciso e oggettivo confronto del grado di vulnerabilità relativo nell'ambito dello stesso sistema idrogeologico o tra sistemi idrogeologici anche molto diversi e distanti tra loro, la mancanza di un'attribuzione del dato numerico ad un certo grado di vulnerabilità resta un handicap del metodo stesso

- **metodo SINTACS**, di derivazione DRASTIC (*Civita M. 1991*) differisce dal precedente per alcune sostanziali modifiche delle tabelle dei punteggi dei vari parametri (in particolare soggiacenza e infiltrazione efficace). Contiene un metodo originale di valutazione di quest'ultimo parametro; tiene conto di processi fondamentali quali la diluizione ed il rapporto diretto con le acque superficiali. Esso persegue la massima coerenza delle valutazioni con l'uso effettivo del territorio, utilizzando tre diverse linee di pesi in parallelo (situazione ordinaria, agricoltura a forte sviluppo chimico, collegamento alla rete drenante superficiale). Il valore finale dell'indice SINTACS viene omogeneizzato e percentualizzato. Per l'interpretazione, tale indice è stato suddiviso (non uniformemente) in sei classi di vulnerabilità.
- **metodo GOD**, (*Foster, 1987*) è di tipo RS (Rating System) e utilizza un numero minore di dati rispetto ai precedenti: il tipo di acquifero (artesiano, confinato oppure non confinato, con varie situazioni intermedie); litologia dell'insaturo (solo nel caso di acquifero non

confinato) e soggiacenza. Ognuno di questi parametri viene confrontato con apposite tabelle di punteggio; i punteggi (compresi tra 0 e 1) vengono moltiplicati tra loro al fine di ottenere l'indice GOD. La metodologia GOD appare più schematica del DRASTIC ed è di facile applicazione. La valutazione finale della vulnerabilità, inoltre, viene fornita non solo da un indice numerico, ma anche da una traduzione qualitativa dell'indice stesso, il che permette una più facile comprensione del significato del termine numerico. Le difficoltà applicative del metodo possono nascere dall'estremo dettaglio richiesto nell'individuazione della tipologia idraulica della falda acquifera, tipologia ricavabile solo dai dati derivanti dall'esecuzione di specifiche prove di pompaggio. La difficoltà di disporre in genere una sufficiente densità di tali dati su vaste estensioni di territorio può limitare notevolmente l'applicabilità del metodo in esame.

- **metodo MARCOLONGO e PRETTO**, si tratta di un RS (Rating System) che prevede l'impiego di quattro parametri: contenuto in sabbie e ghiaie dell'insaturo, soggiacenza, tipo di suolo, fornitura idrica. I punteggi vengono ricavati da tabelle e quindi sommati tra loro al fine di ottenere l'indice di vulnerabilità.
- **metodo SOTORNJKOVA e VRBA** si tratta di un RS (Rating System) impiegato per la valutazione della vulnerabilità intrinseca del bacino Cretaceo Ceco (SOTORNJKOVA e VBRA, 1987). I parametri utilizzati sono: permeabilità del suolo, soggiacenza, fluttuazione del livello piezometrico durante il ciclo idrologico annuale e trasmissività dell'acquifero. Ognuno di questi parametri viene riportato per intervalli di valore in apposite tabelle che forniscono il punteggio corrispondente. Tali valori vengono sommati tra loro per ottenere l'indice di vulnerabilità.
- **metodo BELGA** (Goossens M. & Van Damme M. 1987), si tratta di un MS (Matrix System) studiato ed applicato nel territorio delle regioni fiamminghe del Belgio (Ministry of the Flemish community, 1986;

*Goossenes & Van Damme, 1987*). Il metodo necessita di una quantità di parametri ancora minore dei precedenti: litologia dell'acquifero (non sono presi in considerazione molti litotipi), soggiacenza (considerata solo in caso di mancanza di suolo di copertura). Questi parametri vengono comparati con una matrice che fornisce direttamente il valore dell'indice di vulnerabilità. A ciascun valore dell'indice corrisponde una specificazione di tipo quantitativo.

Il metodo è alquanto impreciso nel dettagliare i vari gradi di vulnerabilità, specie riguardo le fasce più alte. Questo deriva, tra l'altro, dalla decisione degli Autori di non prendere in considerazione la presenza di una copertura impermeabile inferiore ai 5 metri di spessore del non saturo.

- **metodo CEE**, scelto per dare valutazioni della vulnerabilità di vaste aree della Comunità Europea (*Meinardi C., 1982; Zampetti, 1983*). Si basa su relazione analogica (AR) che valuta il solo tempo di transito tra la superficie del suolo e l'acquifero sottostante. Dopo un test in territorio olandese (*Meinardi, 1982*), questo metodo non è stato più utilizzato in ambito CEE.
- **metodo GNDICI-CNR**, è un metodo di valutazione e cartografia della vulnerabilità intrinseca e quindi integrata, basato sulla zonazione per aree omogenee (valutazione per complessi e situazioni idrogeologiche CSI). Esso deriva in via diretta dalla metodologia originaria francese (*Albinet e Margat, 1970*), contiene un buon numero di integrazioni e di specifici adattamenti alla realtà idrogeologica italiana. Si applica utilizzando una legenda di confronto (*AA.VV., 1988; Civita M., 1990*). Questa metodologia utilizza un certo numero di indici litologici, strutturali, piezometrici e idrodinamici non quantizzati che identificano situazioni diverse. (*Civita M. 1990*).

Le metodologie descritte, rappresentano solo esempi del notevole fermento scientifico che da qualche anno sta interessando questo campo. Tale fermento deriva sia da una nuova sensibilità nel campo della protezione delle risorse idriche, sia dalla necessità di una standardizzazione e validazione a livello nazionale e internazionale dei concetti e dei criteri per la valutazione della vulnerabilità.

### 2.3 Descrizione del Metodo DRASTIC

Il metodo DRASTIC, è stato concepito dagli autori in modo da fornire una valutazione quantitativa del grado di vulnerabilità e non qualitativa, nel senso che, attraverso gli indici numerici ottenuti, è possibile comparare la vulnerabilità tra aree diverse, ma non qualificarla in senso assoluto come bassa o alta. I più importanti fattori cartografici che controllano la vulnerabilità degli acquiferi, secondo gli Autori, sono riportati nella Tabella 2.1.

<b>D</b>	<i>Depth to Water</i>	<b>Soggiacenza</b>
<b>R</b>	<i>(Net) Recharge</i>	<b>Infiltrazione efficace</b>
<b>A</b>	<i>Aquifer Media</i>	<b>Acquifero</b>
<b>S</b>	<i>Soil Media</i>	<b>Suolo</b>
<b>T</b>	<i>Topography</i>	<b>Topografia</b>
<b>I</b>	<i>Impact of the Vadose Zone</i>	<b>Zona Non Saturata</b>
<b>C</b>	<i>Conductivity(Hydraulic) of the aquifer</i>	<b>Conducibilità Idraulica dell' acquifero</b>

Tabella 2.1 Fattori del metodo DRASTIC

Il termine DRASTIC rappresenta appunto un acronimo derivante dall' iniziale dei singoli fattori. Tali fattori possono essere suddivisi in:

- **statici:** caratteri tessiturali del suolo, non saturo, acquifero (saturo), topografia, conducibilità idraulica;
- **dinamici:** soggiacenza, infiltrazione efficace.

Il sistema DRASTIC, inoltre, si compone di 3 parametri significativi:

- *Weights* o “**Pesi**”
  - *Ranger* o “**Campi**”
  - *Ratings* o “**Punteggi**”
- “**Pesi**”: ciascun fattore DRASTIC, viene valutato rispetto agli altri secondo la sua importanza relativa, attribuendogli un “peso” relativo variabile tra 1 e 5 in funzione dell’ effettiva possibilità che quel parametro ha di condizionare le caratteristiche di vulnerabilità del sistema. Nel caso si vada ad applicare il metodo in zone ad alta attività agricola, gli autori hanno sviluppato il DRASTIC “agricolo” che differisce dal precedente per alcuni pesi dei fattori
  - “**Campi**”: ciascun fattore DRASTIC, viene suddiviso in “campi” o intervalli di valori, ciascuno dei quali ha un certo impatto sulla vulnerabilità.
  - “**Punteggi**”: a ciascun campo di ciascun fattore DRASTIC, viene assegnato un “punteggio”, variabile da 1 a 10 .

Con tale metodo è possibile calcolare un valore numerico, **Indice Drastic ( I D)**, utilizzando la seguente equazione:

$$I D = D_r * D_w + R_r * R_w + A_r * A_w + S_r * S_w + T_r * T_w + I_r * I_w + C_r * C_w \quad (1)$$

Dove **r** = “punteggio”

**w** = “peso”

Il prodotti, di ogni singolo parametro tra pesi e punteggi assegnati, vengono sommati ottenendo l’ indice DRASTIC variabile da un minimo di 23 ad un massimo di 230.

### 2.3.1 Parametri del Metodo DRASTIC

**Soggiacenza (D):** indica la profondità dal piano campagna della tavola d'acqua nel caso di acquiferi freatici, o del tetto dell'acquifero stesso nel caso di falde in pressione. Tale profondità corrisponde alla distanza che un inquinante deve percorrere dalla superficie attraverso il non saturo per raggiungere l'acquifero (tale parametro perde evidentemente di significato nel caso in cui un inquinante venga immesso direttamente in falda). Maggiore è la soggiacenza, maggiore è il tempo di arrivo dell'inquinante in falda e maggiori saranno quindi i processi di attenuazione dell'inquinante stesso (diluizione, dispersione, filtrazione meccanica, volatilizzazione, scambio ionico, adsorbimento, ecc.). Ne consegue che più alto è il valore della soggiacenza, minore è il punteggio assegnato e quindi minore è la vulnerabilità all'inquinamento della falda. La soggiacenza è tuttavia un parametro dinamico, variabile nel tempo (variazioni annuali, stagionali, climatiche) per cui con essa varia anche il grado di vulnerabilità.

**Infiltrazione efficace (R):** è intesa come la quantità di acqua meteorica di infiltrazione che effettivamente raggiunge l'acquifero. È importante poiché l'acqua rappresenta l'agente di trasporto dei contaminanti dalla superficie alla falda e quindi tanto maggiore è la quantità d'acqua, maggiore è la possibilità di trasporto degli inquinanti. La ricarica dell'acquifero è più rapida e la vulnerabilità è maggiore in aree con falde libere; le falde in pressione, che sono in parte protette dall'inquinamento superficiale da strati in genere a bassa permeabilità, possono avere la zona di ricarica anche in aree molto lontane.

**Acquifero (A):** l'acquifero esercita il controllo sulla lunghezza del percorso seguito dall'inquinante (da cui dipendono i fenomeni di autodepurazione) e sulla direzione seguita esso (influenzata dalle variazioni granulometriche e dall'andamento delle fratture). In genere maggiore è il diametro dei granuli dell'acquifero, maggiore è la permeabilità e di conseguenza, maggiore risulta la vulnerabilità.

**Suolo (S):** comprende la porzione superficiale della zona non satura, caratterizzata da un'intensa attività biologica. Influisce sia sulla quantità d'acqua

che può filtrare e raggiungere e raggiungere i livelli sottostanti (e quindi sulla possibilità di un inquinante di muoversi verticalmente), sia, dove è abbastanza potente, sulla autodepurazione dell' inquinante. In genere minore è la granulometria del suolo e maggiore è la percentuale di argilla, quindi maggiore è l'azione di attenuazione dell' inquinante e minore è la vulnerabilità.

**Topografia (T):** le caratteristiche morfologiche del territorio, cioè la sua pendenza, influiscono sul tempo di stazionamento e sulla velocità di flusso dell' acqua piovana che cade sul terreno, determinando la maggiore o minore possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche e degli inquinanti. Ne consegue che minore è la pendenza della superficie topografica, maggiore è la vulnerabilità.

**Non Saturo (I):** chiamato anche zona vadosa, è la zona compresa tra il suolo e la superficie dell' acquifero, dove agiscono processi quali biodegradazione, filtrazione meccanica, reazioni chimiche, dispersione, ecc. Dal punto di vista della vulnerabilità, costituisce un elemento di protezione dell' acquifero la cui efficacia, in termini litostratigrafici, dipende dalla permeabilità degli strati di materiale che la compongono. In tali condizioni, la zona vadosa, viene classificata valutandone la sua composizione, in funzione della potenza dei tratti del profilo stratigrafico. La zona non satura influisce anche sulla direzione seguita dall' inquinante per giungere alla falda.

**Conducibilità Idraulica dell' Acquifero (C):** agisce solo dopo che l' inquinante ha raggiunto la falda. Controlla la velocità con cui l' acqua fluisce nell' acquifero sotto un dato gradiente idraulico. Essa dipende da numerosi fattori, quali la granulometria, la disposizione reciproca dei granuli, la presenza o meno di più piani di stratificazione, ecc. La conducibilità idraulica influisce inoltre sui processi di filtrazione e migrazione nella zona satura di un inquinante. E' evidente che ad un'alta conducibilità idraulica, corrisponde una elevata vulnerabilità.

## **Capitolo 3**

# **METODOLOGIA GIS NELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE**

### **3.1 GIS: definizione ed applicazioni**

I Sistemi Informativi Geografici (GIS – Geographical Information Systems) sono stati sviluppati rapidamente negli ultimi dieci anni ( *Bregt and Bulens, 1998*). Un GIS è definito come un sistema per inserire, archiviare, trattare, gestire, analizzare e visualizzare dati alfa-numeriche georeferenziati ( *Goodchild, 1996*). Il GIS costituisce un mezzo per rappresentare il mondo reale tramite layers integrati di informazioni spaziali (Corwin, 1996). L'informazione geografica può essere rappresentata in GIS da "oggetti" (*objects*) e "campi" (*fields*). Tale metodologia integra ricerche, analisi statistiche e permette la memorizzazione dei dati per la generazione di analisi geografiche corredate da tabelle, documenti e mappe.

Nella presente ricerca, il GIS è stato applicato alle problematiche legate alle risorse idriche sotterranee, poiché in grado di gestire un grosso volume di dati spaziali e temporali. Si è ottenuto così un modello di database idrogeologico, che ha permesso di valutare la vulnerabilità dell'acquifero esaminato all'inquinamento. Questo tipo di applicazione della tecnologia GIS, è di supporto ai modelli numerici di simulazione per lo studio dei flussi delle acque sotterranee e del trasporto dei contaminanti.

#### **3.1.1 Il software ArcGIS**

Il software utilizzato è ArcGIS 8.3, di produzione dalla ESRI, progettato per lavorare su un personal computer o in una rete distribuita. ArcGIS comprende nuove tecnologie nel campo GIS come il RDBMS (relational database management systems) il quale permette di creare relazioni tra tabelle di attributi in un database. ArcGIS è il primo software GIS realizzato dalla ESRI con una concezione COM-compliant ( modello accondiscendente). Attraverso il modello Component Object

(COM), ArcGIS è in grado di comunicare con altri software COM-compliant come per esempio Word, Excel e Internet Explorer.

### 3.1.2 Struttura di un Geodatabase

ArcGIS utilizza sistemi di gestione di database relazionali (relational database management systems – RDBMS), strutturati per archiviare grossi volumi di dati. Una caratteristica della tecnologia RDBMS è la capacità di immagazzinare dati in un particolare tipo di campo (*blob field*), che può archiviare tutti i tipi di dati, dai più tradizionali (dati alfa-numeric) a files ed immagini. ArcGIS utilizza tale campo per archiviare le geometrie delle varie “features”. Un dato “Feature Class”, è descritto dai suoi “attributi”, i quali popolano un campo di una tabella, così come la sua forma è riportata in un altro campo della medesima tabella (Whiteaker and Maidment, 2004). In un database, a ciascun oggetto viene attribuito un codice “ID”, che permette di non ripetere il dato e di collegare questo a vari attributi inseriti anche in altre tabelle, tramite le relazioni (*relationship*). Le seguente terminologia è usata per descrivere le categorie dei dati vettoriali nella struttura di un Geodatabase (MacDonald, 1999) (Fig. 3-1).

**Geodatabase:** è un “contenitore” di un set di dati spaziali e di strumenti; esso include feature dataset, networks geometrici, relationships classes, feature classes indipendenti e tabelle, strumenti e dati raster.

**Feature class:** è una collezione di *oggetti geografici* in un format tabulare che hanno lo stesso comportamento e stessi attributi. Tutte le feature classes hanno un campo chiamato “Shape” (forma), che corrisponde a linee, punti o poligoni.

**Object class:** è una collezione di *oggetti non- spaziali* in un format tabulare (feature classes o tabelle), che hanno lo stesso comportamento e gli stessi attributi. Ciascuna object class ha un campo chiamato “ObjectID”, denominato anche FID (FeatureID) o OID (ObjectID).

**Feature dataset:** è una collezione di feature classes che hanno gli stessi riferimenti spaziali. I Feature datasets possono contenere relationship classes e networks geometrici, ma non tabelle.

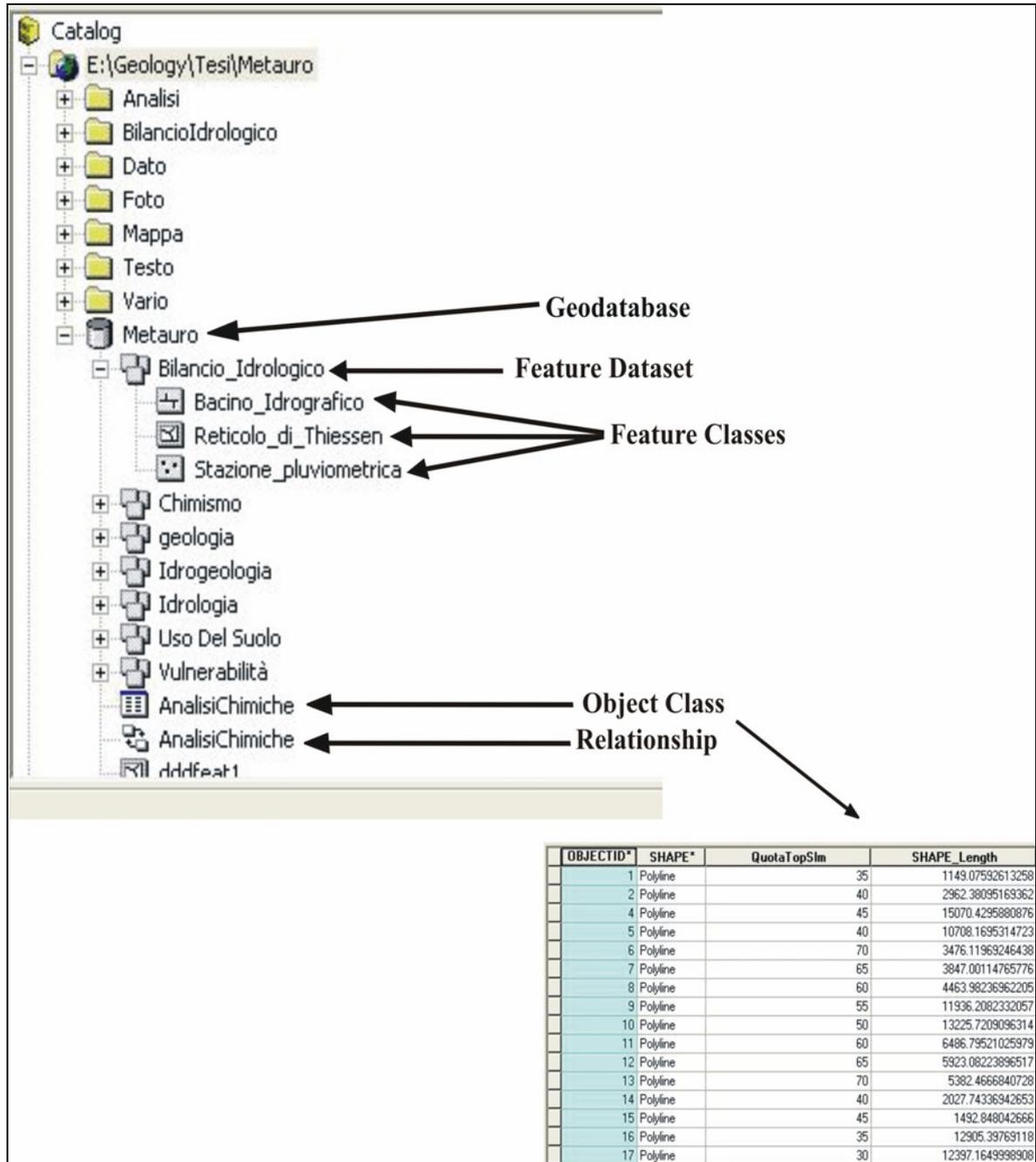


Figura 3-1 Struttura del geodatabase creato nella presente tesi tramite il software ArcGIS 8.3

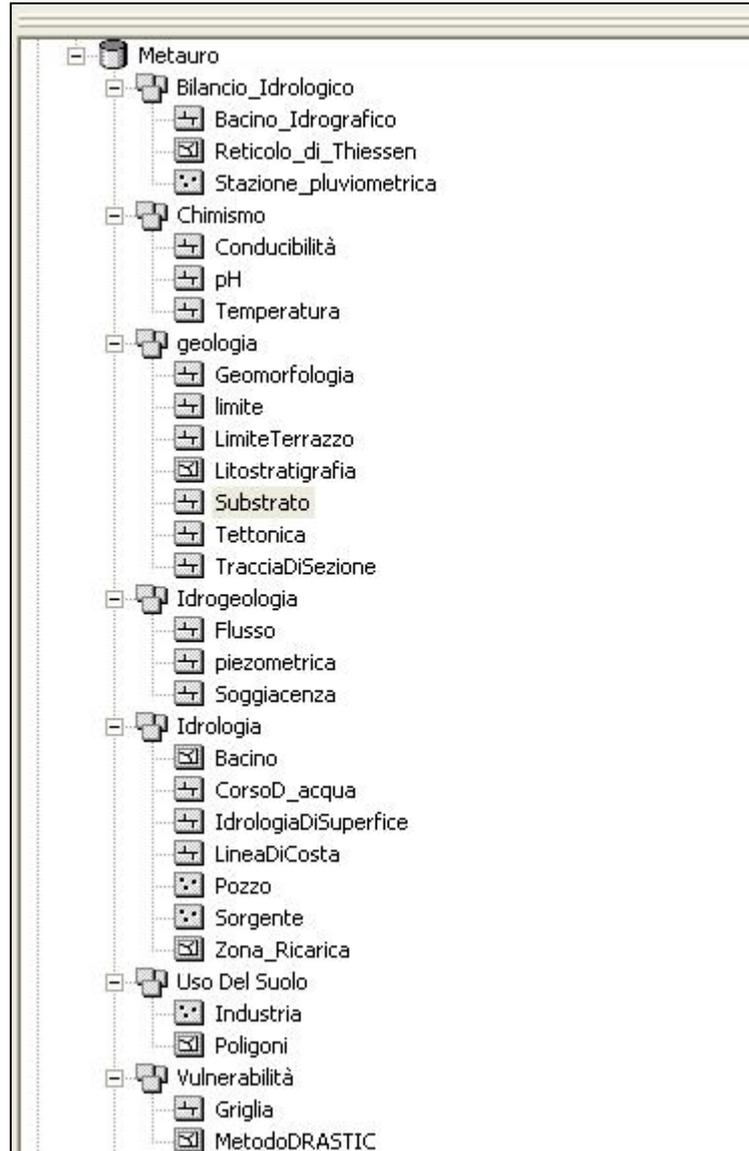
**Relationship class:** è una relazione tra due object classes (feature classes o tabelle). Esso definisce un legame stabilito tra due campi chiave (key fields) appartenenti a feature classes differenti.

**Network Feature:** è una serie di punti o linee partecipanti in un network geometrico.

### 3.1 Modello Geodatabase per le risorse idriche

Il modello di geodatabase, proposto nella presente ricerca, è stato strutturato in funzione dei dati idrologici ed idrogeologici a disposizione, al fine di poterli gestire, analizzare e visualizzare nella maniera più efficiente possibile per raggiungere gli obiettivi. Le varie mappe sono state prima redatte in cartaceo, poi acquisite tramite scanner digitale, georeferenziate ed infine editate, dando simultaneamente a ciascun oggetto le informazioni necessarie, così da popolare le tabelle attributi legate alle feature classes. A tale scopo sono state progettate sette feature datasets suddivisi in tematiche (Fig 3-2).

Il primo feature dataset, è stato creato per inserire dati concernenti il bilancio idrologico, infatti è denominata Bilancio idrologico; include tre feature classes chiamati Bacino idrografico, che utilizza come forma (*shape*) la polilinea, Reticolo di Thiessen, il quale shape è il poligono ed infine Stazione Pluviometrica, che utilizza come forma il punto. Il feature dataset Chimismo, contiene i dati riguardanti i parametri chimico-fisici delle acque sotterranee, misurati in campagna; comprende tre feature classes, Conducibilità, pH e Temperatura, tutte e tre utilizzano la forma polilinea. Le caratteristiche geologiche ed altri dati riguardanti questa tematica, sono archiviate nel feature dataset Geologia, che mostra sei feature classes con forma polilinea, inerenti alla geomorfologia, geologia, limite della piana alluvionale e tracce di sezione, ed un feature class che ha per shape il poligono, con la quale è stata costruita la carta geolitologica.



**Figura 3-2 Modello Geodatabase applicato alle risorse idriche sotterranee della bassa valle alluvionale del fiume Metauro**

Il feature dataset Idrogeologia, raggruppa dati legati alle acque sotterranee in tre feature classes, ovvero Flusso, che include le direzioni principali di deflusso e gli spartiacque sotterranei, Piezometrica, che contiene i dati sulle piezometrie ricostruite per i due periodi di censimento e Soggiacenza, che include i relativi dati inerenti agli stessi periodi. Lo shape utilizzato per queste tre feature classes è la polilinea.

Le informazioni legate all' idrologia di superficie, sono archiviate nel feature dataset Idrologia, che comprende sette feature classes: tre con forma polilinea Corso d'acqua, che riguarda i fiumi di tutto il bacino del Metauro, Idrologia di superficie,

che contiene i tratti fluviali esclusivamente della parte di bacino studiato e Linea di costa, il cui nome spiega già il contenuto; due feature classes con shape poligono ovvero Bacino, che delimita i bacini superficiali e Zona Ricarica, che individua un area del settore in studio adibita a campo pozzi, per ricaricare la falda di subalveo ed infine due feature classes che utilizzano come forma il punto, per archiviare tutti i sondaggi geognostici e pozzi in genere, utilizzati per la ricerca e le sorgenti presenti nel territorio. Il feature dataset Uso del suolo, contiene informazioni inerenti questa tematica; comprende due feature classes, una con forma poligono, per suddividere il territorio in funzione degli utilizzi ed una con punti, per localizzare i centri produttivi.

Nell' ultimo feature dataset, Vulnerabilità, sono stati inseriti i dati necessari per la valutazione di questa; include due feature classes, una che utilizza la polilinea, con la quale è stata creata una griglia di base, al fine di suddividere il territorio in maglie uniformi ed una che utilizza i poligoni, ognuno dei quali corrisponde ad una maglia, alla quale sono stati assegnati dei valori per il calcolo finale dell' indice DRASTIC.

In coda alla struttura del database, sono visualizzate le tabelle create al fine di associare ad oggetti, con un codice ID, ulteriori attributi tramite un legame che li mette in relazionale (relationship). Le relazioni essenzialmente sono di due tipi, uno ad uno (one to one) , ovvero ad un attributo corrisponde un solo oggetto (e viceversa) oppure uno a molti (one to many), ovvero ad un attributo corrispondono più oggetti ciascuno con un ID proprio. (Fig 3-3)

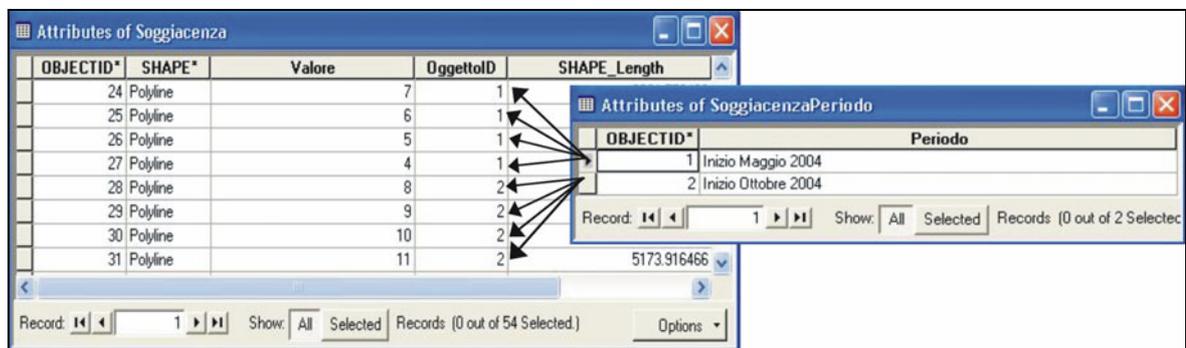
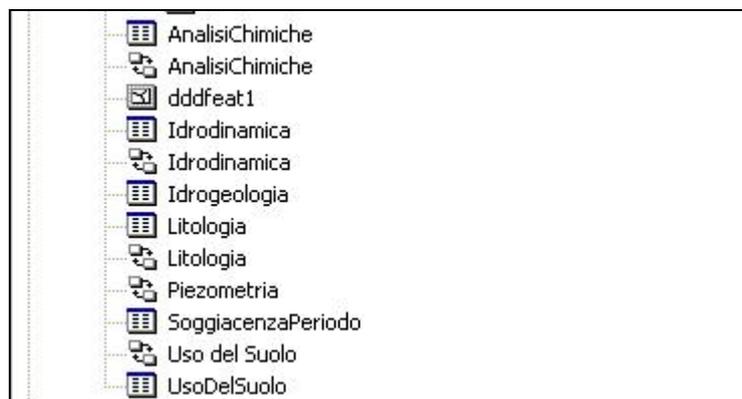


Figura 3-3 Relationship “one to many”

Una delle tabelle create (Fig.3-4) contiene analisi chimiche disponibili per alcuni pozzi; tali analisi sono state collegate a questi ultimi tramite la relationship

Analisi chimiche. La tabella Idrodinamica, legata alla tabella attributi della feature class Flusso, contiene informazioni riguardanti la distinzione tra deflussi e spartiacque, insieme al periodo di riferimento. La tabella Litologia, messa in relazione con i poligoni creati nella feature class Litostratigrafia, descrive le varie litologie e ne indica l'età. La tabella Soggiacenza Periodo, relazionata alla feature class Soggiacenza (Fig. 3-3), ne indica il periodo di riferimento. Gli utilizzi dell'uso del suolo, popolano la tabella omonima, la quale è relazionata ai poligoni della feature dataset Uso del suolo.



**Figura 3-4** Tabelle attributi e Relationship class contenute nel modello di geodatabase progettato nella presente ricerca

## Capitolo 4

### LA BASSA VALLE DEL FIUME METAURO

#### 4.1 Inquadramento geografico dell' area in esame

La bassa valle del fiume Metauro, è ubicata nell'Italia centro- orientale a ridosso della costa adriatica; è compresa nella regione Marche e più precisamente, ricade nella provincia di Pesaro – Urbino (Fig 4-1).

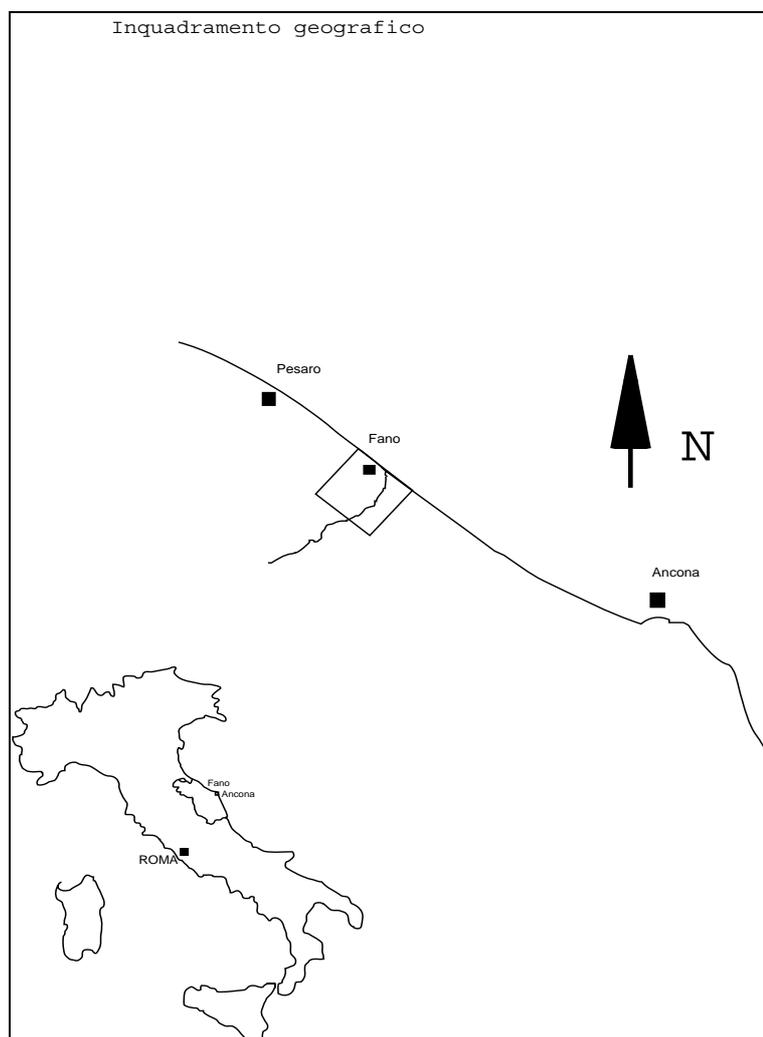
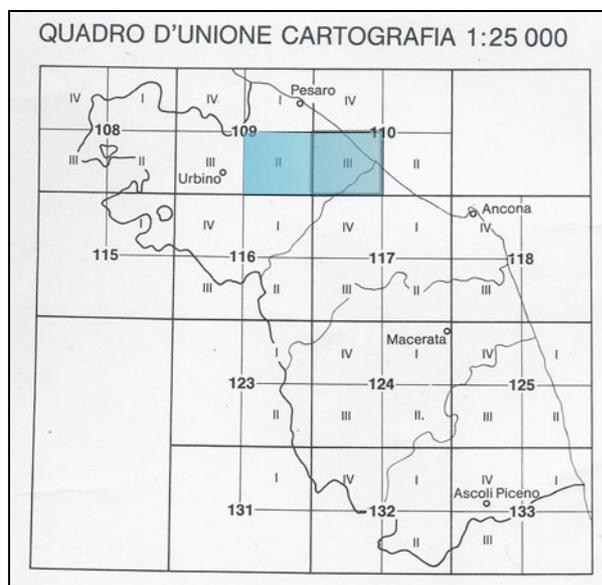


Fig 4-1 Inquadramento Geografico

Considerando il quadro d' unione della carta Topografica della Regione Marche in scala 1:25000, procedendo dalla costa verso l' interno, la maggior parte dell' area in esame, è compreso nel FOGLIO 110 QUADRANTE III, mentre una

più piccola parte, quella più interna, è compresa nel FOGLIO 109 QUADRANTE II. (Fig. 4-2).



**Fig 4-2 Quadro d'Unione della Carta Topografica della Regione Marche, scala 1: 25 000**

I comuni che insistono sul tratto di valle in esame sono: Fano, San Costanzo, Piagge, Montemaggiore al Metauro, Saltara e Cartoceto (Fig.4-3).



**Fig 4-3 Confini Comunali**

La zona è facilmente raggiungibile sia da Nord che da Sud percorrendo l'autostrada A14 e uscendo al casello di Fano o, in alternativa, percorrendo la Strada Statale 16. Da qui l'area è percorribile interamente in maniera longitudinale tramite la Strada Statale 73bis in direzione Roma, oppure tramite la vecchia statale Via Flaminia che borda la valle nel lato più settentrionale. (Fig. 4-4)



Fig. 4-4 Cartina Stradale inerente all' area in esame

## 4.2 Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico il sito in esame è costituito dalle formazioni appartenenti alla successione Umbro-Marchigiana ( Fig. 4-5); nella zona a monte affiorano i terreni triassici più antichi mentre alla foce quelli più recenti pliocenici.



In particolare, l'area in studio é caratterizzata dalle formazioni del ciclo miocenico, pliocenico e da depositi quaternari.

I depositi del ciclo miocenico affioranti, sono localizzati in sinistra idrografica in una fascia compresa tra Rosciano, Monte Castagneto e Rio Bevano e sono costituiti dai seguenti depositi e formazioni:

- **depositi arenacei in strati spessi e massicci di ambiente euxinico** (Messiniano medio) che sono costituiti da torbiditi di provenienza alpina, rappresentati principalmente da una associazione arenacea, in strati da spessi a massicci, con associate intercalazioni pelitico-arenacee, danno origine a terreni permeabili.
- **depositi pelitico-arenacei** (Messiniano superiore) che sono costituiti da torbiditi pelitico-arenacee di provenienza alpina, in strati sottili e medi, danno origine a terreni variamente permeabili.
- **Schlier** (Tortoniano-Langhiano) costituito da alternanze di marne e marne-argillose, con una bioturbazione piuttosto intensa, danno origine a terreni impermeabili.
- **formazione gessoso-solfifera** (Messiniano) costituita dall'alternanza di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti laminate, marne bituminose, calcari solfiferi e listati, danno origine a terreni variamente permeabili.

I depositi del ciclo pliocenico affiorano in tutta la zona collinare, in destra idrografica interamente, in sinistra idrografica in una fascia tra il torrente Arzilla e i depositi alluvionali del fiume Metauro e ad Est del fosso Rio Bevano. Sono costituiti da:

- **depositi pelitici** (Pleistocene inferiore-Pleistocene medio); sono formati da una alternanza di peliti marnose grigio-azzurre massive, più o meno siltose in sottili e sottilissimi strati, all'interno dei quali si possono ritrovare straterelli di silt o sabbie finissime fittamente laminate, danno origine a

terreni impermeabili.

- **depositi pelitici con intercalazione pelitico-arenace** (Pleistocene inferiore); sono costituiti da strati di sabbia granulometricamente fine e da strati più spessi di pelite. Gli strati sabbiosi si presentano massivi poiché totalmente omogenizzati dalla bioturbazione; il maggior grado di quest'ultima rispetto a quello dei sedimenti di off-shore dimostra che l'unità in esame si è deposta in ambiente di transizione, danno origine a terreni variamente impermeabili.
- **depositi sabbiosi in strati spessi e massicci** (Pliocene inferiore); sono costituiti da sabbie con colorazione giallo-avana e granulometria da media a molto fine con strutture trattive, danno origine a terreni permeabili.

I depositi quaternari formano la vasta pianura alluvionale fino alla zona di raccordo con le adiacenti zone collinari sono costituiti da sabbie, ghiaie e limi in alternanza, depositati e rierosi a formare i depositi terrazzati.

### 4.3 Assetto tettonico

Le ricerche sulla successione plio-pleistocenica condotte sul bacino quaternario marchigiano (*Nanni ed altri, 1986*), hanno evidenziato come anche l'evoluzione della valle alluvionale del Fiume Metauro, insieme alle altre valli marchigiane, sia in relazione con la tettonica plio-pleistocenica. La tettonica quaternaria è infatti responsabile dell'assetto morfostrutturale di tale successione, sulla quale insistono i depositi alluvionali terrazzati. Tale assetto si è sviluppato nelle seguenti fasi tettoniche (*Nanni ed altri, 1968*):

- fase principale della tettonogenesi appenninica mediopliocenica, di tipo compressivo. Si formano i principali elementi strutturali e si ha la parziale emersione dell'area, ad eccezione forse delle zone più depresse. Si imposta il futuro assetto strutturale del bacino quaternario;

- fase plio-pleistocenica durante la quale si ha il collassamento dell' area da sud verso nord, probabilmente lungo linee tettoniche attuate nella fase precedente. Al passaggio plio-pleistocene si ripristinano in tutta l' area condizioni di sedimentazione marina. L' assetto morfostrutturale è caratterizzato da una depressione appenninica articolata da alti intrabacinali NO-SE e da alti antiappenninici bordati da faglie trasversali;

- fase di sollevamento dell' area, iniziata nel pleistocene inferiore. L' attuale zona tra i fiumi Esino e Metauro, era completamente emersa, mentre in quella tra i fiumi Esino e Tronto persistevano condizioni di sedimentazione marina. Quest' ultima zona emerge probabilmente nel pre-Crotoniano. Il sollevamento di tutta l' area continua fino a portare i termini regressivi a quote massime di circa 500 m sul livello del mare.

L' attuale configurazione morfostrutturale conferisce a tutta l' area un assetto simile a quello ad *horst e graben*, nel quale i *graben* corrispondono ai principali assi vallivi. In particolare lo scenario strutturale dell'intero bacino in esame é caratterizzato, da pieghe ad andamento NW-SE, interessate da faglie appenniniche ed antiappenniniche. Infatti dalla bibliografia risulta che l'area oggetto di studio, presenta due sistemi di faglie, di grande estensione, in destra idrografica che hanno un andamento circa parallelo all'asse fluviale ed un sistema più complesso di faglie, poste in corrispondenza delle colline in sinistra idrografica, con un trend circa trasversale all' asse vallivo (Fig. 4-5) ; queste ultime hanno causato un innalzamento della zona tra Rosciano, Monte Castagneto e Rio Bevano e il conseguente affioramento dei terreni miocenici (formazione gessoso-solfifera, ecc.). Anche la dinamica fluviale, soprattutto nella parte medio-terminale, viene influenzata dal sollevamento della sella Urbino Fontecorniale-Novilara, che causa la migrazione dell'asta fluviale verso SE.

## 4.4 Caratteristiche geomorfologiche

In generale, dai dati bibliografici, si evince che la tettonica trasversale non solo ha condizionato la sedimentazione plio-pleistocenica (AA.VV., 1986; Nanni & alii, 1986), ma ha anche sensibilmente influito sull'evoluzione geomorfologica dell'area collinare marchigiana (CAPEDER, 1907) ed in particolare delle pianure alluvionali. Le caratteristiche geomorfologiche del territorio in esame rispecchiano fedelmente la natura litologica dei terreni; infatti risultano pianeggianti le aree costituite dai depositi alluvionali recenti, più o meno acclivi quelle costituite da terreni stratificati geologicamente più antichi.

Debole acclività e morfologia più dolce, con vallecole più ampie, caratterizzano le aree con terreni argillosi, mentre in corrispondenza dei terreni arenacei si riscontra una maggiore acclività, con presenza di pareti ripide, bruschi salti morfologici e vallecole più corte e strette.

L'elemento morfologico caratterizzante l'area, è invece costituito dai depositi alluvionali terrazzi del pleistocene medio superiore e dell'olocene, presenti nel IV, III e II ordine (Fig 4-5). I corsi d'acqua, erodendo nel tempo i depositi alluvionali nei quali scorrono, danno una particolare morfologia alle valli alluvionali di appartenenza. Si generano infatti, in sinistra ed in destra idrografica, delle scarpate create dalle incisioni fluviali, che separano depositi alluvionali di età differenti, poste a varie quote rispetto a quella del fiume. Questa morfologia a "gradoni" prende il nome di terrazzi alluvionali, ai quali viene attribuito un ordine in funzione della quota e della distanza rispetto al corso d'acqua che li ha originati. Il primo ordine, in genere viene dato al terrazzo più antico, ovvero quello ubicato a quota maggiore rispetto agli altri e più distante dal corso d'acqua. L'ordine più elevato è attribuito ai depositi più recenti, ovvero gli ultimi ad essere erosi dal fiume.

Nella pianura alluvionale del Metauro, I vari ordini di terrazzo si ritrovano conservati principalmente in sinistra idrografica con una predominanza areale del III ordine, mentre il II ordine, quello più antico, si trova solo in lembi di limitata

estensione ai bordi della pianura, sempre in sinistra idrografica; i depositi del terrazzo del IV ordine formano le pianure alluvionali attuali (Fig. 4-6).



**Fig. 4-6** Depositi alluvionali del terrazzo di IV ordine (Pleistocene medio superiore – Olocene)

In generale, questo scenario si riscontra nella maggior parte delle pianure alluvionali marchigiane: asimmetria dei bacini idrografici con il fianco in destra idrografica delle valli normalmente più esteso; depositi alluvionali molto estesi in sinistra idrografica poco sviluppati o assenti in destra; morfologia dolce nei versanti in sinistra idrografica, piuttosto ripida in quelli in destra; alluvioni terrazzate conservate in sinistra idrografica, rari lembi in destra. (Fig. 4-7 ).

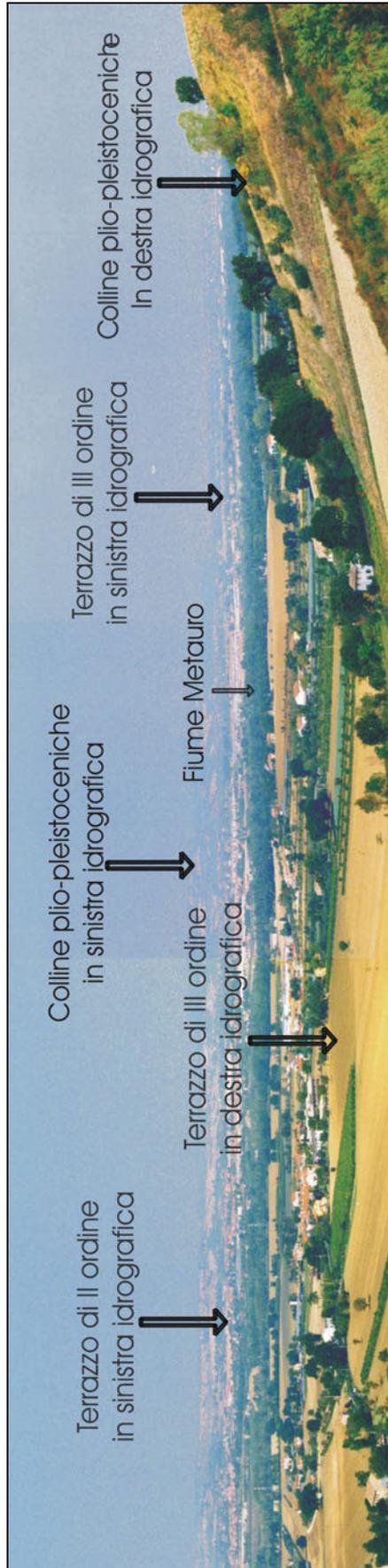


Figura 4-7 Foto panoramica della bassa valle alluvionale del fiume Metauro, in cui vengono indicati i vari ordini di terrazzo

Un altro aspetto geomorfologico da mettere in evidenza è l' incisione spinta dell' alveo fluviale attuale. Il potere incisivo del fiume va aumentando a causa dell' antropizzazione; tale fenomeno, in particolar modo, potrebbe essere attribuito alla presenza di alcuni sbarramenti utilizzati per la produzione di energia elettrica situati a monte del tratto fluviale che rientra nell' area in studio. In alcuni tratti, il corso d' acqua, ha inciso l' alveo fino a rinvenire il substrato argilloso. (Fig 4-8 )



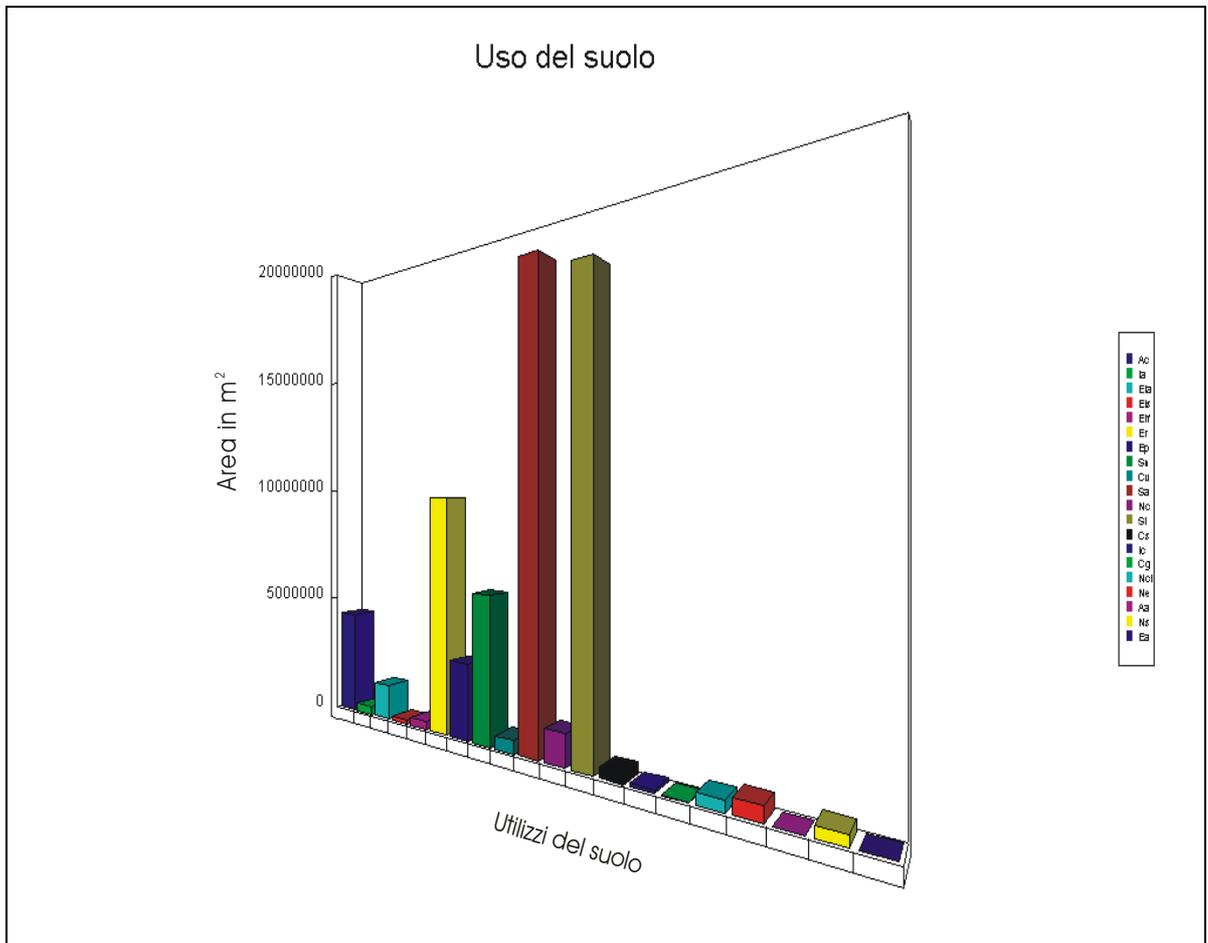
**Fig. 4-8** Affioramento del substrato plio-pleistocenico, causato da eccessiva erosione in alveo del Fiume Metauro.

## Capitolo 5

# GESTIONE DEL TERRITORIO

### 5.1 Uso del suolo

Pur essendo costituita da una grossa percentuale di aree coltivabili, la bassa valle alluvionale del fiume Metauro, presenta nel suo complesso un elevato grado di antropizzazione (Fig. 5-1). Utilizzando la metodologia GIS, è stato possibile interrogare il software al fine di diagrammare le aree totali dei vari utilizzi del suolo, mettendo in evidenza i rapporti tra di essi (Fig.5-2).



**Figura 5-2** Diagramma dei rapporti areali tra i vari utilizzi del suolo della bassa valle del fiume Metauro, ottenuto tramite l' utilizzo del GIS



Dall' analisi del diagramma (Fig. 5-2) risulta evidente che, la percentuale maggiore dell' area totale, è interessata da arboreo (**Sa**), di poco inferiore è invece, la quantità di area che viene utilizzata per seminativo di tipo irriguo (**Si**); circa 10 000 000 di m<sup>2</sup> di suolo risultano essere interessati dagli edificati residenziali (**Er**). Andando verso i valori più bassi delle ordinate, un area totale poco più di 5 000 000 di m<sup>2</sup>, è destinata a seminativo non irriguo (**Sn**). Un area inferiore ai 5 000 000 di m<sup>2</sup>, risulta essere interessata dai corsi d'acqua e dai canali (**Ac**). L' edificato produttivo (**Ep**), ovvero l' area destinata all' uso industriale, occupa circa 3 000 000 di m<sup>2</sup> all' interno della zona presa in esame. Più di 2 000 000 di m<sup>2</sup> sono interessati da una rete stradale (**Eia**), che comprende strade principali e secondarie.

Di particolare interesse, anche se in percentuale minore rispetto al totale, è l' area coperta da attività estrattiva (**Nc**), di poco inferiore ai 2 000 000 di m<sup>2</sup>. L'attività estrattiva, ovvero cave attive o in disuso, si concentra principalmente lungo l' asta fluviale (Fig 5-3), dove vengono prelevate principalmente ghiaie e sabbie, utilizzate come materiale per la costruzione. I valori areali più bassi, quelli inferiori ad 1 000 000 di m<sup>2</sup>, sono distribuiti più o meno uniformemente tra vari utilizzi: incolto con alberi (**ia**), autostrade (**Eis**), ferrovie (**Eif**), vigneti (**Cv**), serre e vivai (**Cs**), incolto cespugliato (**ic**), frutteti (**Cg**), laghi di cava (**Ncl**), aree in erosione (**Ne**), bacini artificiali (**Aa**), spiagge (**Ns**) , attrezzature ricreative e turistiche (**Ea**).

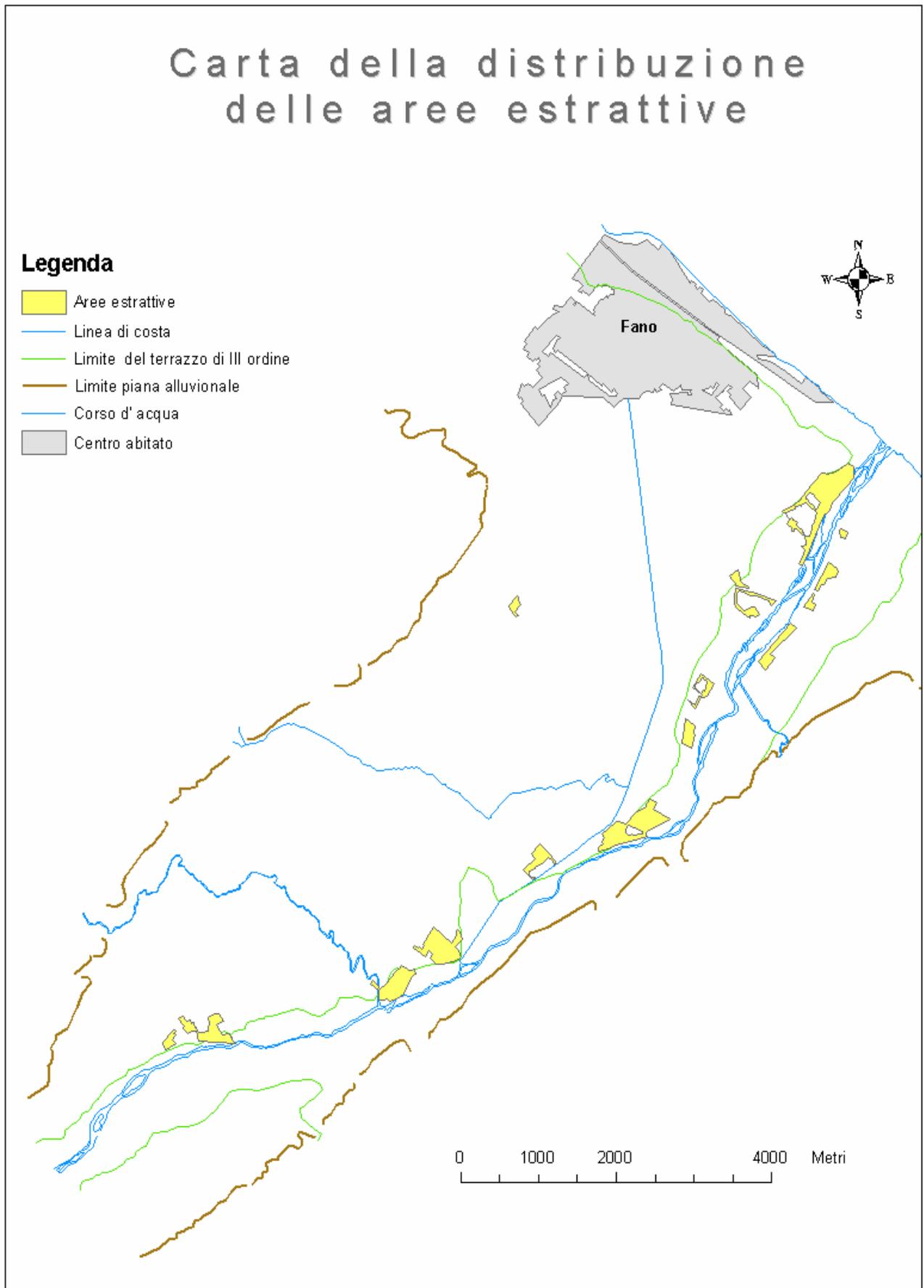


Figura 5-3 Carta della distribuzione delle aree estrattive nella bassa valle del fiume Metauro

## 5.2 Centri potenziali di pericolo (CDP)

I circa 3 000 000 di m<sup>2</sup>, occupati da edificati produttivi, all' interno della bassa valle del fiume Metauro, insistono principalmente sul terrazzo alluvionale di terzo ordine, in sinistra idrografica. La distribuzione areale non è omogenea in quanto, le industrie, sono raggruppate in alcuni poli principali, dei quali i più importanti, sono ubicati essenzialmente nella porzione di valle più vicino alla costa (Fig 5-4 e Tab 5-1). Alcune tra queste zone industriali, sono state censite al fine di reperire informazioni sui potenziali centri di pericolo .

3	Birra, bibite e acque minerali
4	Accumulatori
5	Reti da letto e materassi a molle
6	Lucidatura e verniciatura
7	Coloranti per legno
8	Gasolio per riscaldamento
9	Falegnameria
10	Marmista
11	Carburanti e lubrificanti
12	Infissi alluminio e ferro
13	Maglieria
14	Elettromeccanica
15	Colorificio
16	Porte blindate
17	Lavorazioni attrezzature meccaniche
18	Colorificio
19	Accesori e ricambi per brucatori e caldaie
20	Isolanti
21	Pannelli in legno
22	Deposito di silos
23	Manufatti in cemento, manufatti edili
24	Alluminio
25	Componenti arredo per negozi
26	Vetro e plastica
27	Trattamento vernici ,polveri di articoli metallici
28	Cantiere navale
30	Cantiere navale
31	Infissi alluminio e legno
32	Materiali edili
33	Prefabbricati
34	Sistemi di copertura
35	Pentole antiaderenti
36	Lavorazione particolari meccanici
37	Lavorazione leghe metalliche
38	fresatura modelli c.n.c.
39	lame circolari di Hm
40	Pennellificio giuliani
41	Macchine, progettazioni,costruzioni
42	Portoni industriali
43	Imballaggi in legno
44	Arredamenti, lavorazioni in acciaio inox
45	Lavorazioni acciaio inox per banchi-bar
46	Tende da sole,tende interne,porte a soffietto
47	Marmista
48	Pavimenti,rivestimenti,sanitari
49	Lavorazione gessi
50	Travi,pilastrini in cemento armato,lavorazioni ferro
51	Costruzioni in ferro, infissi
52	Autofficina
53	Forniture per istituti di bellezza
54	Porte
55	Prefabbricati per mobili
56	Stampaggio materiali plastici
57	Tubi
58	Falegnameria
59	Tecnologie trattamento acque
60	Vetri, specchi
61	Porte blindate
62	Infissi in alluminio
63	Pasta
64	Ex zuccherificio
65	Distributore di carburante

Tabella 5-1 Legenda appartenente alla carta della distribuzione delle industrie (Fig. 5-4)

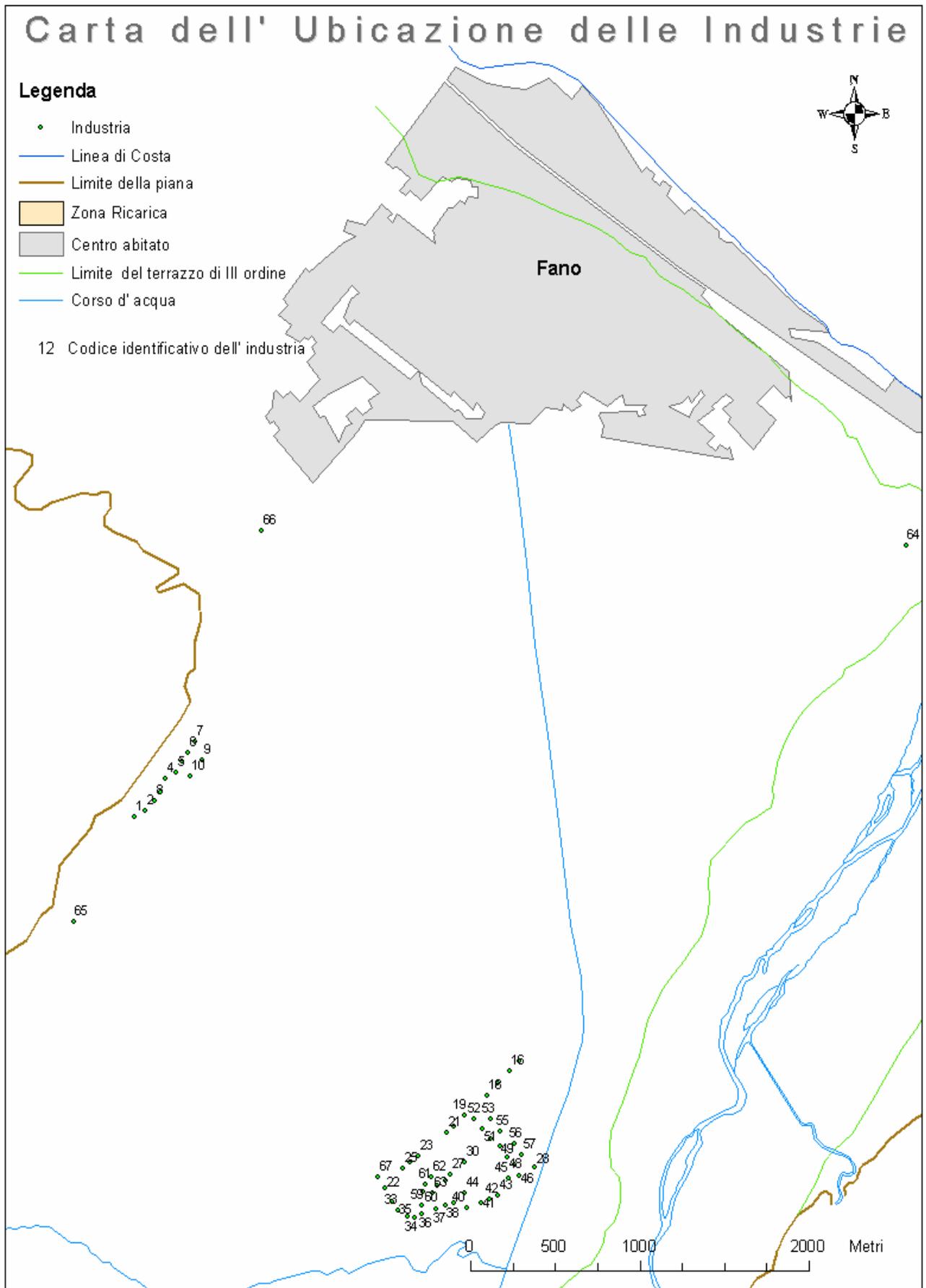


Figura 5-4 Carta dell' ubicazione delle industrie

Una delle più grosse aree industriali risulta essere quella del comune di Fano, nei pressi della strada statale 73bis all' altezza di Fosso della Carrara, dove sono presenti diverse tipologie di industrie tra le quali, potenziali centri di pericolo nei confronti dell' acquifero su cui insistono, sono attività industriali come i due colorifici, produzione di prefabbricati, produzione di sistemi di copertura, di pentole antiaderenti, lavorazioni di leghe metalliche, costruzioni meccaniche e stampaggio lamiere, un pennellificio, produzione di portoni industriali, lavorazioni di acciaio inox, lavorazione di marmi, lavorazione gessi, produzione di travi e pilastri in cemento armato, costruzioni in ferro e infissi, produzione di forniture per istituti di bellezza, produzione di tecnologie per il trattamento delle acque, produzione di vetri e specchi, produzione di porte blindate, produzione di infissi di alluminio, lavorazione attrezzature meccaniche, produzione isolanti, trattamento di vernici e polveri di articoli metallici, nella zona in questione sono presenti inoltre, anche due cantieri navali ed un deposito di silos.

Altra zona industriale di rilievo, è quella di Cuccurano situata sulla via Flaminia, strada statale che percorre il bordo settentrionale della pianura alluvionale. Potenziali centri di pericolo in tale zona sono l' industria di produzione infissi in alluminio e ferro, l' industria elettromeccanica. Procedendo sulla medesima strada in direzione Fano, si incontra un altro polo industriale di rilievo, ovvero la zona industriale di Rosciano; un centro di pericolo di particolare interesse qui, potrebbe essere la fonderia ivi presente; un' altra attività di potenziale pericolo, potrebbe essere quella di produzione di gasolio per riscaldamento; nello spazio interessato da quest' ultima, è da mettere in evidenza la presenza di un certo numero di silos che poggiano sul terreno, i quali, se non nello stato attuale, a lungo andare potrebbero avere delle perdite.

Altri candidati ad essere potenziali centri di pericolo sono un industria di birra bibite e acque minerali, un industria produttrice di accumulatori, una fabbrica di reti da letto e materassi a molle, un' attività di lucidatura e verniciatura, un industria di coloranti per legno, una falegnameria ed un marmista.

Un ultimo polo industriale, del quale si sono potute reperire però, solo poche informazioni, è quello di Madonna del Ponte, nei pressi della foce del fiume Metauro; qui di particolare interesse come centro potenziale di pericolo, è la presenza di uno zuccherificio ormai in disuso, che potrebbe dare problemi di BOD<sub>5</sub>, COD ed O<sub>2</sub> disciolto, nella porzione di acquifero sottostante. Sono presenti, sull'area in esame molte altre zone industriali minori e quindi potenziali centri di pericolo puntuali, di cui però non è stato possibile reperire ulteriori dati.

## Capitolo 6

### IDROLOGIA

#### 6.1 Il fiume Metauro ed il suo bacino idrografico

Il Fiume Metauro (Fig 6-1 a e b) si origina dalla confluenza, presso la località Borgo Pace (PS), dei torrenti Meta e Auro alla quota di 470 m. Entrambi nascono dalla dorsale appenninica, rispettivamente dalle pendici di Bocca Tra baria a quota 1050 m e da quelle del Monte Maggiore situato in provincia di Arezzo ad una quota di circa 1500 m.



(a)



(b)

**Figura 6-1 (a,b) Fiume Metauro (foto effettuata dal ponte che collega la località di Calcinelli a quella di Villanova)**

Il Fiume Metauro riceve durante il suo corso vari affluenti (i torrenti S. Antonio e Tarugo, il Rio Puto, il Rio Maggiore ed infine il Candigliano che con i subaffluenti Burano, Bosso e Biscubio, fornisce il maggior apporto idrico). Tale fiume, dopo un percorso di 110 Km, sbocca nel mare Adriatico all' altezza della frazione Madonna del Ponte, situata 3 km a sud dell' abitato di Fano (Fig. 6-2).



**Figura 6-2 Foce del fiume Metauro (foto effettuata nei pressi del ponte ferroviario tra la località Metaurilia e l' abitato di Fano)**

Il suo bacino idrografico (Fig. 6-3), ha un estensione complessiva di 1400 km<sup>2</sup> ed è il più vasto dell' intera regione Marche.

I limiti del bacino (*Selli, 1947*) sono segnati dai seguenti capisaldi principali (procedendo in senso orario): Foce del Metauro, S. Costanzo, Piagge, Orciano, Barchi, Sorbolongo, S. Vittoria ( a W di Torre S. Marco), Capuccini di Montevecchio, M. della Serra, Fenigli, Cupe di S. Savino, Colombare di Frontone, M. Morcia, M. Tenetra, M. Acuto, M. Catria, la Croce di Pian di Lucchio, M. Picognola, Cima Lanciacornacchia, M. Petazzano, M. Cerrone, Castellazzo, Pian di Cerreto, Bocca Serriola, M. Moriccie, il Montaccio, Poggio del Romito, M. Sodo Pulito, M. Maggiore, Poggio Monterano, Sasso Aguzzo, Passo della Spugna, M. Mazziconia, Sorbetolo, Peglio, S. Giovanni in Pozzuolo, M. Spadara, Urbino, M. della Cesana, M. Tomba (presso Isola del Piano), M. Grosso (presso Monteguiduccio), M. S. Bartolo, M. della Mattered, Monte delle Forche, Postelle (sul Metauro), Foce del Metauro.

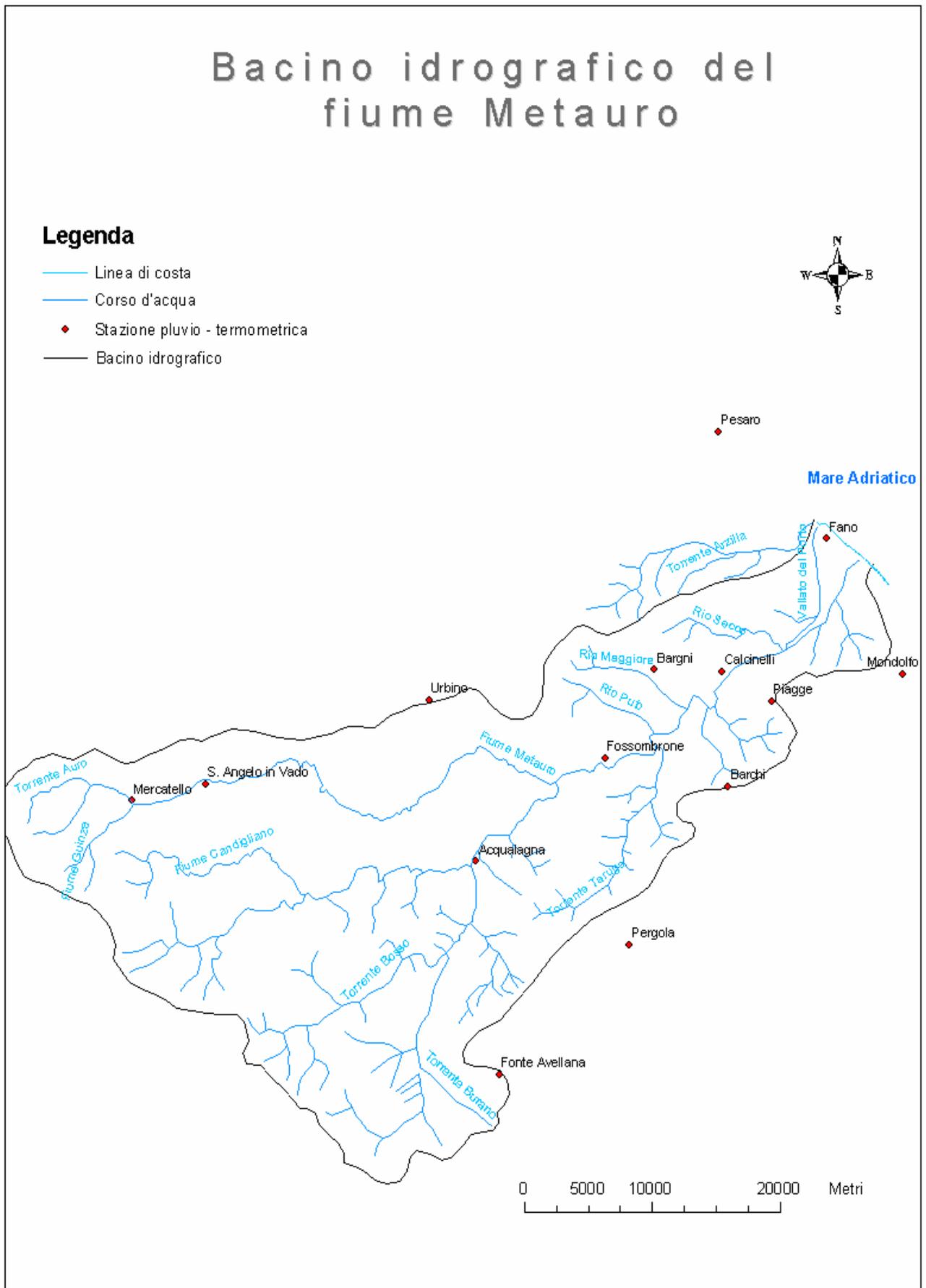


Figura 6-3 Bacino idrografico del fiume Metauro

Il Vallato del Porto e il Fosso degli Uscienti fanno da collettori delle acque superficiali comprese fra la foce del Metauro, le Postelle, M. delle Forche, Foce dell'Arzilla. Presso Mercatello il Metauro riceve il tributo del torrente S. Antonio, a S. Angelo in Vado del Morsina, a Urbania del Bottrina, a monte di Fermignano dei torrenti S. Maria e Maltano; limitato è l'afflusso degli altri numerosi piccoli confluenti fino a Calmazzo.

Fra i tributari il più importante per superficie del bacino ed apporto di acque è il Candigliano. Esso nasce fra i Monti Moriccie e Valmeronte e, pur ricevendo il tributo di vari piccoli torrenti, presso Piobbico è ancora assai povero di acque; a questo paese però la sua portata è notevolmente aumentata dal torrente Biscuvio, che nasce dal M. Falcone. Fra Piobbico e Acqualagna il Candigliano riceve acque superficiali e sotterranee dalla porzione NW del M. Nerone e del rilievo del Montiego. Ad Acqualagna si ha la confluenza con il Burano che è il più ricco di acque di tutto il bacino in quanto riceve i tributi superficiali e sotterranei di gran parte dei massicci mesozoici della regione. Più a valle minori influenti (Fosso Cherio, Fosso del Rio ecc.) e venute sotterranee dal rilievo del Furlo ne completano il deflusso fino a Calmazzo. Il Burano, che ha origine dal M. Cerrone comincia solo a Pontericcioli, per l'apporto del Rio Botano, ad avere una portata anche estiva; quindi presso Cantiano riceve il Bevano, assai ricco di polle. Afflussi sotterranei lo arricchiscono lungo le Foci del Burano; presso Cagli confluisce in esso il Bosso. Nuove venute sotterranee e l'apporto di alcuni torrenti (fra cui lo Screbia) ne aumentano le portate fino ad Acqualagna. Il torrente Bosso, che ha dapprima il nome di Fosso Vallaccia, poi il torrente Certano, nasce dal M. Cerrone e malgrado i numerosi piccoli affluenti resta assai povero d'acqua in estate fino a monte di Pianello. Da questo paese fino a Cagli aumenta progressivamente la portata per il confluire del Fiumicello, Ciordano, Fosso di Teria e Fosso di Valmena.

## 6.2 Utilizzo delle risorse idriche

Nella valle alluvionale del fiume Metauro, gli utilizzi delle risorse idriche sono svariati. Insistono sul territorio numerosi pozzi destinati ad usi irrigui, industriali e domestici, la cui distribuzione spaziale è riportata nella Figura 6-4. E' stato possibile reperire dati sulle portate reali e d' esercizio, di alcuni pozzi di proprietà del comune di Fano (Fig. 6-4 ); tali dati sono riportati nella Tabella 6-1, dove si nota che le portate reali di emungimento non corrispondono mai a quelle d' esercizio, sono infatti sempre maggiori.

<b>n° Pozzo del comune di Fano</b>	<b>Portata d' esercizio (lt/s)</b>	<b>Portata Reale (lt/s)</b>
<b>3</b>	30	-
<b>2</b>	50	-
<b>5</b>	30	36
<b>32</b>	12	14
<b>10</b>	12	16
<b>33</b>	6	9
<b>25</b>	-	-
<b>13</b>	20	22
<b>36</b>	12	16
<b>22</b>	-	-
<b>21</b>	-	-
<b>12</b>	10	20
<b>34</b>	6	8
<b>4</b>	6 - 8	15
<b>35</b>	5 - 10	30

**Tabella 6-1** Dati di portata reale e d' esercizio di alcuni pozzi di proprietà del comune di Fano gestiti dall' ASET

Nella medesima valle, sono stati realizzati inoltre 4 canali sotterranei, uno in prossimità dell'immissione del Rio Secco nella valle alluvionale, due tra le frazioni Rosicano e Cuccurano, del comune di Fano, ed una nelle vicinanze del centro abitato di Fano (Fig. 6-4).

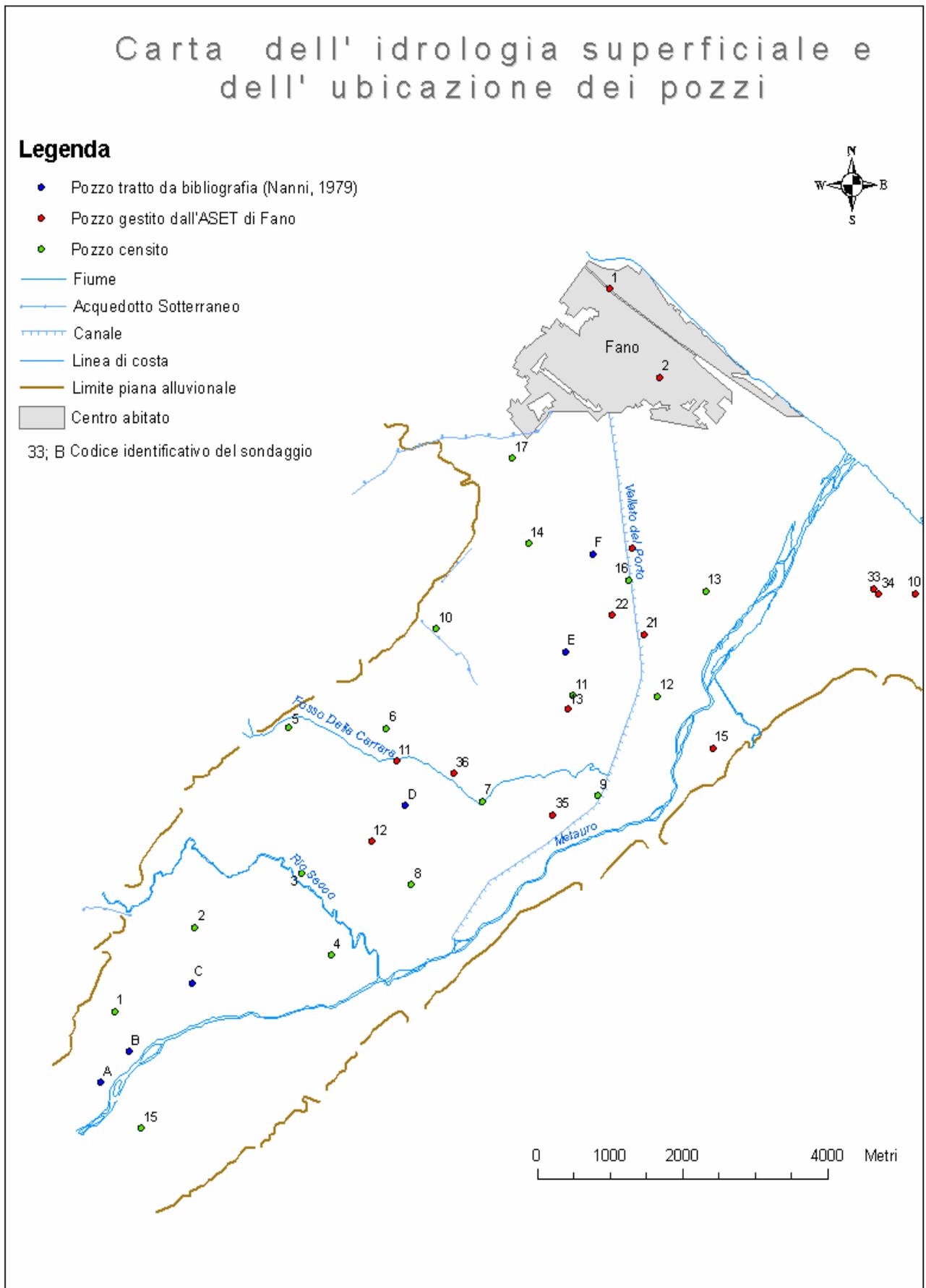


Fig 6-4 Carta dell' idrologia superficiale della bassa valle del fiume Metauro, in cui sono ubicati i vari pozzi

Oltre a canali sotterranei nell' area in esame, esistono anche canali superficiali di origine antropica. Un canale artificiale di particolare interesse, è noto con il nome di Vallato del Porto ( Fig. 6-4 e Fig.6-5 a,b); esso è un lungo canale artificiale che ha un percorso di circa 9,5 Km. Traendo origine dal Fiume Metauro poco a valle del Rio Secco, tale canale attraversa la piana alluvionale in maniera circa parallela all'asta fluviale principale fino al Fosso della Carrara, in prossimità del quale inizia a deviare in direzione di Fano. Il canale Vallato del Porto attraversa interamente tale centro abitato, prima di sfociare nel mar Adriatico a N della città, costituendo infine il Porto Canale.



**Figura 6-5** Canale artificiale Vallato del Porto ( foto effettuata dal ponte nei pressi della cava in contrada Borgogelli, verso monte (a) e verso valle (b) )

Lungo il corso del Fiume Metauro, sono presenti alcuni sbarramenti utilizzati per la produzione di energia elettrica. Tali sbarramenti sono ubicati nelle località S. Lorenzo, Ponte degli Alberi, Bellocchi e presso la gola del Furlo sul Candigliano (Fig 6-6).



**Figura 6-6 Diga di proprietà dell' Enel, in prossimità della località Tavernelle**

Nei Comuni di Mercatello sul Metauro, Fermignano e Fossombrone esistono opere di captazione di acqua destinata alla potabilizzazione. Di particolare rilevanza, è quella in località di San Lazzaro di Fossombrone perchè rifornisce l'intera città di Pesaro e diverse frazioni e comuni limitrofi. Lungo l' asta fluviale, insistono captazioni abusive da parte di privati, se pur di minore importanza (Fig 6-7).



**Figura 6-7 Tubo per il prelievo abusivo di acqua dal Fiume Metauro, destinato all' uso irriguo**

E' da mettere in evidenza un campo pozzi realizzato dal Comune di Fano, che funge da zona di ricarica dell' acquifero (Fig. 6-8), sito poco più a nord dal punto in cui si origina il canale Vallato del Porto, di cui però non è stato possibile ottenere informazioni più dettagliate. La finalità di tale opera è quella di incrementare l' apporto idrico della falda, soprattutto nei periodi di magra, prelevando acqua dal Fiume Metauro e immettendola all' interno dell' acquifero tramite i pozzi.



**Figura 6-8 Campo Pozzi in zona ricarica sito nei pressi della località Madonna della Rosa**

### **6.3 Portate fluviali**

Alcuni dati sulle portate ed i volumi d' acqua del fiume Metauro, sono stati reperiti presso l' ATO (Autorità di Ambito Territoriale Ottimale) n° 1 –Marche Nord – Pesaro Urbino. Le informazioni reperite, si riferiscono al solo mese di agosto degli anni 2003 e 2004; le portate sono state misurate considerando sia il fiume Metauro che il Candigliano, mentre i dati riguardanti i volumi, sono riferiti a misure effettuate lungo il fiume Metauro, nelle località Furlo, S. Lazzaro e Tavernelle. (Tabelle 6-2 e 6-3).

Portata (l/sec.), periodo: Agosto 2003 (Candigliano+Metauro)	
ago-03	Portata (l/sec.)
1	700
2	840
3	800
4	790
5	740
6	740
7	700
8	740
9	740
10	740
11	740
12	740
13	840
14	940
15	940
16	940
17	940
18	900
19	740
20	740
21	740
22	650
23	600
24	450
25	450
26	850
27	1800
28	1100
29	800
30	700
31	700

Portata (l/sec.), periodo: Agosto2004 (Candigliano+Metauro)	
ago-04	Portata (l/sec.)
1	1000
2	1000
3	1000
4	950
5	1150
6	1800
7	2230
8	1700
9	1500
10	1400
11	1200
12	1100
13	1000
14	1000
15	1100
16	1000
17	1000
18	1000
19	1000
20	900
21	900
22	800
23	800
24	800
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	

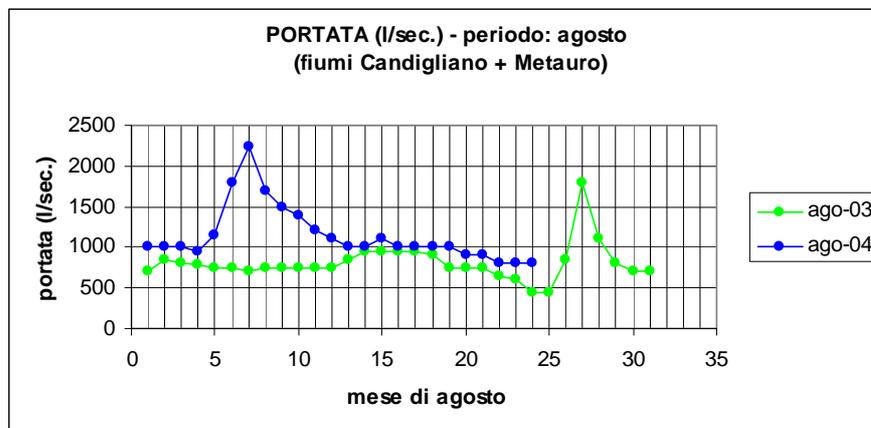


Tabella 6-2 Portate dei fiumi Candigliano + Metauro, riferiti al mese di agosto degli anni 2003 e 2004

Volume totale (mc), periodo: Agosto 2003 (Furlo + S.Lazzaro + Tavernelle)	
Ago-03	Volume totale (mc/giorno)
1	900000
2	930000
3	915000
4	915000
5	850000
6	805000
7	758000
8	710000
9	710000
10	690000
11	680000
12	680000
13	730000
14	730000
15	770000
16	774000
17	800000
18	800000
19	845000
20	870000
21	920000
22	965000
23	930000
24	920000
25	880000
26	895000
27	995000
28	1095000
29	1025000
30	950000
31	945000

Volume totale (mc), periodo: Agosto 2004 (Furlo + S.Lazzaro + Tavernelle)	
ago-04	Volume totale (mc/giorno)
1	1770000
2	1770000
3	1720000
4	1700000
5	1730000
6	1770000
7	1640000
8	1760000
9	1820000
10	1900000
11	1660000
12	1810000
13	1830000
14	1830000
15	1840000
16	1820000
17	1810000
18	1790000
19	1770000
20	1690000
21	1660000
22	1640000
23	1620000
24	1600000
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	

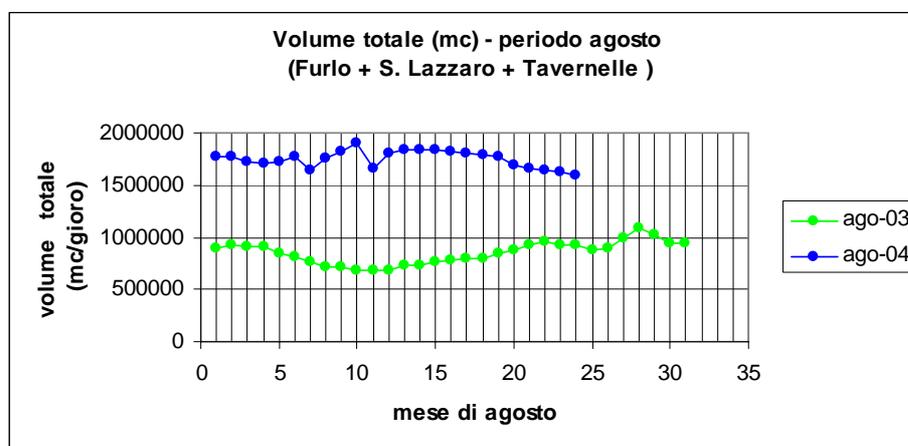


Tabella 6-3 Volumi totali di acqua misurati lungo il Metauro nelle località Furlo, S. Lazzaro e Tavernelle nel mese di agosto degli anni 2003 e 2004

I valori delle misure di portata (Tabella 6-2), effettuate nel mese di agosto nell' anno 2003, sono nettamente inferiori a quelli dell' anno successivo, tali valori mediamente vanno da un minimo di 450 l/sec ad un massimo di 1100 l/sec, registrati entrambi nell'ultima settimana, con un anomalo picco nel giorno 27 agosto, dove si ha un valore pari a 1800 l/sec. I dati riferiti all'anno 2004, nettamente superiori ai precedenti, vanno da un minimo di 800 l/sec, registrato nell' ultima settimana, ad un massimo di 1800 l/sec nella prima settimana, con un anomalo picco, nel giorno 7 agosto.

Questo trend, sembra essere confermato anche dai valori dei volumi totali di acqua (Tabella 6-3). Infatti, si registrano nuovamente valori nettamente differenti, tra i due anni consecutivi in cui sono state effettuate le misure. Ancora una volta i valori più bassi di volume d' acqua, si riscontrano nell' anno 2003, con valori che oscillano tra un minimo di 680000 m<sup>3</sup> d' acqua, registrato nella seconda settimana di agosto ed un massimo pari a 1020000 m<sup>3</sup> d'acqua nell' ultima settimana dello stesso mese, con un picco nel giorno 28 agosto. Di gran lunga superiori, sono i volumi d' acqua misurati sempre in agosto nell' anno 2004; i valori oscillano tra un minimo di 1640000 m<sup>3</sup> d' acqua ed un massimo pari a 1840000 m<sup>3</sup> d' acqua, con un picco intorno al 10 agosto.

Complessivamente si riscontra un incremento dell' apporto idrico fluviale nell' anno 2004; i picchi concentrati in singoli giorni, potrebbero essere dovuti a rilasci dei vari sbarramenti per la produzione di energia elettrica che insistono lungo il letto fluviale del Metauro.

## Capitolo 7 BILANCIO IDROLOGICO

### 7.1 Descrizione dei parametri per il bilancio idrologico

Il calcolo del bilancio idrologico, effettuato nella presente ricerca, è stato esteso ad un' area più ampia rispetto a quella studiata. Considerando l'intero bacino idrografico del fiume Metauro, tale area è compresa fra il comune di Fossombrone e la costa (Fig. 7-1).

La scelta di considerare un area di dimensioni maggiori, è stata fatta al fine di ottenere una valutazione più completa dei volumi di acqua di precipitazione, di evapotraspirazione e deflusso. Il bilancio idrologico costituisce una base di partenza per un corretto e razionale utilizzo delle risorse idriche sotterranee.

Per bilancio idrologico, si intende il calcolo analitico dei singoli parametri dell' espressione seguente:

$$\mathbf{P} = \mathbf{E}_r + \mathbf{D} \quad (7.1)$$

Dove:

$\mathbf{P}$  = quantitativi d'acqua di precipitazione (in mm/a)

$\mathbf{E}_r$  = quantitativi d'acqua di evapotraspirazione (in m<sup>3</sup>/a)

$\mathbf{D}$  = quantitativi d' acqua di deflusso (in m<sup>3</sup>/a), pari alla somma dei volumi dell' acqua di ruscellamento superficiale ( $\mathbf{R}$ ) e quella di infiltrazione efficace ( $\mathbf{I}$ )

Il suddetto calcolo (*Celico, 1986*), è tanto più preciso quanto più frequenti sono le misure dei dati di base e quanto più lungo è il periodo di riferimento. In ogni caso, l' espressione (7.1), è valida purché l'intervallo di tempo considerato coincida almeno con un ciclo idrologico.

Per il calcolo dei quantitativi d'acqua di precipitazione, considerando un numero sufficientemente grande di anni, bisogna prendere in esame i dati medi mensili ed i relativi totali dell' intero periodo di riferimento. Per l'interpolazione degli stessi dati si utilizzano diverse metodologie. In questa sede è stato applicato il metodo dei Topoietti, che sarà illustrato più avanti.

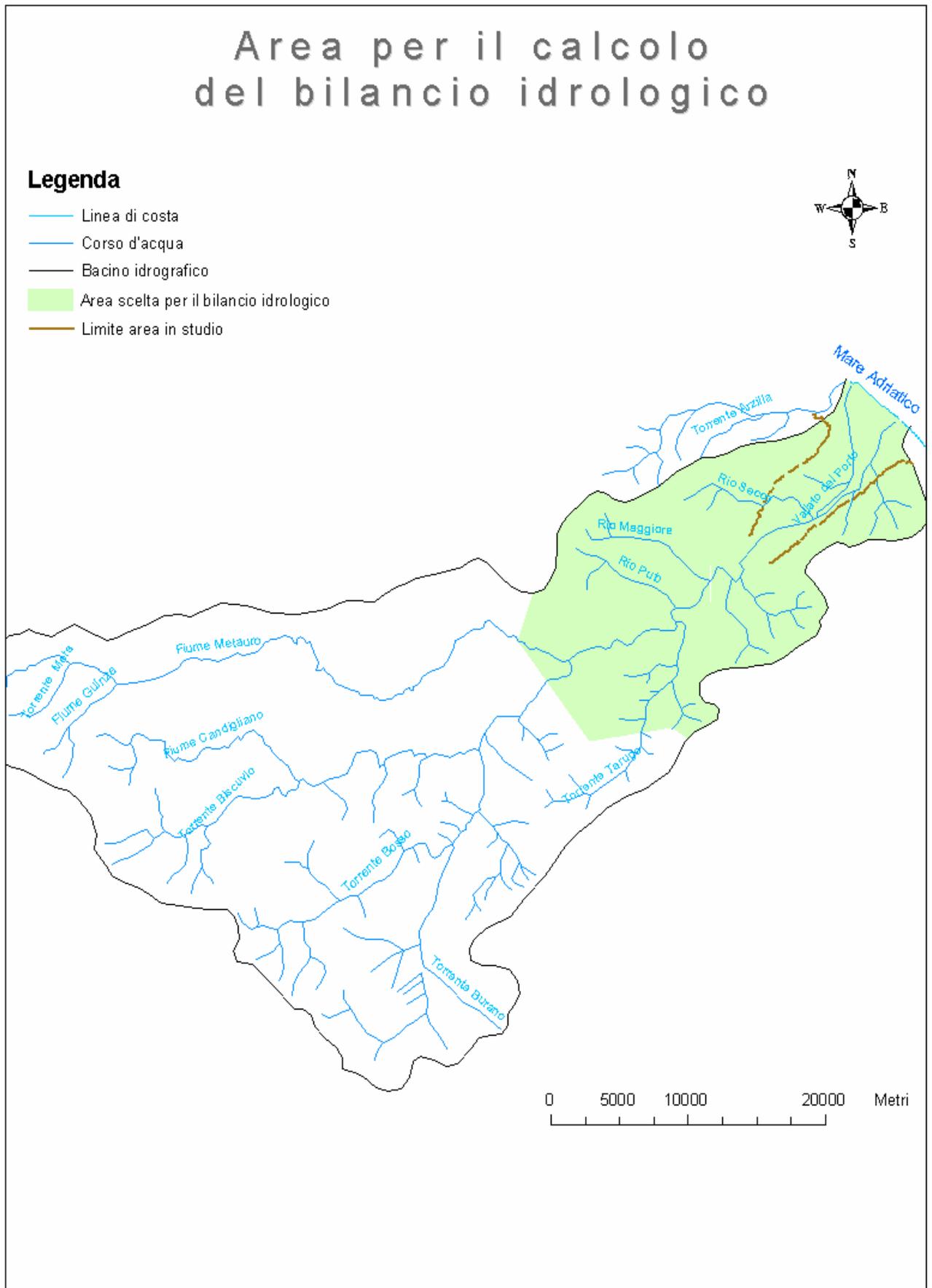


Figura 7-1 Settore di bacino idrografico del fiume Metauro utilizzato per il calcolo del bilancio idrologico

Per *evaporazione*, si intende il fenomeno fisico che determina il passaggio dell' acqua dallo stato liquido a quello di vapore. Per *traspirazione* si intende il fenomeno biologico che determina il suddetto passaggio di stato attraverso la vegetazione, la quale sottrae acqua al terreno per mezzo della zona pilifera dell' apparato radicale e la restituisce all' atmosfera attraverso l' apparato fogliare. L' azione combinata dei fenomeni di evaporazione e di traspirazione è detta *evapotraspirazione*. Quest' ultima è funzione della quantità d'acqua che si rende disponibile, della quantità di energia termica disponibile nonché di una serie di fattori piuttosto complessi e tra loro interconnessi. Per il calcolo dell' evapotraspirazione, ci si serve di formule empiriche, le più semplici delle quali sono basate principalmente sull' utilizzazione dei dati di temperatura al suolo (*Celico, 1986*).

Il *deflusso idrico globale*, come accennato in precedenza, è dato dalla somma dei volumi dell' *acqua di ruscellamento superficiale* ( $R$ ) e quella di *infiltrazione efficace* ( $I$ ). Le *acque di ruscellamento superficiale* danno origine alle risorse idriche sotterranee, le quali vengono convogliate più o meno velocemente verso i fiumi e, quindi, verso il mare. Le *acque di infiltrazione efficace*, rappresentano le risorse idriche sotterranee, le quali defluiscono più o meno lentamente, verso ben determinati punti di recapito naturale quali le sorgenti, i fiumi, i laghi ed il mare. Se si esclude quest' ultimo caso di recapito diretto in mare, in generale esse si uniscono alle acque di ruscellamento superficiale (*Celico, 1986*).

Nella presente tesi, per determinare i parametri ora descritti, si è partiti dai dati di precipitazione e di temperatura media a disposizione, relativi a 7 stazioni pluviometriche e pluvio-termometriche, alcune appartenenti al bacino idrografico del Metauro, altre a bacini limitrofi; le stazioni (Fig.7-2). sono ubicate tutte all'interno dell' area scelta per il calcolo del bilancio (Tabella 7-1). Tali dati sono stati forniti dall' osservatorio meteorologico di Macerata. Alle stazioni sprovviste di dati termometrici, sono state assegnate temperature fittizie, calcolate sulla base di quelle reali disponibili.

Stazioni Pluviometriche	Latitudine	Longitudine	Quota m s.l.m.	Gauss - Boaga	
				X	Y
<b>Bacino Metauro</b>					
Barchi	43° 40' 20" N	0° 28' 33" E	319	2352971.422	4837642.192
Bargni	43° 45' 00" N	0° 24' 05" E	273	2347193.395	4846433.536
Calcinelli	43° 45' 00" N	0° 28' 00" E	64	2352449.313	4846299.397
Fossombrone	43° 41' 20" N	0° 21' 22" E	116	2343368.274	4839741.43
<b>Bacino Arzilla - Metauro</b>					
Fano	43° 50' 30" N	0° 33' 58" E	14	2360699.978	4856284.452
<b>Bacino del Cesano</b>					
Piagge	43° 43' 51" N	0° 31' 00" E	201	2356422.919	4844070.627
Mondolfo	43° 45' 05" N	0° 38' 35" E	144	2366654.971	4846111.939

Tabella 7-1 Ubicazione geografica e quote delle stazioni pluviometriche e pluviotermometriche scelte per il calcolo del bilancio idrologico

## 7.2 Bilancio idrologico dell' area in esame

Per il calcolo del bilancio idrologico si deve scegliere, innanzitutto, il periodo di riferimento. Questo può essere costituito da un solo anno idrologico, se si deve calcolare un bilancio annuo, o da almeno un triennio, se si deve calcolare un bilancio medio (*Celico, 1986*). In questa sede, per la determinazione del bilancio, ci si è riferiti al quarantennio 1950- 1989. Elaborando i dati a disposizione, sono stati stimati il termine **P**, ovvero le precipitazioni ed il termine **E<sub>r</sub>**, ovvero l' evapotraspirazione, che necessita anche di una stima delle temperature, parametri dell' espressione per il bilancio idrologico (7.1), al fine di ottenere dalla medesima espressione, una valutazione del deflusso idrico globale (**D**) inerente a l' area considerata.

### 7.2.1 Precipitazioni reali (P)

Per ogni stazione pluviometrica (Tab. 7-2), è stata effettuata una media delle precipitazioni (in mm) relative al quarantennio 1950 – 1989, per ciascun mese. Inseguito, per ognuna delle suddette stazioni, è stata operata una media annuale

delle precipitazioni. I valori di tale media, oscillano tra un minimo di 779.6 mm/a ed un massimo di 989.8 mm/a.

Stazioni Pluviometriche Reali	PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI (mm) RELATIVE ALL' ANNO 1951 DELLE STAZIONI REALI												Quote	Media precipitazioni annuali	
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D			
Barchi	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	36.6	898.7
Bargni	75.9	71.4	77.3	74.4	67.3	63.0	49.2	62.3	77.5	81.3	103.4	74.7	74.7	273	877.6
Calcinelli	80.3	73.1	79.5	77.0	67.2	67.1	53.9	66.1	80.6	88.6	116.8	83.2	83.2	64	933.4
Fossombrone	85.3	85.7	92.0	84.7	74.3	67.0	60.6	66.0	83.8	87.1	112.2	91.3	91.3	116	989.8
Fano	70.7	60.1	65.4	57.5	54.7	48.5	51.6	52.4	76.6	74.0	95.5	72.5	72.5	14	779.6
Mondolfo	70.4	66.4	70.9	61.1	60.5	54.5	48.7	60.7	68.1	76.3	97.4	72.8	72.8	144	807.6
Piagge	72.4	67.0	74.8	66.9	69.3	61.7	50.3	71.3	71.8	78.4	103.0	71.8	71.8	201	858.8

Tabella 7-2 Precipitazioni medie mensili relative al quarantennio 1950-1989, misurate nelle stazioni pluviometriche in esame

### 7.2.2 Temperature

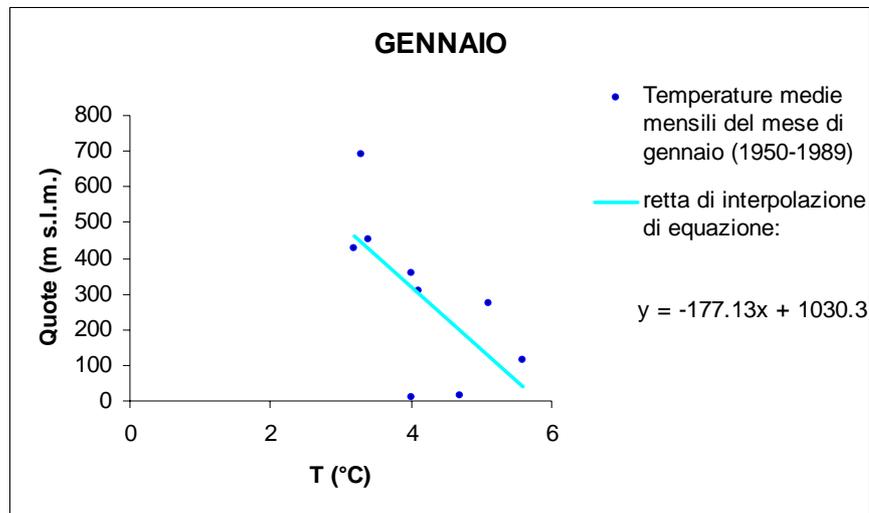
La formula empirica di *Turc*, che sarà illustrata nel paragrafo 7.2.3, per il calcolo del termine  $E_r$  presente nell'espressione 7.1, prevede l'utilizzo delle temperature medie dell'aria (in °C). Nella presente ricerca, è stato possibile reperire valori reali di temperature medie riferite al quarantennio 1950-1989, solo di alcune delle stazioni pluviotermometriche citate nel paragrafo precedente, in particolare delle stazioni di Bargni, Fano e Fossombrone (Tabella 7-3). Per le restanti stazioni esclusivamente pluviometriche, ovvero Barchi, Calcinelli, Mondolfo e Piagge, sono state calcolate temperature medie fittizie, sempre relative allo stesso intervallo di tempo. A tale scopo, sono state considerate anche altre stazioni pluviotermometriche che insistono sia all'interno del bacino del Metauro, che esternamente ad esso. Tali stazioni, in particolare sono quelle di Fonte Avellana, Mercatello, Pergola, Pesaro, S. Angelo in Vado e Urbino (Fig. 7-2).

Assumendo lineari le relazioni tra quote e temperature atmosferiche, si è costruito un grafico mettendo in ordinate le quote delle stazioni pluviotermometriche reali viste prima e in ascisse le relative temperature medie. Come risultato si è ottenuto una distribuzione di punti in un piano, interpolando i quali, si è ottenuto una retta di regressione. Questa operazione è stata effettuata per ciascun mese (Fig. 7-3 a,b,c,d,e,f,g,h,i,l,m,n). Le varie rette di regressione, hanno permesso di risalire graficamente alle temperature che, termometri fittizi, posti in corrispondenza delle stazioni sprovviste di termometro, avrebbero misurato nel periodo considerato, conoscendo unicamente la quota di tali stazioni termometriche fittizie.

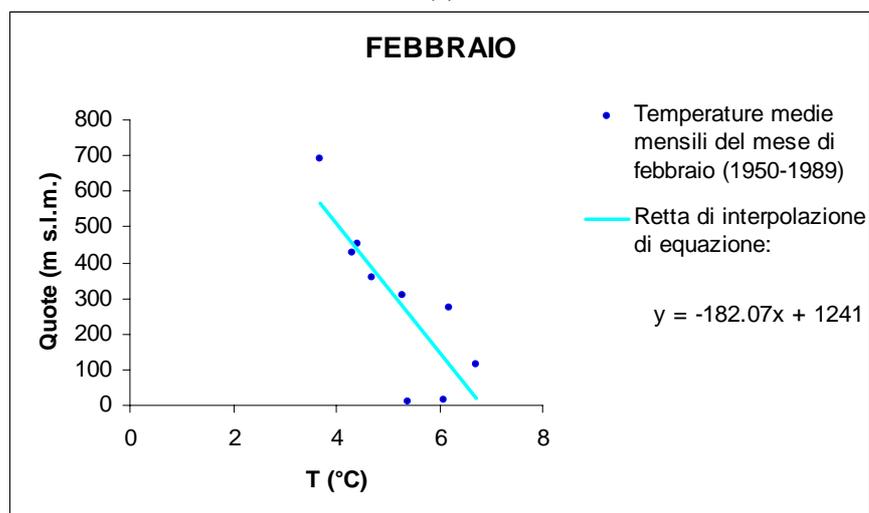
STAZIONI TERMOMETRICHE REALI	TEMPERATURE MEDIE MENSILI (°C) RELATIVE AL QUARANTENNIO 1950 - 1989 REALI												Quote
	G	F	M	A	M	G	L	S	O	N	D		
Bargni	5.1	6.2	9.0	12.6	16.9	20.7	23.7	25.9	20.3	15.6	10.2	6.8	273
Fano	4.7	6.1	8.8	12.2	16.3	20.4	22.9	24.6	19.7	15.3	10.2	6.4	14
Fossombrone	5.6	6.7	9.4	13.0	17.3	20.9	23.7	25.3	20.3	15.6	10.2	6.8	116
Fonte Avellana	3.3	3.7	6.1	9.9	14.2	17.6	20.8	22.7	17.4	12.7	8.1	4.9	689
Mercatello	3.2	4.3	6.9	10.5	14.5	18.1	20.8	22.7	17.5	12.8	7.9	4.6	429.0
Pergola	4.1	5.3	8.0	11.7	15.8	19.7	22.5	24.3	19.0	14.1	9.2	5.7	306
Pesaro	4.0	5.4	8.5	12.2	16.3	20.0	22.7	24.3	19.2	14.6	9.5	5.6	11
S. Angelo in Vado	4.0	4.7	7.3	10.7	15.0	18.5	21.5	23.3	18.0	13.3	8.0	5.0	359
Urbino	3.4	4.4	7.0	10.6	15.2	19.2	22.1	23.6	18.0	12.9	8.1	4.9	451

STAZIONI TERMOMETRICHE FITTIZIE	TEMPERATURE MEDIE MENSILI (°C) RELATIVE AL QUARANTENNIO 1950 - 1989 CALCOLATE												Quote
	G	F	M	A	M	G	L	S	O	N	D		
Barchi	5.6	6.6	9.4	13.0	17.3	21.1	24.0	25.0	20.5	15.9	10.6	7.1	36.6
Calcinelli	5.5	6.5	9.2	12.8	17.1	20.9	23.8	24.8	20.4	15.7	10.4	7.0	64
Mondolfo	5.0	6.0	8.8	12.4	16.6	20.4	23.3	24.2	19.8	15.1	9.9	6.5	144
Plagge	4.7	5.7	8.4	12.0	16.3	20.1	22.9	23.8	19.4	14.7	9.6	6.2	201

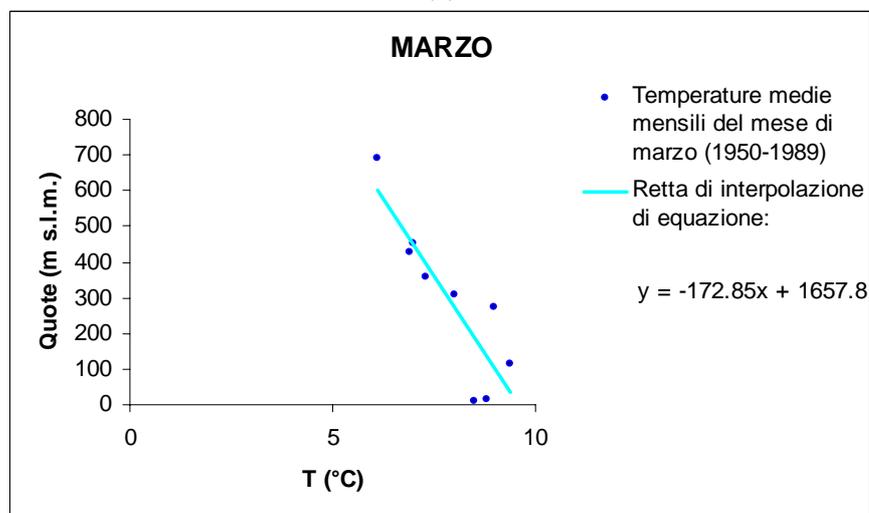
Tabella 7-3 Temperature medie mensili reali e fittizie, relative al periodo 1950-1989



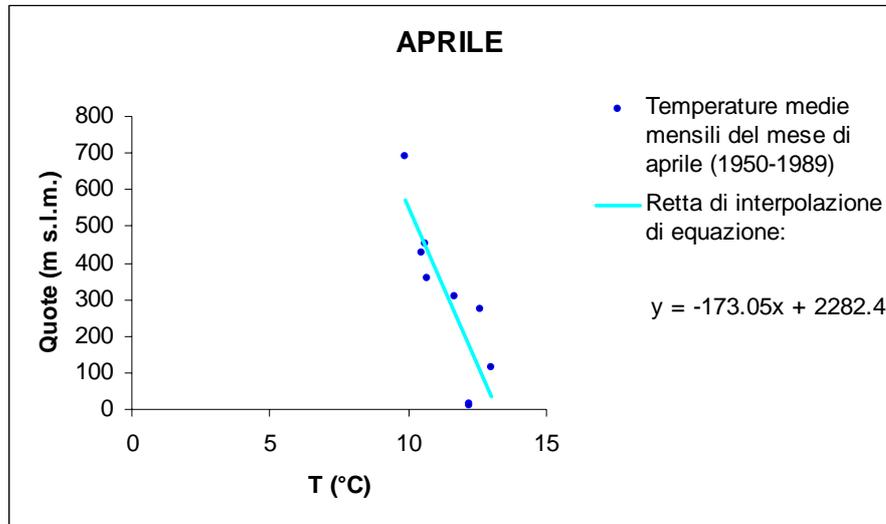
(a)



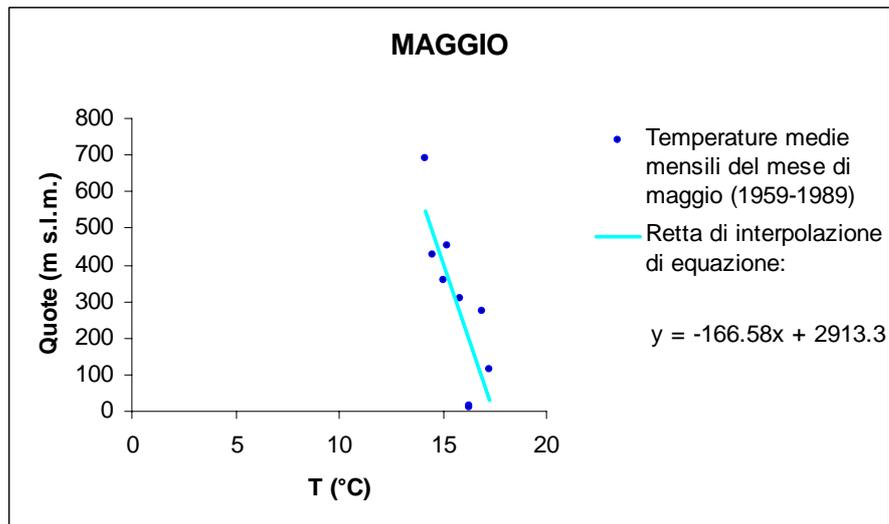
(b)



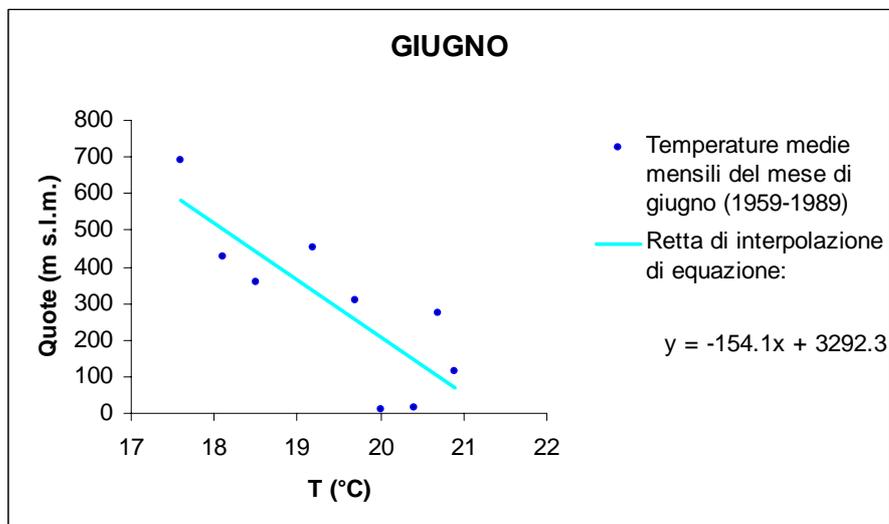
(c)



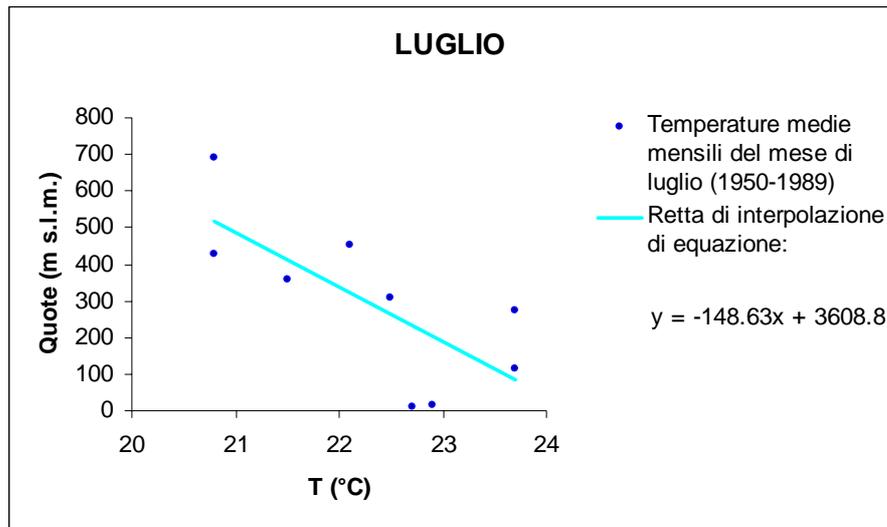
(d)



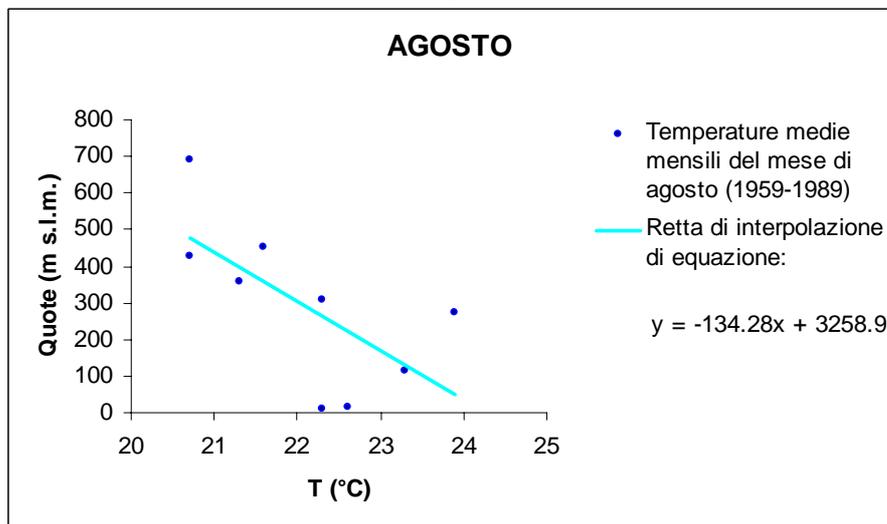
(e)



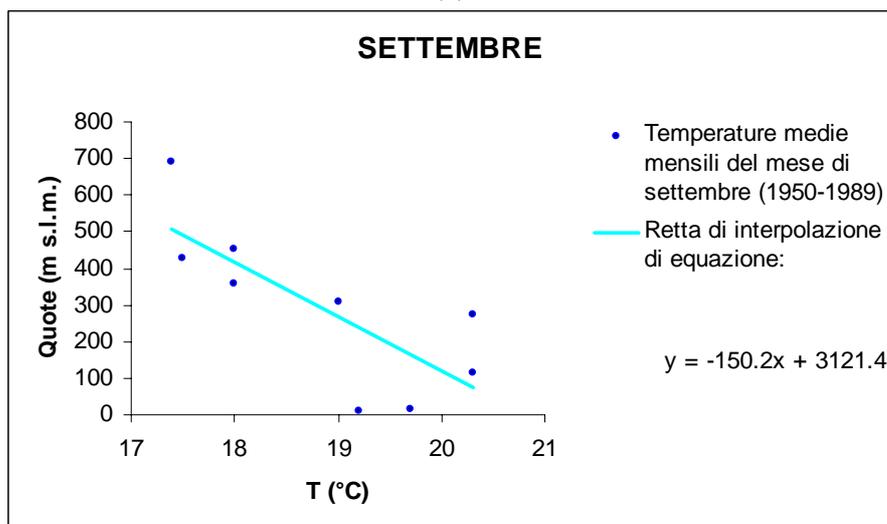
(f)



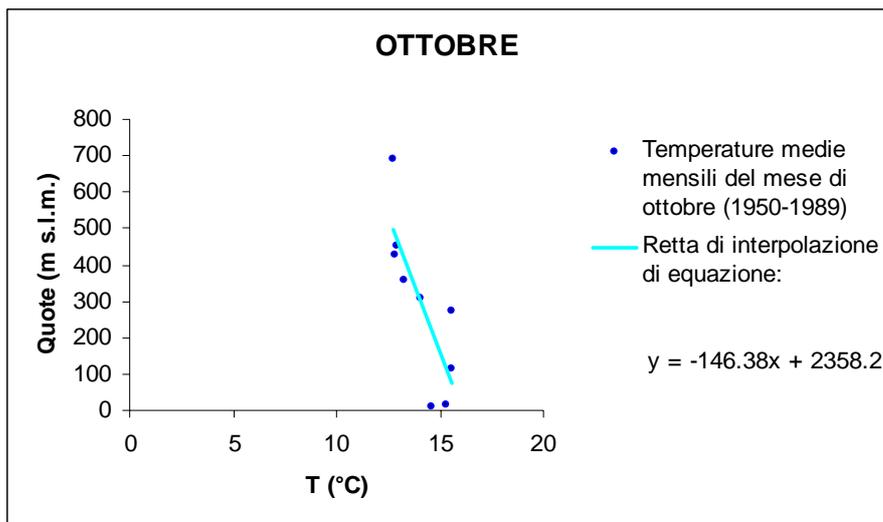
(g)



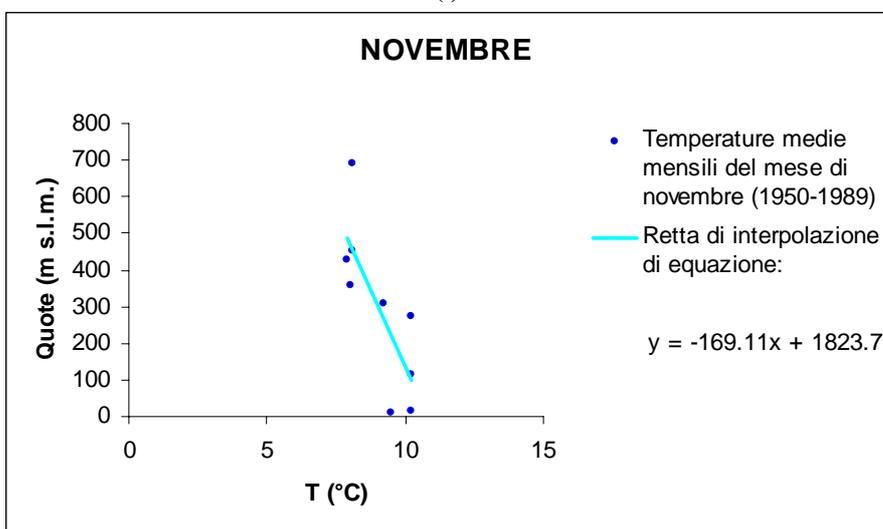
(h)



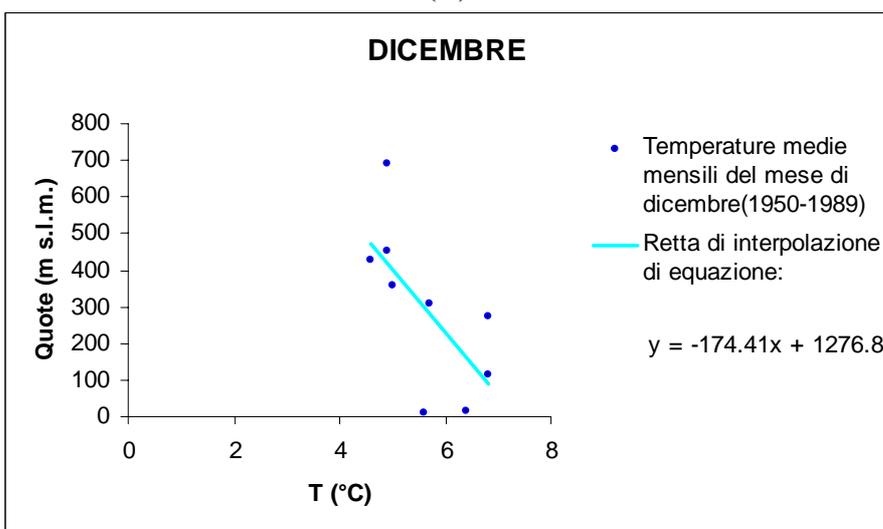
(i)



(l)



(m)



(n)

**Figura 7-3** Leggi di variazione delle temperature medie mensili (°C) con l' altitudine, stimate per i mesi da Gennaio a Dicembre relativamente al periodo 1950-1989.

### 7.2.3 Evapotraspirazione reale ( $E_r$ )

Per la valutazione dell' evapotraspirazione reale, termine  $E_r$  che figura nell'espressione (7.1), esistono numerose formule empiriche. Nella presente tesi, il calcolo è stato effettuato utilizzando la formula di *Turc* (1954), la quale prevede l' inserimento di parametri quali la precipitazione ( $P$ , in mm/a) e la temperatura media dell' area, calcolati in precedenza, riferiti al quarantennio 1950-1989.

La formula di *Turc* per calcolare l' evapotraspirazione è la seguente:

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P^2/L^2)}} \quad (7.2)$$

Il parametro  $L$ , che rappresenta il potere evaporante dell' atmosfera, si calcola con la seguente formula:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (7.3)$$

Datosi che i dati a disposizione lo consentono, è necessario operare la correzione della temperatura in funzione delle precipitazioni medie mensili, onde tener conto dell' umidità dell' aria che influisce sul potere evaporante dell' atmosfera. Pertanto, la (7.3) diventa:

$$L = 300 + 25T_p + 0.05T_p^3 \quad (7.4)$$

dove:

$T_p$  = temperatura fittizia media annua (in °C) corretta in funzione di  $P$ .

Il parametro  $T_p$  si calcola con la formula seguente:

$$T_p = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i T_i}{P} \quad (7.5)$$

dove:

$P_i$  = precipitazioni medie mensili (in mm/a)

$T_i$  = temperature medie mensili (in °C)

$P$  = media delle precipitazioni annuali

In Tabella 7-4 vengono riportati i valori ottenuti applicando le espressioni (7.5) e (7.4) considerando anche i valori di Temperatura (Tab 7-5), tramite le quali è stato possibile calcolare, utilizzando la (7.3), l' evapotraspirazione reale ( $E_r$ ).

STAZIONI PLUVIOMETRICHE REALI	PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI (mm) REALI												MEDIA PRECIPITAZIONI ANNUALI			Tp (°C)	L (mm/a)	Er (mm/a)
	G	F	M	A	M	A	G	L	A	S	O	N	D	PRECIPITAZIONI ANNUALI				
	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9					
Barchi	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	898.7	820.1	620.0		
Bargni	75.9	71.4	77.3	74.4	67.3	63.0	49.2	62.3	77.5	81.3	103.4	74.7	74.7	877.6	767.4	590.6		
Calcinelli	80.3	73.1	79.5	77.0	67.2	67.1	53.9	66.1	80.6	88.6	116.8	83.2	83.2	933.4	775.5	609.1		
Fossombrone	85.3	85.7	92.0	84.7	74.3	67.0	60.6	66.0	83.8	87.1	112.2	91.3	91.3	989.8	767.8	618.4		
Fano	70.7	60.1	65.4	57.5	54.7	48.5	51.6	52.4	76.6	74.0	95.5	72.5	72.5	779.6	745.8	552.3		
Mondolfo	70.4	66.4	70.9	61.1	60.5	54.5	48.7	60.7	68.1	76.3	97.4	72.8	72.8	807.6	749.6	562.6		
Piagge	72.4	67.0	74.8	66.9	69.3	61.7	50.3	71.3	71.8	78.4	103.0	71.8	71.8	858.8	741.9	573.8		

Tabella 7-4 Calcolo dei termini che figurano nelle espressioni 7.2, 7.3, 7.4 per la determinazione dell' evapotraspirazione reale  $E_r$ .

Stazioni termometriche reali e fittizie	G	F	M	A	M	A	G	L	A	S	O	N	D
Barchi	5.6	6.6	9.4	13.0	17.3	21.1	24.0	24.0	24.0	20.5	15.9	10.6	7.1
Bargni	5.1	6.2	9.0	12.6	16.9	20.7	23.7	23.9	23.9	20.3	15.6	10.2	6.8
Calcinelli	5.5	6.5	9.2	12.8	17.1	20.9	23.8	23.8	23.8	20.4	15.7	10.4	7.0
Fossombrone	5.6	6.7	9.4	13.0	17.3	20.9	23.7	23.3	23.3	20.3	15.6	10.2	6.8
Fano	4.7	6.1	8.8	12.2	16.3	20.4	22.9	22.6	22.6	19.7	15.3	10.2	6.4
Mondolfo	5.0	6.0	8.8	12.4	16.6	20.4	23.3	23.2	23.2	19.8	15.1	9.9	6.5
Piagge	4.7	5.7	8.4	12.0	16.3	20.1	22.9	22.8	22.8	19.4	14.7	9.6	6.2

Tabella 7-5 Valori di temperatura dell' aria nelle stazioni termometriche reali e fittizie

### 7.2.4 Deflusso idrico globale (D)

Il termine **D** dell' equazione per il bilancio idrologico (7.1), rappresenta il deflusso idrico globale, espresso in altezza d' acqua (mm/a) o in volume d' acqua ( $m^3$ ). Il deflusso è dato dalla somma delle acque di ruscellamento (**R**) e di quelle di infiltrazione (**I**) da cui deriva l' espressione:

$$\mathbf{D} = \mathbf{R} + \mathbf{I} \quad (7.6)$$

Nella presente ricerca, il deflusso idrico globale è stato calcolato per ogni stazione pluvio-termometrica, effettuando la differenza tra la media delle precipitazioni annuali ed il valore di evapotraspirazione reale (Tab.7-6) calcolati come risulta dalla seguente espressione:

$$\mathbf{D} = \mathbf{P} - \mathbf{E}_r \quad (7.7)$$

Una suddivisione dell' area presa in considerazione per il calcolo del bilancio, è stata fatta utilizzando il metodo dei topoietai, una ricostruzione geometrica che ha permesso di suddividere tale area in poligoni ognuno dei quali è centrato in una stazione pluvio-termometrica. Ciascun poligono rappresenta l' area d' influenza della stazione pluvio-termometrica in esso contenuta. Infatti i valori di temperatura, di precipitazione, di evapotraspirazione e di deflusso di ciascun poligono, corrispondono a quelli della stazione inclusa. L' insieme di tali poligoni, da origine a quello che è noto in letteratura con il nome di *reticolo di Thiessen* (Fig. 7-4). Moltiplicando il valore di deflusso idrico calcolato per ciascuna stazione (Tab 7-6) per l' area del poligono relativo, si ottengono i volumi parziali di acqua di deflusso ed infine il volume totale, in  $m^3/a$  (Tab.7-7).

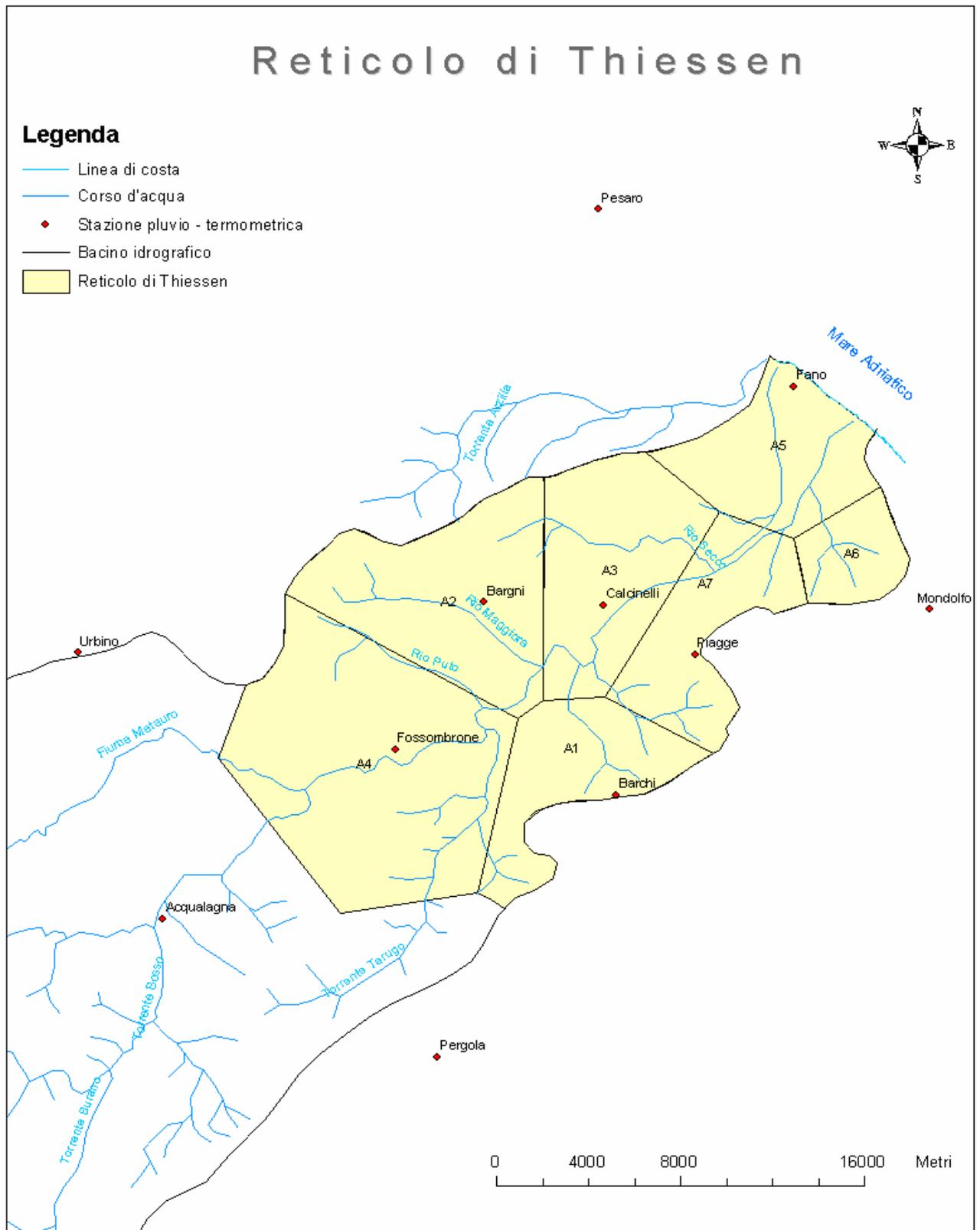


Figura 7-4 Reticolo di Thiessen costruito con il metodo dei topoi, utilizzato per il calcolo dei volumi di deflusso il rivo

STAZIONI PLUVIOMETRICHE REALI	PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI (mm) REALI												MEDIA PRECIPITAZIONI ANNUALI	Tp (°C)	L (mm/a)	Er (mm/a)	D (mm/a)
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D					
	Barchi	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9	74.9					
Bargni	75.9	71.4	77.3	74.4	67.3	63.0	49.2	62.3	77.5	81.3	103.4	74.7	877.6	13.6	767.4	590.6	287.0
Calcinelli	80.3	73.1	79.5	77.0	67.2	67.1	53.9	66.1	80.6	88.6	116.8	83.2	933.4	13.8	775.5	609.1	324.3
Fossombrone	85.3	85.7	92.0	84.7	74.3	67.0	60.6	66.0	83.8	87.1	112.2	91.3	989.8	13.6	767.8	618.4	371.4
Fano	70.7	60.1	65.4	57.5	54.7	48.5	51.6	52.4	76.6	74.0	95.5	72.5	779.6	13.2	745.8	552.3	227.3
Mondolfo	70.4	66.4	70.9	61.1	60.5	54.5	48.7	60.7	68.1	76.3	97.4	72.8	807.6	13.3	749.6	562.6	245.0
Piagge	72.4	67.0	74.8	66.9	69.3	61.7	50.3	71.3	71.8	78.4	103.0	71.8	858.8	13.1	741.9	573.8	285.0

Tabella 7-6 Calcolo del deflusso idrico globale (D) per ogni stazione pluviometrica e valori di temperatura utilizzati sono riportati nella tabella 7-5

Poligoni di Thiessen	Aree poligoni di Thiessen (Km <sup>2</sup> )	Deflusso medio nelle aree (mm/a)	Volume di deflusso nelle aree (m <sup>3</sup> /a)
A <sub>1</sub>	40.82	278.7	11.3 x 10 <sup>6</sup>
A <sub>2</sub>	69.06	287.0	19.8 x 10 <sup>6</sup>
A <sub>3</sub>	58.47	324.3	18.9 x 10 <sup>6</sup>
A <sub>4</sub>	118.76	371.4	44.1 x 10 <sup>6</sup>
A <sub>5</sub>	43.95	227.3	9.9 x 10 <sup>6</sup>
A <sub>6</sub>	18.23	245.0	4.4 x 10 <sup>6</sup>
A <sub>7</sub>	42.17	285.0	12 x 10 <sup>6</sup>
	<b>Area Totale considerata (Km<sup>2</sup>)</b>		<b>Volume totale di deflusso idrico nell'area considerata (m<sup>3</sup>/a)</b>
	<b>391.46</b>		<b>12.04 x 10<sup>6</sup></b>

Tabella 7-7 Volumi parziali di acqua di deflusso per ciascun poligono del reticolo di Thiessen e volume totale di deflusso dell'intera area considerata.

### 7.3 Analisi dei risultati

Dalle analisi effettuate, la parte di bacino del fiume Metauro presa in considerazione per la valutazione del bilancio idrologico (Fig. 7-1), risulta avere un volume totale di deflusso idrico pari a  $12.04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ , diversamente distribuito nel territorio tra le zone più interne e a quote maggiori e quelle pianeggianti verso costa, in relazione alla diversa piovosità ed alla diversa evapotraspirazione che caratterizza tali zone. I deflussi minori si hanno nei poligoni in prossimità della costa (Fig. 7-5 e 7-6), dove i valori vanno da un massimo di  $9.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$  per il poligono A<sub>5</sub>, che include la stazione pluviometrica di Fano ed un minimo di  $4.4 \times 10^6$  nel poligono A<sub>6</sub>, che include quella di Mondolfo. Il valore maggiore di deflusso, si ha nel poligono più a monte che riguarda zone più interne e a quote più elevate; in tale poligono, che include la stazione di Fossombrone, si raggiunge il massimo valore di deflusso idrico pari a  $44.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ . E' proprio da tali zone più interne, dunque, che si hanno i maggiori contributi per le risorse idriche nel settore studiato.

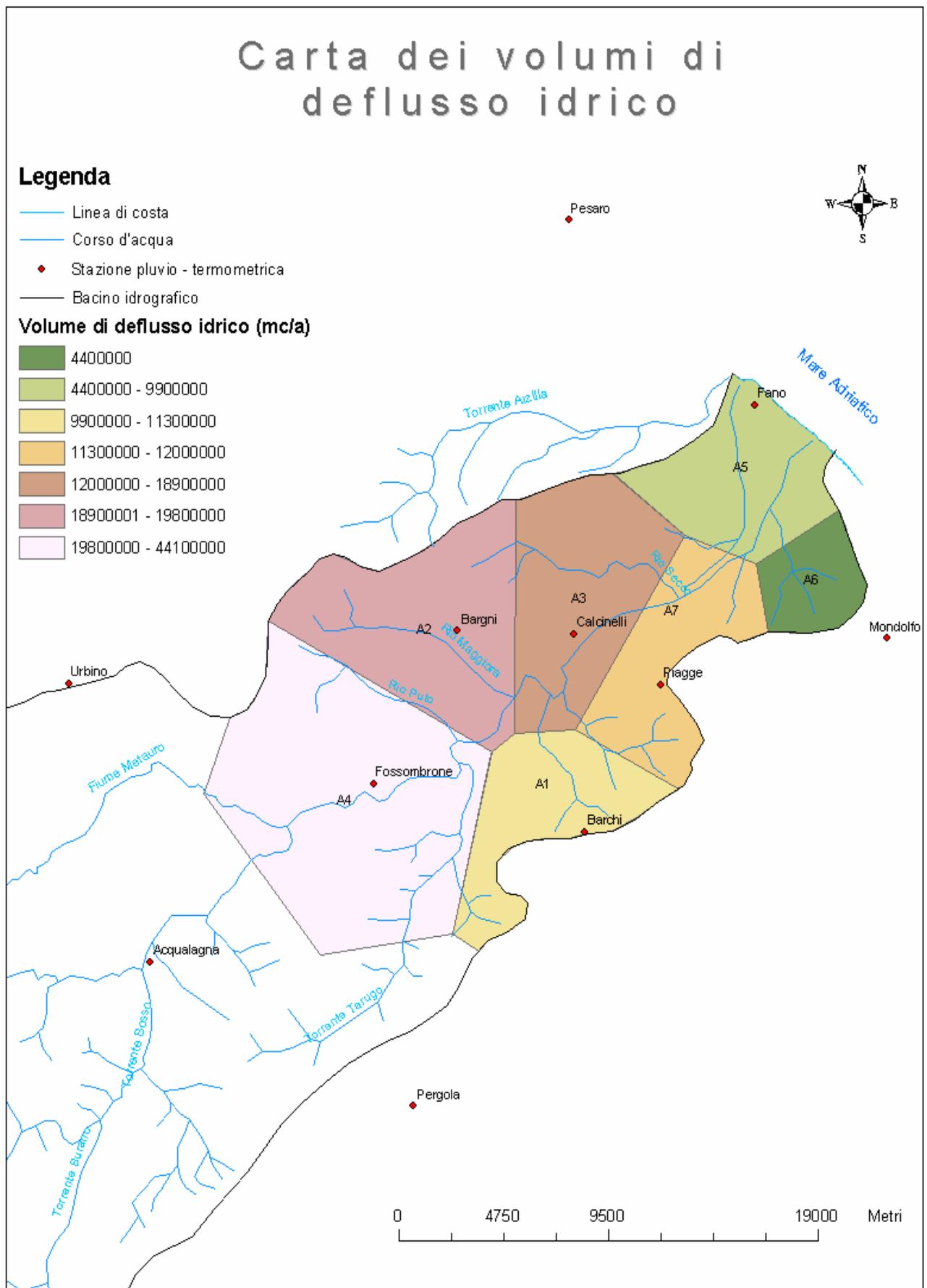


Figura 7-5 Volume di deflusso idrico distinto per i vari top oietti (mc/a)

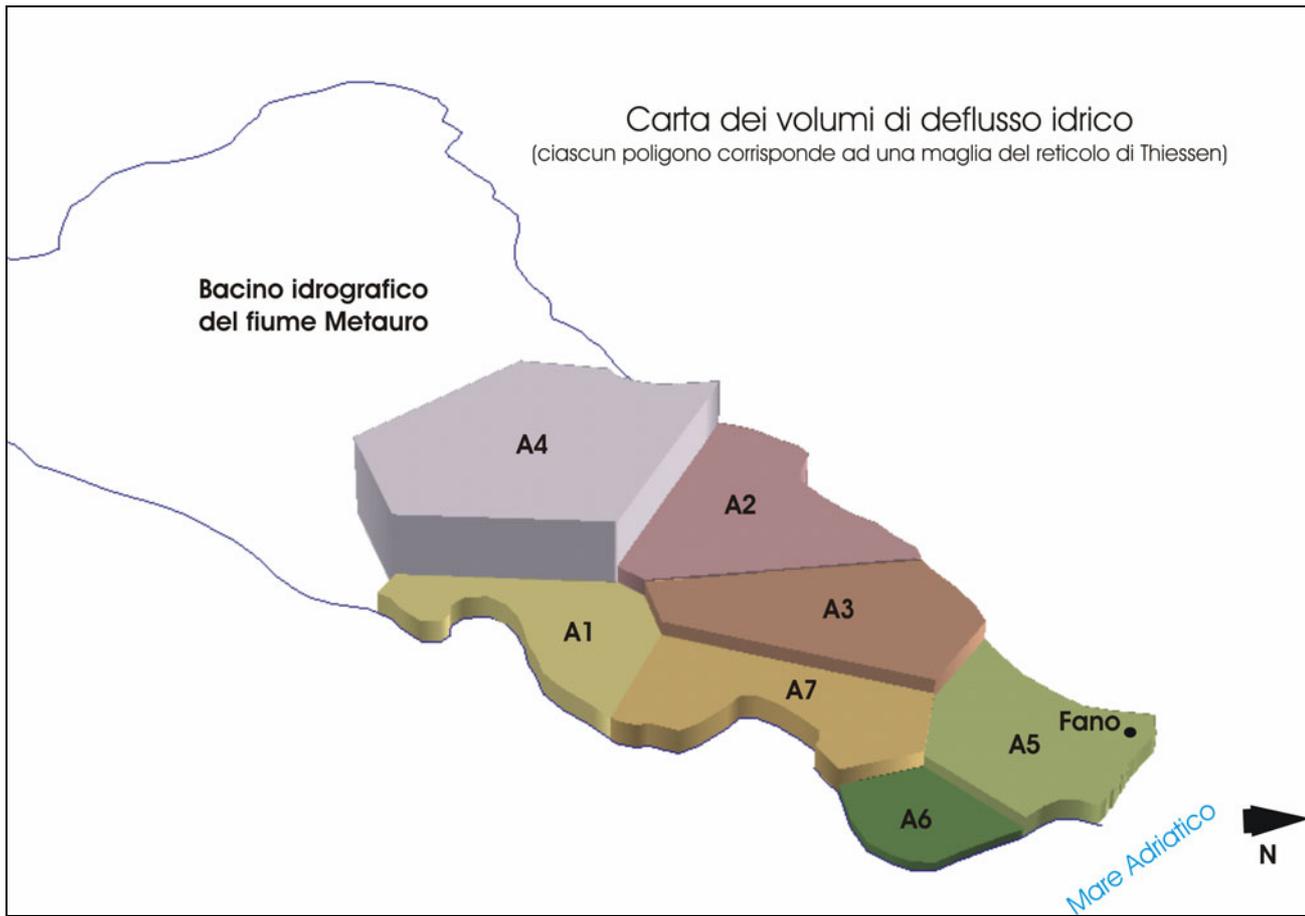


Figura 7-6 Valori di deflusso idrico visualizzati tramite volumi.

## **Capitolo 8**

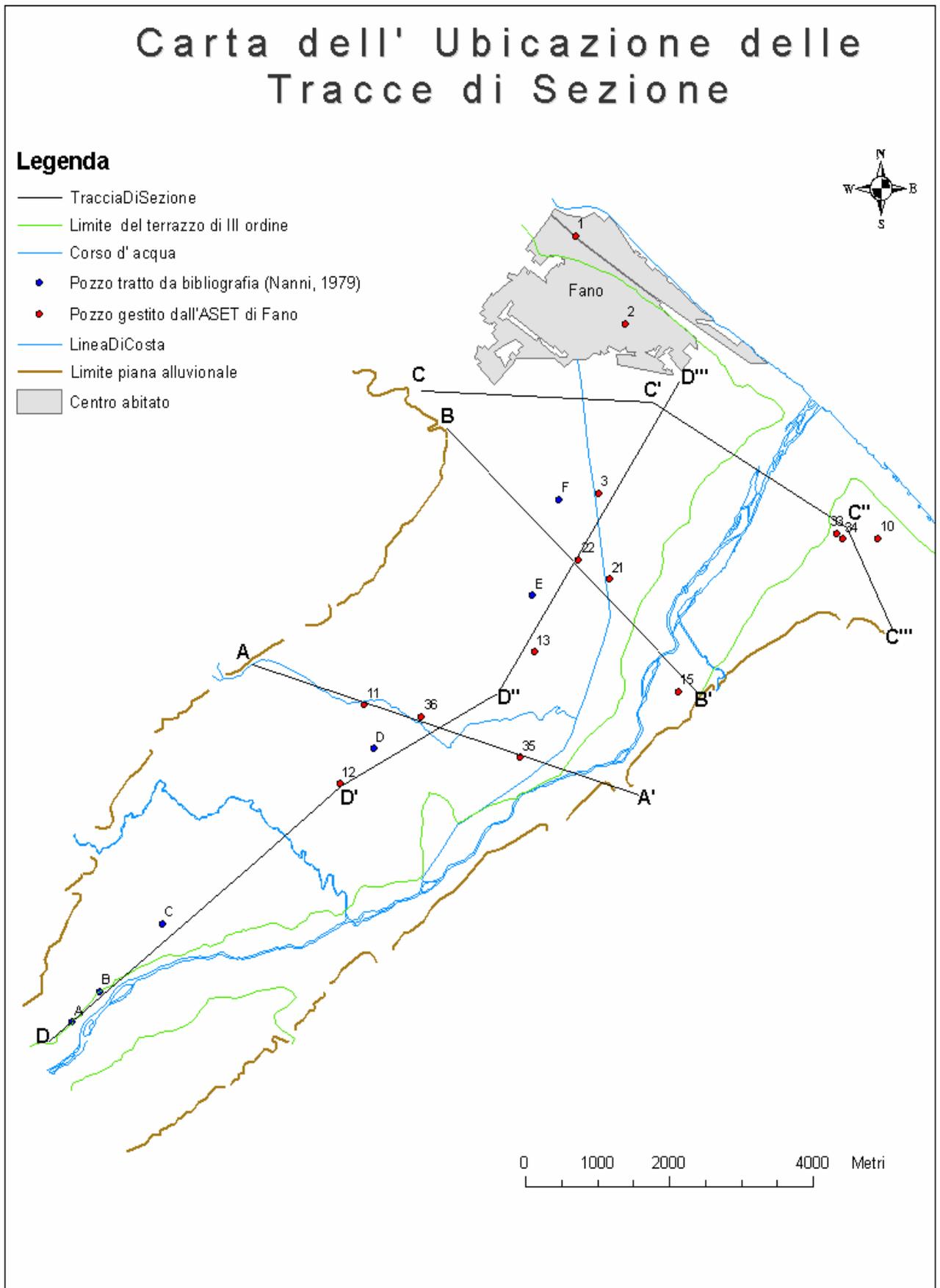
### **ANALISI DELL' ACQUIFERO**

#### **8.1 Geometria dell' acquifero**

Al fine di effettuare una ricostruzione approssimativa delle geometrie dell' acquifero considerato, sono stati presi in esame dati stratigrafici relativi ad alcuni pozzi di proprietà del Comune di Fano, mentre altre informazioni riguardanti le stratigrafie sono state ottenute da un lavoro precedentemente svolto nella medesima area ( Nanni, 1985). Sono state elaborate in tutto quattro sezioni stratigrafiche, interpretando i dati a disposizione (Figure 8-1; 8-2; 8-3; 8-4 ). L' orientazione spaziale di tali sezioni, è mostrata in figura 8-5, in cui sono riportati anche, i pozzi da cui sono stati desunti i dati.

Da un' analisi dell' interpolazione delle quattro sezioni, risulta che lo spessore dell'acquifero, in generale, varia da monte verso valle, in particolare è meno spesso a monte, con valori da 5 ai 15m ed è di gran lunga più spesso in prossimità della costa, circa 40 m di spessore. I depositi alluvionali della pianura in questione, sono costituiti da corpi ghiaiosi, ghiaioso – sabbiosi, che interessano gran parte dell'acquifero, all' interno del quale si rinvengono corpi lenticolari variamente estesi, composti da depositi fini argillosi, argilloso-sabbiosi ed argilloso-limosi. Tali lenti di materiali fini, dalla ricostruzione effettuata, non sembrano impedire il contatto idraulico tra i differenti corpi ghiaiosi.

Più in dettaglio, nella parte più a monte della pianura, il materasso alluvionale presenta gli spessori minori rispetto al resto dell' acquifero, intorno ai 15 m. Qui predomina il corpo ghiaioso, affiorante anche in superficie; sono presenti contestualmente alcune lenti argilloso-ghiaiose e argilloso-limose di limitata estensione. In questa zona è quindi presente un acquifero con caratteristiche di monostrato.



**Figura 8-5** Carta dell' orientazione delle tracce di sezione, nella quale sono riportati anche i sondaggi di proprietà del comune di Fano e quelli tratti dalla bibliografia (Nanni, 1979), dai quali sono state desunte le stratigrafie

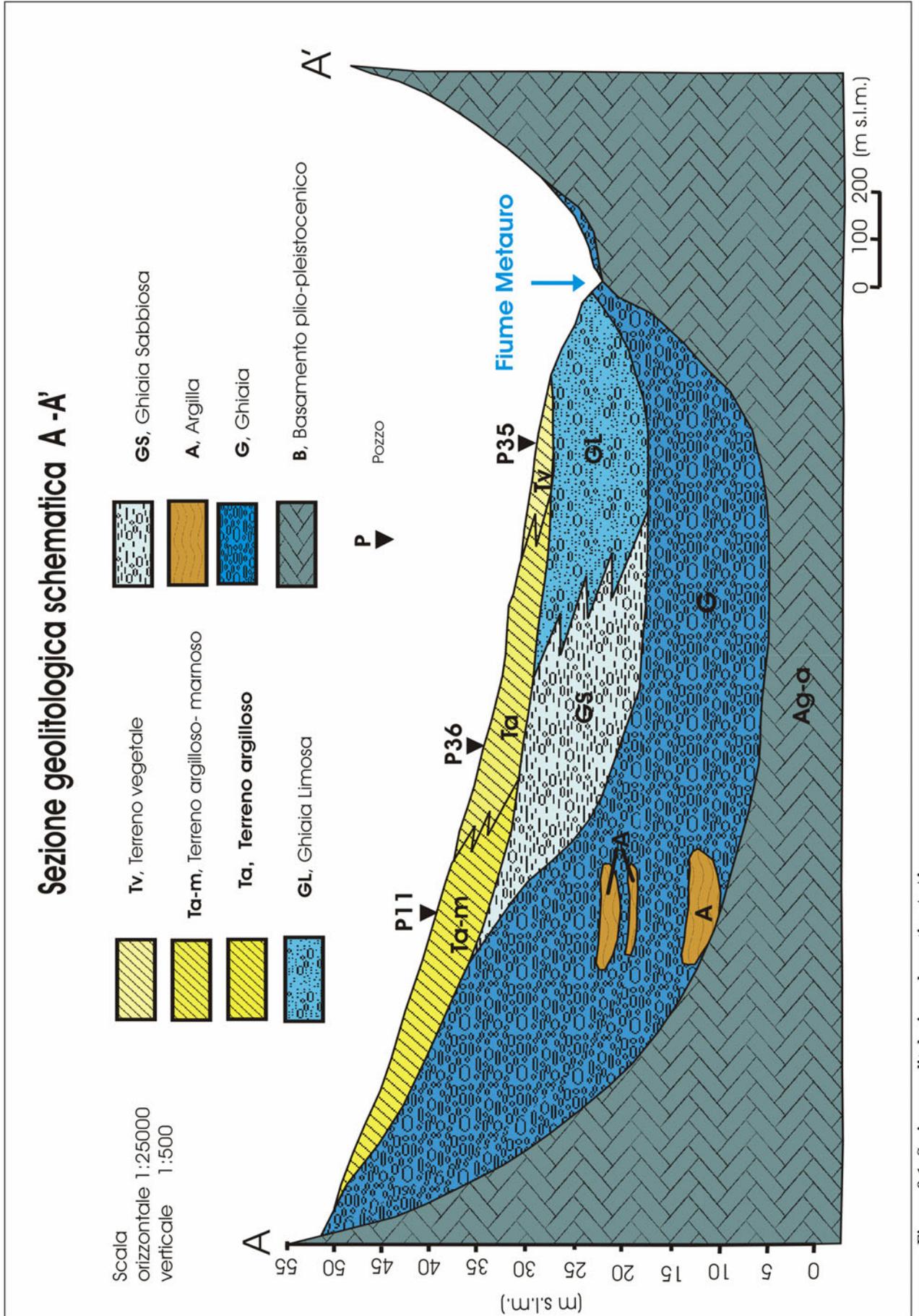


Figura 8-1 Sezione geolitologica schematica A-A'

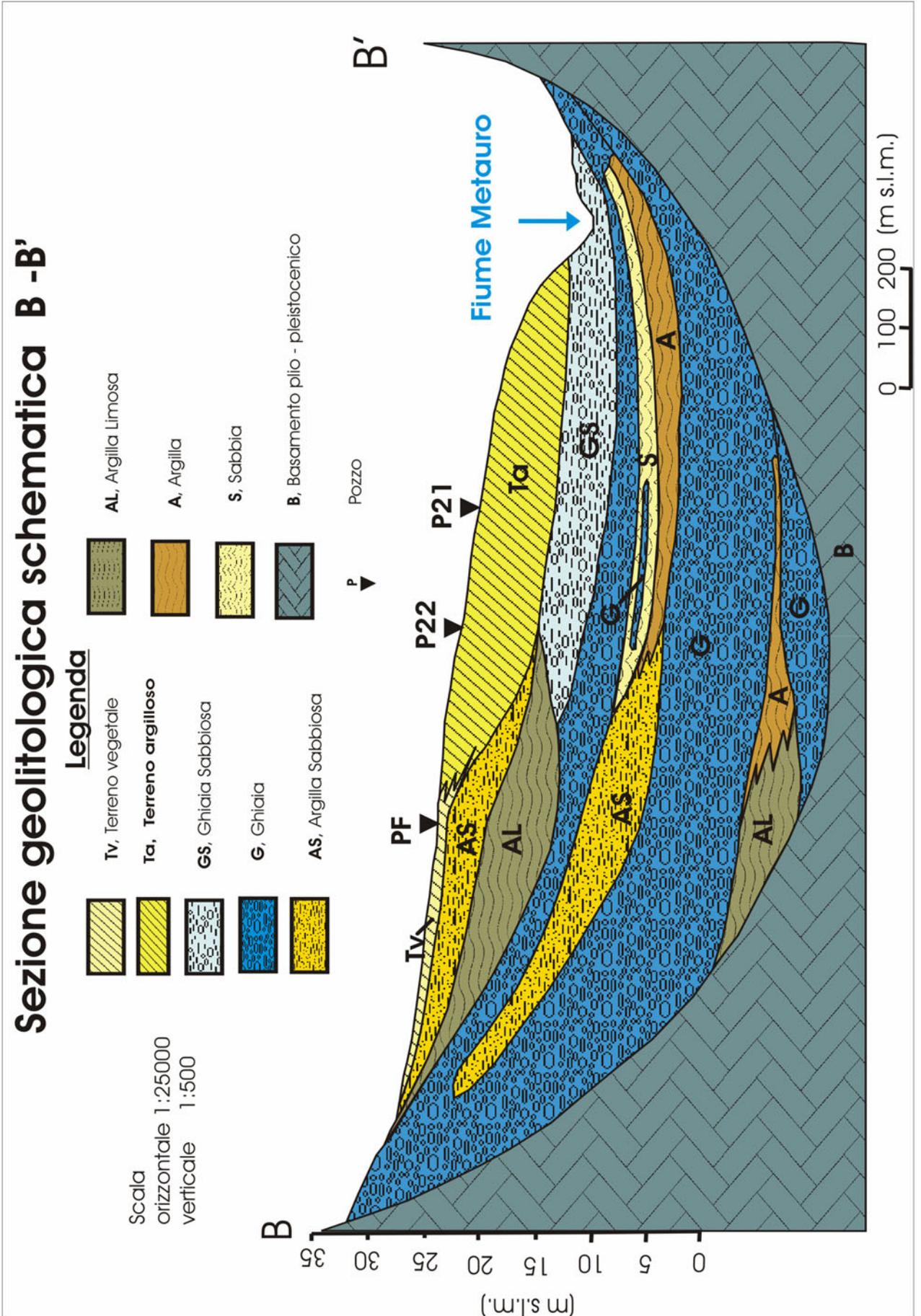


Figura 8-2 Sezione geolitologica schematica B-B'

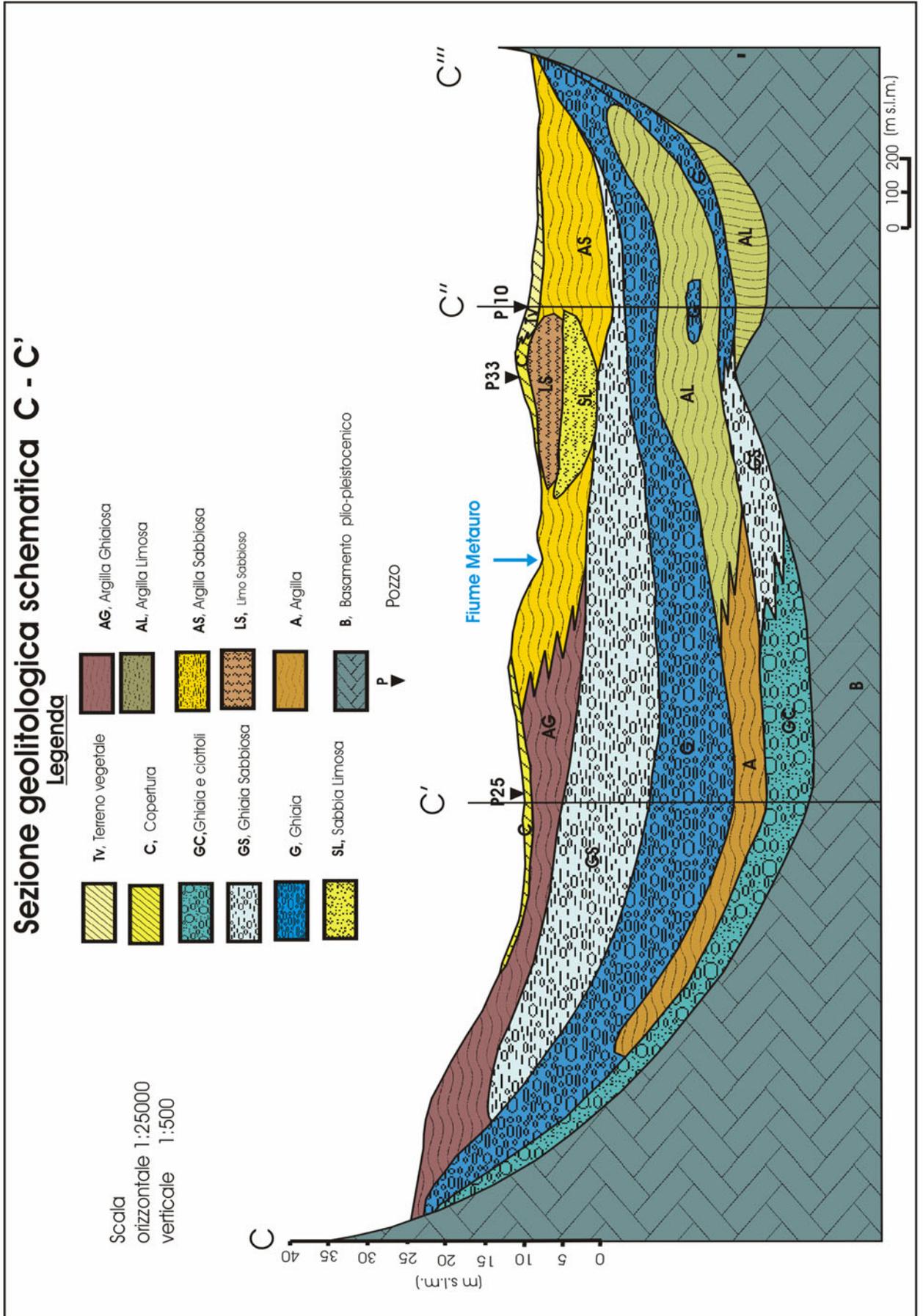


Figura 8-3 Sezione geolitologica schematica C-C'-C''-C'''

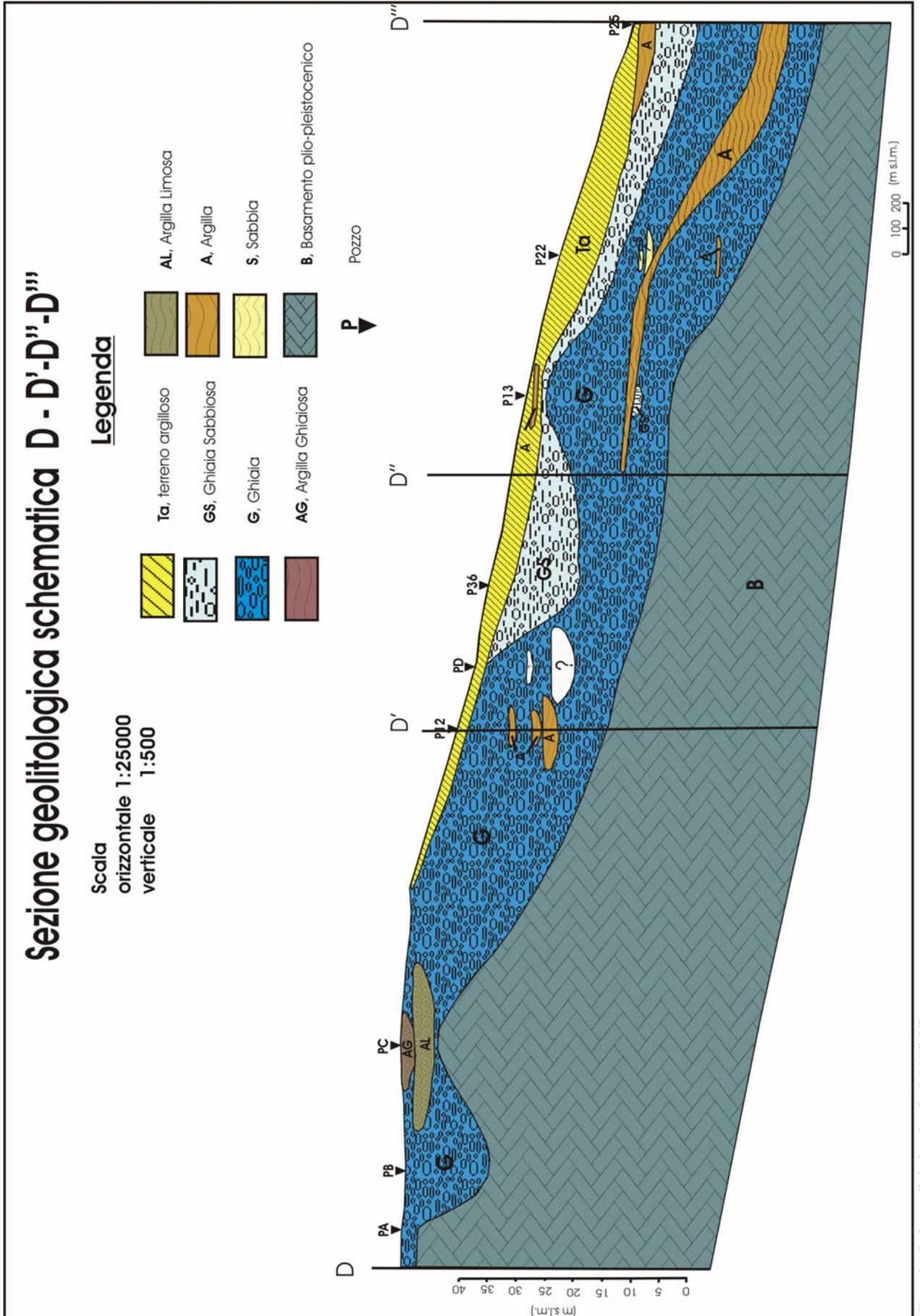


Figura 8-4 Sezione geolitologica schematica D-D'-D''-D'''

Nella parte intermedia, lo spessore dell' acquifero tende ad aumentare, infatti si raggiungono spessori di circa 30 m ; qui si ha la presenza di copertura, anche se di limitato spessore (dai 2 ai 5 m) e si iniziano a rinvenire corpi ghiaioso- sabbiosi e ghiaioso-limosi; questi ultimi predominano nella porzione di acquifero considerato, ma si ha ugualmente la presenza di corpi lenticolari argillosi, anche se la loro estensione è ancora limitata. L' acquifero può ancora essere considerato, in generale, come un monostrato. In prossimità del fiume Meturo, affiora il substrato, come risulta dalla sezione A-A' (Fig. 8-1) ; questo fa presumere una diminuzione laterale di un ipotetica sezione trasversale della coltre alluvionale interessata dalle acque sotterranee .

In prossimità della costa, gli spessori dell' acquifero raggiungono i massimi valori, di circa 40 m. L' acquifero, inoltre, risulta essere più complesso. Infatti, sono sempre presenti spessi corpi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, ai quali si intercalano ampie e spesse lenti argillose, argilloso-sabbiose e argilloso-limose. Tali lenti, a bassa permeabilità, possono conferire all' acquifero localmente, caratteristiche di multistrato, suddividendolo in più falde sovrapposte.

La configurazione morfologica di cui si è discusso ampiamente nel paragrafo 4.4, è tale da limitare l' acquifero ai soli terrazzi di III e IV ordine, in quanto i terrazzi più alti, sono a quote troppo elevate rispetto al “talweg” attuale. La falda della pianura alluvionale in esame, è sostenuta dall' “acquiclide” costituito principalmente dal substrato plio-pleistocenico.

## 8.2 Andamento del substrato

Le alluvioni terrazzate, insistono essenzialmente sui termini politico-arenacei della successione plio-pleistocenica marchigiana. Nel complesso il substrato è costituito essenzialmente da rocce impermeabili. L' andamento del basamento, da monte verso valle, presenta una certa pendenza verso la costa; in sinistra idrografica il substrato si presenta, nella parte medio alta, inclinato con pendenza diretta dai terrazzi più alti verso l'asta fluviale; tale inclinazione verso l' asta fluviale, si riscontra anche in destra idrografica (Fig 8-6). Nella parte alta della valle, il

substrato presenta un anomalo approfondimento a forma di conca, seguito da una sella che sembra metterlo in comunicazione con un altro approfondimento, di forma longitudinale che da qui prosegue fino al mare.

L' andamento delle isolinee mette ben in evidenza tale anomalia, infatti, verso la foce del fiume i valori arrivano anche a 30 m sotto il livello del mare. Tale incisione, parallela all'asta fluviale, è indice della presenza di un paleoalveo ubicato più a nord rispetto all'attuale alveo del fiume Metauro. La presenza di un paleoalveo in sinistra idrografica nella parte medio bassa della valle, è una caratteristica comune a buona parte delle pianure alluvionali marchigiane; altra caratteristica comune è la presenza di anomalie nel substrato, legate a fenomeni tettonici. Infatti, come già analizzato nel paragrafo 4.3, la successione plio-pleistocenica, compresi i depositi terrazzati alluvionali, è interessata da un'attività tettonica legata ad un sistema di faglie trasversali e longitudinali all' asta fluviale.

Tale attività ha fortemente condizionato la morfologia del substrato e di conseguenza la geometria dei depositi alluvionali. Un evidenza di queste fenomenologie, oltre che nella carta dell'andamento del substrato finora analizzata, si nota anche nelle varie sezioni ed in particolare nella sezione D-D'-D''-D''' (Fig. 8-4), dove l' andamento del substrato presenta anomali dossi ed avvallamenti. Tali anomalie sono localizzate, in particolare, in corrispondenza delle perforazioni "PB", dove è presente un avvallamento, infatti il basamento raggiunge profondità di circa 15 m dal piano campagna; "PC" dove si evidenzia un primo dosso, infatti il substrato si trova a profondità tra i 7 e gli 8 m dal p.c. e "P13" dove è ubicato un altro dosso di dimensioni minori, infatti il rialzo è dell' ordine dei 5 m rispetto all' andamento normale del substrato.

L'origine di questi dossi ed avvallamenti, trasversalmente all' asta fluviale, potrebbe essere attribuita proprio all' assetto tettonico. Immaginando di prolungare verso NW la presunta faglia indicata col numero romano II (Fig. 4-5), questa sembra passare nelle vicinanze del pozzo "P13". Ugualmente, eseguendo la stessa operazione per la faglia indicata con il numero romano IV, quest' ultima passa nei pressi della perforazione "PC".

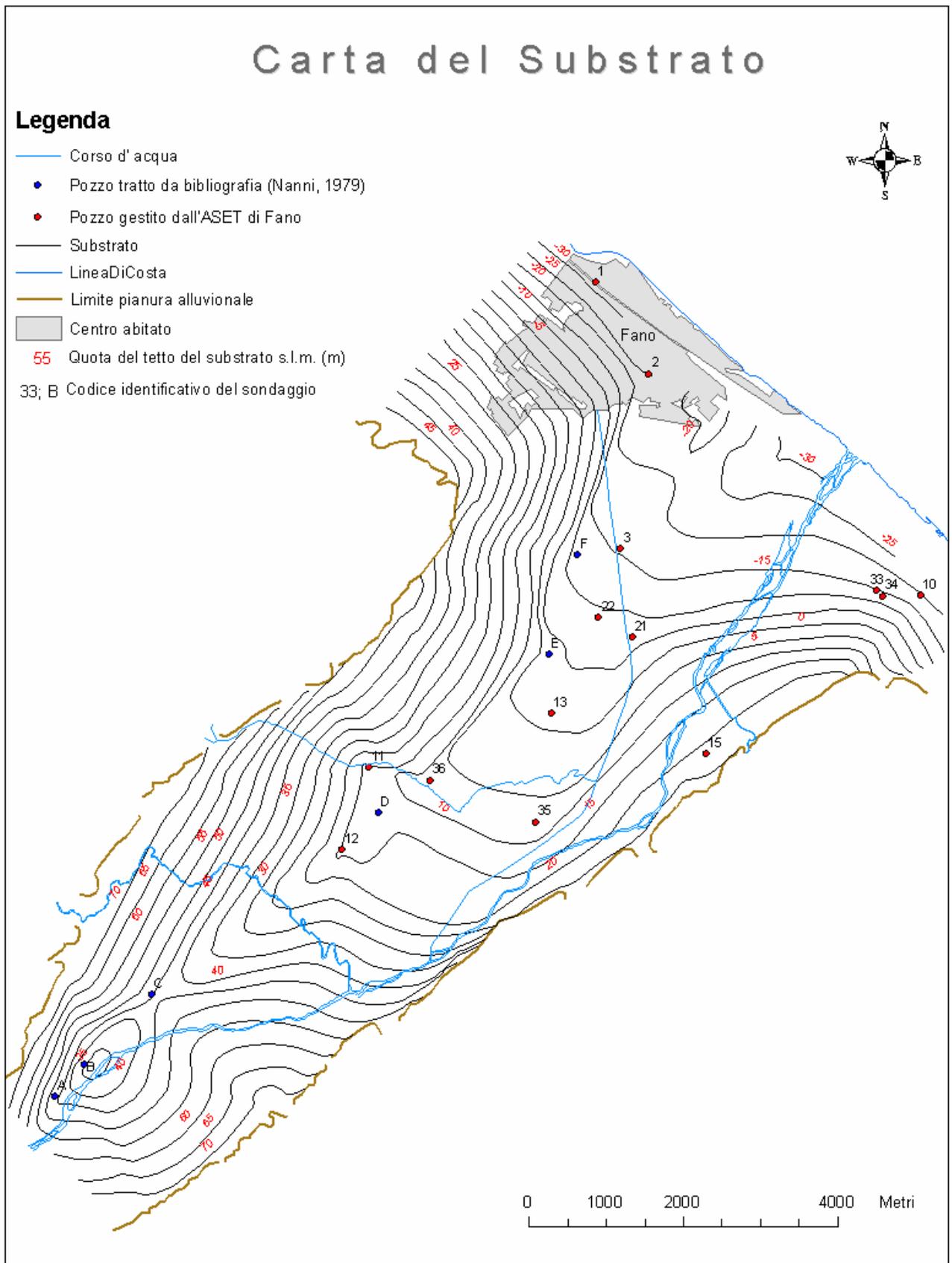


Figura 8-6 Carta dell' andamento del tetto del substrato impermeabile; vengono riportati anche i sondaggi dai q quali sono state desunte le stratigrafie

## Capitolo 9

# IDRODINAMICA SOTTERRANEA

### 9.1 Caratteristiche idrodinamiche dell' acquifero

L' indagine freaticometrica è stata condotta in due periodi dell' anno, una nel periodo di morbida agli inizi del mese di maggio dell' anno 2004 ed una, nel periodo di magra, agli inizi del mese di Ottobre del medesimo anno. Le misure freaticometriche, effettuate in corrispondenza dei pozzi censiti (Tab. 9-1e 9-2), hanno permesso la ricostruzione della morfologia piezometrica; tali misure sono state eseguite tramite l' utilizzo di un freaticometro (Fig. 9-1).



**Figura 9-1** Freaticometro, strumento utilizzato nella ricerca idrogeologica per effettuare misure di profondità della superficie piezometrica

Le altezze piezometriche sono state riferite al livello medio del mare e le quote dei pozzi sono state misurate in campagna o desunte dalle ortofotocarte in scala 1:10 000, l' equidistanza scelta tra le isolinee è di 5 m (Figura 9-2 e 9-3) . Le carte piezometriche redatte, forniscono informazioni riguardo l' idrodinamica della falda, i gradienti idraulici, i rapporti falda - fiume e le principali direzioni di deflusso idrico sotterraneo. Un maggior dettaglio sugli andamenti delle piezometrie, richiederebbe un raffittimento dei punti di misura sul territorio esaminato.

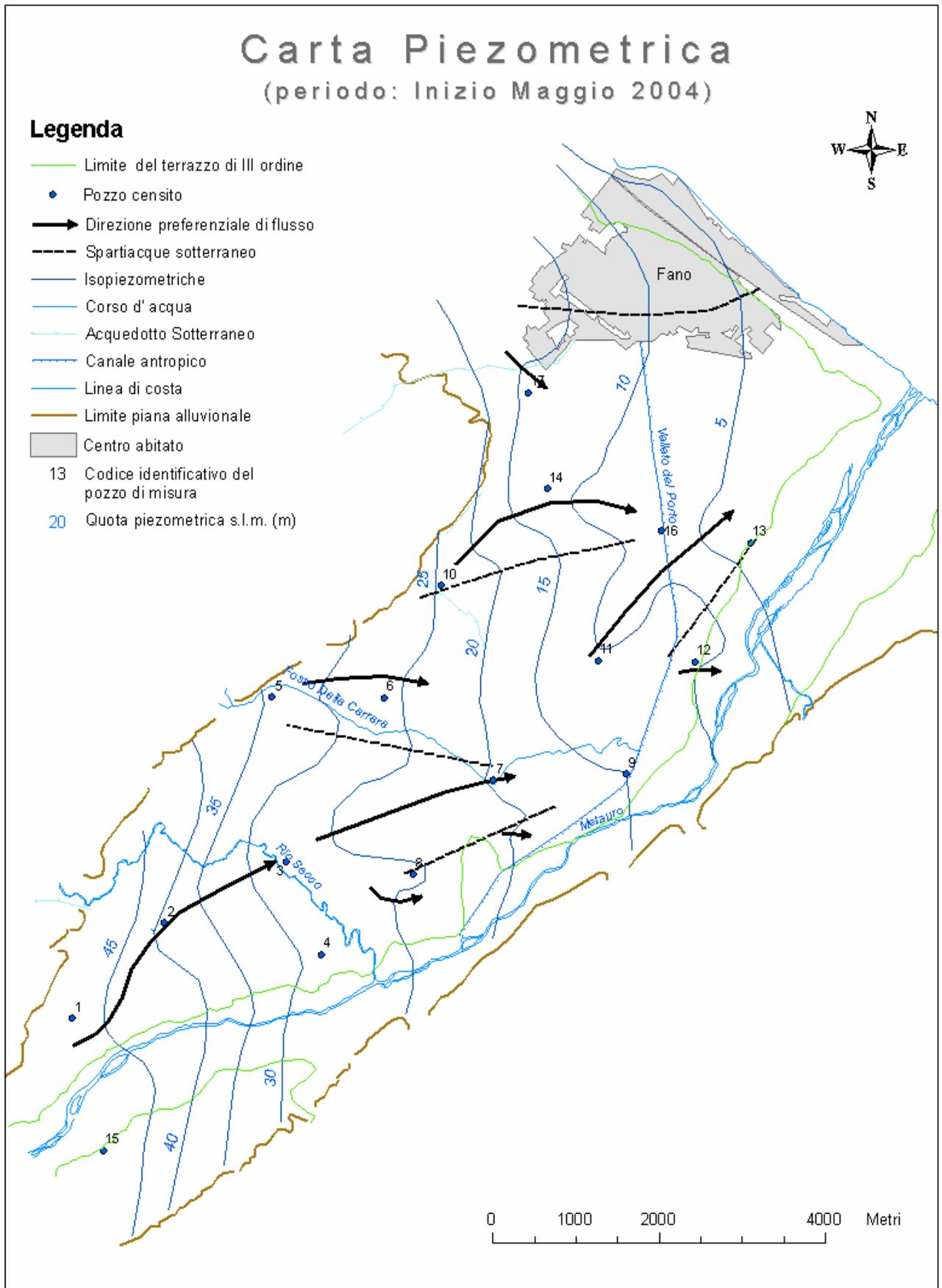


Figura 9-2 Carta piezometrica relativa al periodo: inizio Maggio dell'anno 2004

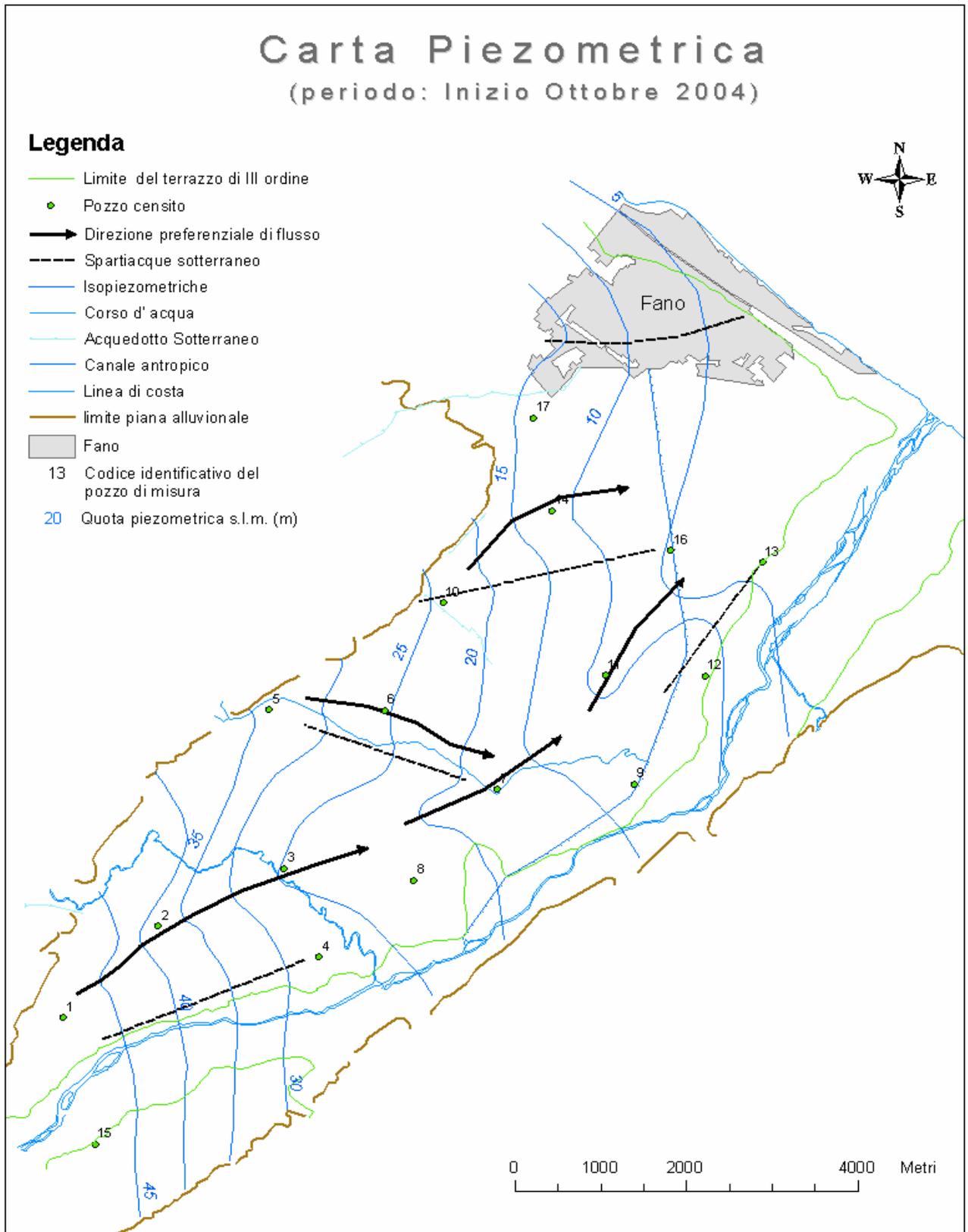


Figura 9-3 Carta piezometrica relativa al periodo: inizio Ottobre dell' anno 2004

Una delle prime considerazioni che si possono desumere da una ricostruzione della piezometria, riguarda i rapporti tra la falda e il fiume, al fine di effettuare una valutazione più completa delle risorse idriche sotterranee. Tali rapporti possono essere molto complessi, perché variano in relazione alla permeabilità delle rocce ed alle escursioni stagionali dei livelli idrici.

L'andamento piezometrico nell'acquifero della bassa valle del Metauro, evidenzia che nella parte alta della valle, in sinistra idrografica, il fiume alimenta la falda, con flusso diretto verso il paleoalveo principale; in tale zona inoltre, si nota la presenza di uno spartiacque sotterraneo nelle vicinanze del fiume, con andamento circa parallelo a questo. Nel medesimo settore, in destra idrografica, è invece la falda ad alimentare il fiume. Verso valle i rapporti si invertono, in quanto si ha che la falda alimenta il fiume in sinistra idrografica ed il fiume alimenta la falda in destra idrografica. In sinistra idrografica, si rileva la presenza di spartiacque di minore entità rispetto al precedente, ubicati questa volta a distanza maggiore dal fiume, ma con medesimo andamento parallelo all'asse fluviale.

Le variazioni dei gradienti idraulici, individuano due settori principali, uno a monte ed uno a valle dell'affluente Rio Secco, a gradienti idraulici differenti. Il primo settore a monte di tale affluente, in cui si hanno i maggiori valori del gradiente dell'intera bassa valle alluvionale del fiume Metauro, presenta gradienti che vanno approssimativamente da 0.8% a 2%; in particolare i valori più alti si riscontrano in sinistra idrografica andando verso il limite settentrionale della piana. L'altro settore, a valle del Rio Secco, presenta dei gradienti più bassi, variabili tra 0.2% e 0.7% circa; tali valori, che corrispondono a pendenze minori della superficie piezometrica, sono localizzati in corrispondenza del paleoalveo, indice di una maggior trasmissività dei materiali ivi presenti. Nella parte medio alta della pianura alluvionale, le isopiezometriche tendono ad intersecare il limite della pianura in maniera circa perpendicolare, contrariamente alla parte lungo costa, in cui le stesse, tendono ad avere un andamento circa parallelo sia alla linea di costa, che al limite settentrionale della valle il quale, nei pressi di Fano, tende ad allinearsi in direzione NW.

Le direzioni preferenziali di deflusso, evidenziano un drenaggio principale della falda, localizzato in sinistra idrografica, dove predomina il terrazzo di III ordine, con andamento parallelo all' attuale corso d' acqua. Tale distribuzione spaziale, con buona approssimazione, è attribuita alla presenza del paleoalveo principale. In prossimità dell' affluente Fosso della Carrara, si può notare inoltre un deflusso preferenziale parallelo a tale corso d' acqua, che evidenzia un apporto idrico dalle colline pleistoceniche che bordano la valle nel settore nord-occidentale, non solo superficiale, ma anche sotterraneo.

<b>n° Pozzo</b>	<b>Quota p.c. h (m s.l.m.)</b>	<b>Altezza boccapozzo- p.c. H (m)</b>	<b>Profondità piezometrica Zw (m)</b>	<b>Soggia- cenza z =Zw-H m</b>	<b>Quota piezometrica hw =h-z m s.l.m.</b>	<b>Temperatura dell' acqua (°C)</b>	<b>Conducibilità (<math>\mu</math>S / cm)</b>	<b>PH</b>
1	56	0.20	7.33	7.13	48.87	14.8	465	7.05
2	55	0.32	16.90	16.58	38.42	16.6	737	6.96
3	45	--	18.55	18.55	26.45	15.7	894	5.97
4	38	0.19	10	9.81	28.19	15.9	906	7.07
5	51	0.70	17.30	16.60	34.40	16.1	1032	7.25
6	40	0.90	14.60	13.70	26.30	14.9	845	7.65
7	33	0.65	13.93	13.28	19.72	15	666	7.80
8	37	0.35	11.76	11.41	25.59	15.8	853	7.47
9	27	0.80	12.65	11.85	15.15	16.6	709	7.70
10	35	0.80	10.84	10.04	24.96	17.4	921	7.76
11	26	0.55	16.25	15.70	10.30	16.5	858	7.62
12	18	0.23	3.91	3.67	14.33	16	651	7.80
13	15	--	12.31	12.31	2.69	16.2	725	7.68
14	25	0.23	13.92	13.96	11.04	16	869	7.60
15	63	0.10	13.50	13.40	49.60	15.7	1396	7.30
16	20	0.38	13.60	13.22	6.78	16	1001	7.65
17	24	0.64	10.57	9.93	14.07	16.5	947	7.60

**Tabella 9-1** Misure di campagna effettuate in corrispondenza dei pozzi censiti, relative al periodo inizio Maggio 2004 (Temperatura atmosferica: 14°C)

n° Pozzo	Quota p.c. <b>h</b> (m s.l.m.)	Altezza boccapozzo- p.c. <b>H</b> (m)	Profondità piezometrica <b>Z<sub>w</sub></b> (m)	Soggia- cenza <b>z =</b> <b>Z<sub>w</sub>-H</b> (m)	Quota piezometrica <b>h<sub>w</sub> = h-z</b> (m s.l.m.)	Temperatura dell' acqua (°C)	Conducibilità ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ )	<b>PH</b>
1	56	0.2	7.33	7.13	48.87	15.7	581	7.48
2	55	0.32	17.8	17.48	37.52	15.5	1449	7.02
3	45	--	20.60	20.60	24.4	16.2	896	7.03
4	38	0.19	11.20	11.01	26.99	15	1897	6.86
5	51	0.7	17.70	17	34	16	1941	6.63
6	40	0.9	15.30	14.4	25.6	14.9	1723	6.66
7	33	0.65	16.2	15,55	17.45	16.5	680	7.34
8	37	0.35	14.52	14.17	22.83	15.4	1664	6.4
9	27	0.8	14.5	13.7	13.3	17	696	7.26
10	35	0.8	11.27	10.47	24.53	16.5	966	7.39
11	26	0.55	17.5	16.95	9.05	17	855	7.43
12	18	0.23	4.6	4.37	13.63	17	675	7.54
13	15	--	12	12	3	17	729	7.47
14	25	0.23	14.1	13.87	11.13	16.2	915	7.51
15	63	0.1	14.5	14.4	48.6	16.8	1633	6.5
16	20	0.38	15.30	14,92	5.08	16	1042	7.22
17	24	0.64	11.15	10.51	13,49	16.6	754	7.42

**Tabella 9-2** Misure di campagna effettuate in corrispondenza dei pozzi censiti, relative al periodo inizio Ottobre 2004 (Temperatura atmosferica: 20°C)

### 9.1.1 Oscillazioni piezometriche

Dal confronto tra le due piezometrie, relative ai mesi di Maggio e di Ottobre, non si riscontrano sostanziali differenze, a parte uno spartiacque più accentuato in sinistra idrografica, tra gli affluenti Rio Secco e Fosso della Carrara, rinvenibile nella carta piezometrica relativa al mese di Maggio (Fig. 9-2). Anche i deflussi

principali ed i gradienti, non subiscono evidenti variazioni tra il periodo di morbida e quello di magra. Nelle misure puntuali effettuate nei pozzi censiti (Tab. 9-1 e 9-2), si nota un lieve abbassamento della superficie piezometrica (maggiori valori di profondità della piezometrica dal piano campagna nelle Tab. 9-2 rispetto alla Tab. 9-1) nel mese di Ottobre rispetto al mese di Maggio. Tale abbassamento oscilla tra valori di uno e due metri.

### 9.1.2 Analisi storiche

Al fine di effettuare un confronto tra la morfologia della superficie piezometrica ricostruita nella presente tesi e ricostruzioni storiche, è stata svolta una ricerca bibliografica, tramite la quale è stato possibile reperire andamenti delle piezometrie ricostruite in precedenti lavori, eseguiti nella valle alluvionale del fiume Metauro. Tali andamenti, insieme ai valori numerici ad essi connessi, sono stati inseriti nel geodatabase per rendere più agevole il confronto.

Una ricostruzione della superficie piezometrica relativa all' anno 2000 (non è stato possibile risalire al mese), è stata eseguita dal Dott. Gianni Papaveri, il quale prende in considerazione misure freaticometriche effettuate dall' ASET, per conto del comune di Fano (Fig. 9-4). L' autore utilizza l' equidistanza 2m tra le isolinee della superficie piezometrica. Dal confronto tra tale ricostruzione e le carte piezometriche della presente tesi, non si riscontrano differenze di rilievo. Nell' area compresa tra il Rio Secco e il Fosso della Carrara, zona della pianura alluvionale in esame più distante dalla costa, , si rinvengono i più alti valori del gradiente idraulico, come, del resto, anche nelle carte piezometriche esaminate nel paragrafo 9.1. Invece verso costa, si ha un aumento dello spaziamento tra le curve isopiezometriche, quindi una diminuzione dei gradienti. La morfologia assunta dalle isolinee in sinistra idrografica, è indice della presenza del paleoalveo principale in questa parte di acquifero. In prossimità della costa, per valori inferiori ai 2 m della quota piezometrica, viene raffittita l' equidistanza tra le isolinee, per mettere in evidenza un' intrusione marina localizzata in destra idrografica nelle vicinanze della foce del fiume Metauro, più esattamente in località Metaurilia.

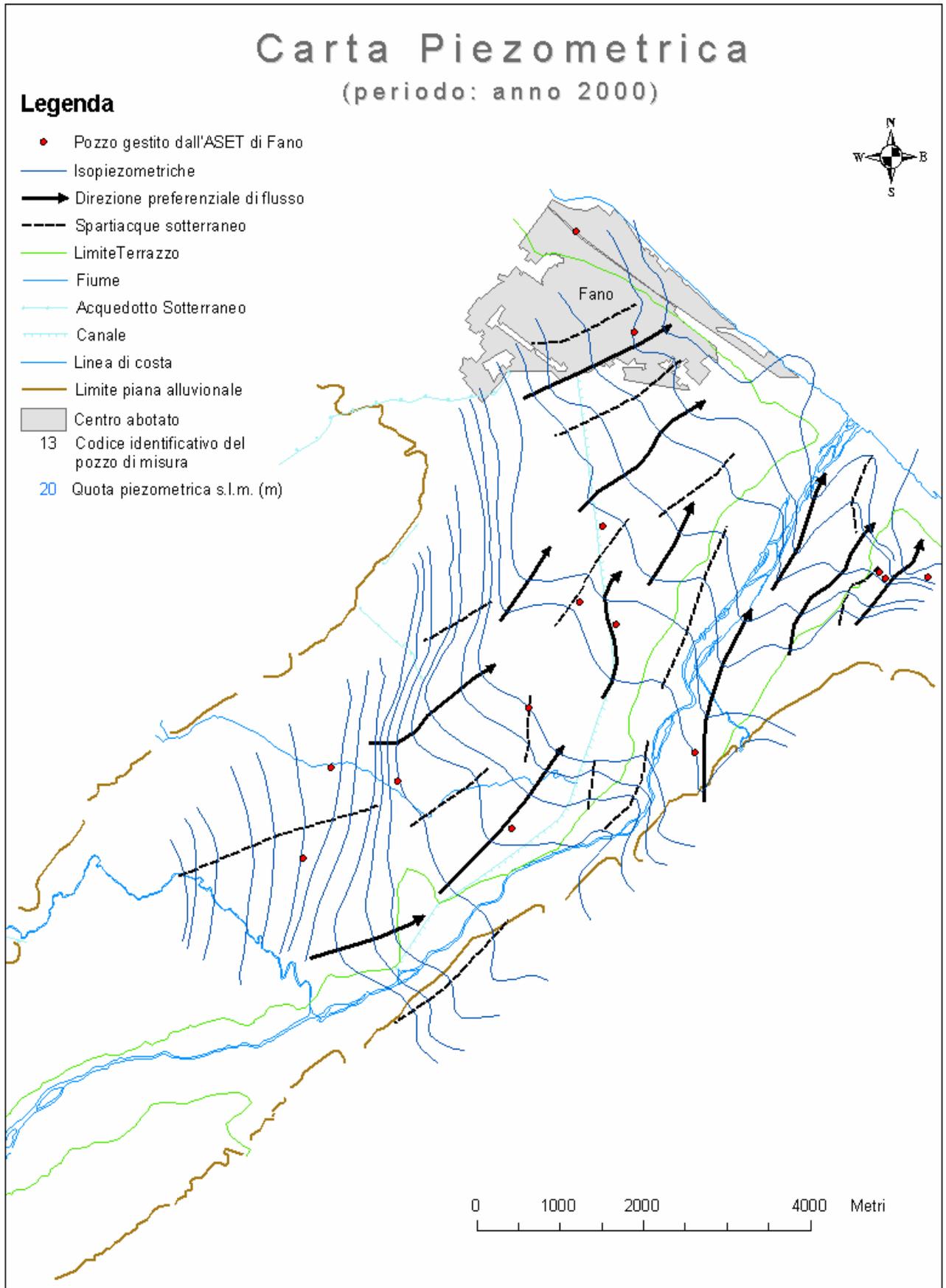


Figura 9-4 Carta piezometrica relativa all' anno 2000, tratto da bibliografia (Gianni Papaveri, 2000)

Dall' incontro tra acqua dolce, proveniente dall' acquifero e acqua salata del mare, si genera un' interfaccia lungo la quale si ha equilibrio tra le densità delle due tipologie di acque. Tale interfaccia tende ad assumere un andamento entrante verso la terra ferma, che dipende dall' altezza della piezometrica sul livello del mare. Un emungimento troppo eccessivo in prossimità della costa, potrebbe far abbassare il livello piezometrico in prossimità dei pozzi, fino al raggiungimento di tale interfaccia, la quale, contemporaneamente, tenderebbe a risalire dal basso fino ad essere intercettato dai pozzi stessi. Di conseguenza si potrebbero verificare fenomeni di salinizzazione.

Un' altra ricostruzione dell' andamento della superficie piezometrica relativa al periodo fine Agosto del 1979, è stata messa a punto da Nanni (Fig 9-5). In questo lavoro l' equidistanza tra le curve isopiezometriche scelta, è pari a 5 m; dal confronto di tale ricostruzioni e quelle eseguite nella presente tesi, scaturiscono alcune differenze. In alcuni tratti lungo l'asse fluviale principale, cambiano i rapporti falda-fiume. Nell' area a monte del Rio Secco, la falda alimenta il fiume sia in destra che in sinistra idrografica. A valle di tale affluente, almeno fino al "Fosso della Carrara", la falda alimenta il fiume in destra idrografica, mentre il fiume alimenta la falda in sinistra idrografica. All' altezza di Fano, il fiume alimenta la falda sia in destra che in sinistra idrografica; in particolare nei pressi della foce, in destra idrografica, si nota la presenza di una zona di drenaggio direzionata verso il mare. Nel medesimo settore, ma anche in sinistra idrografica, viene utilizzata un equidistanza pari a 1 m, per mettere in luce l' arretramento della linea di costa, quindi l' intrusione marina di cui discusso in precedenza.

Anche nella ricostruzione del Nanni, l'andamento delle curve isopiezometriche in sinistra idrografica, insieme alle direzioni principali di deflusso,

fanno ipotizzare la presenza del paleoalveo principale con andamento circa parallelo all' attuale asta fluviale.

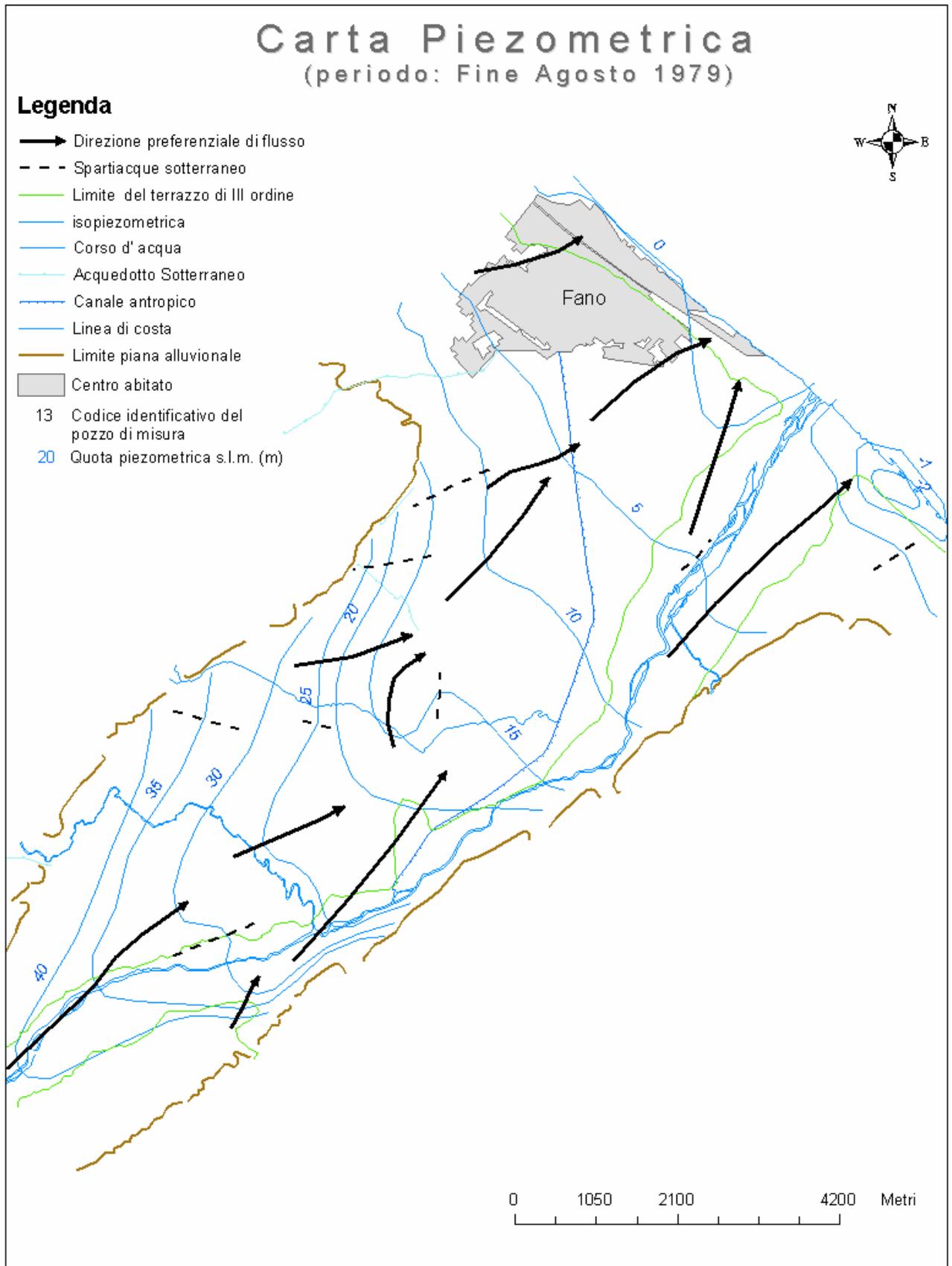
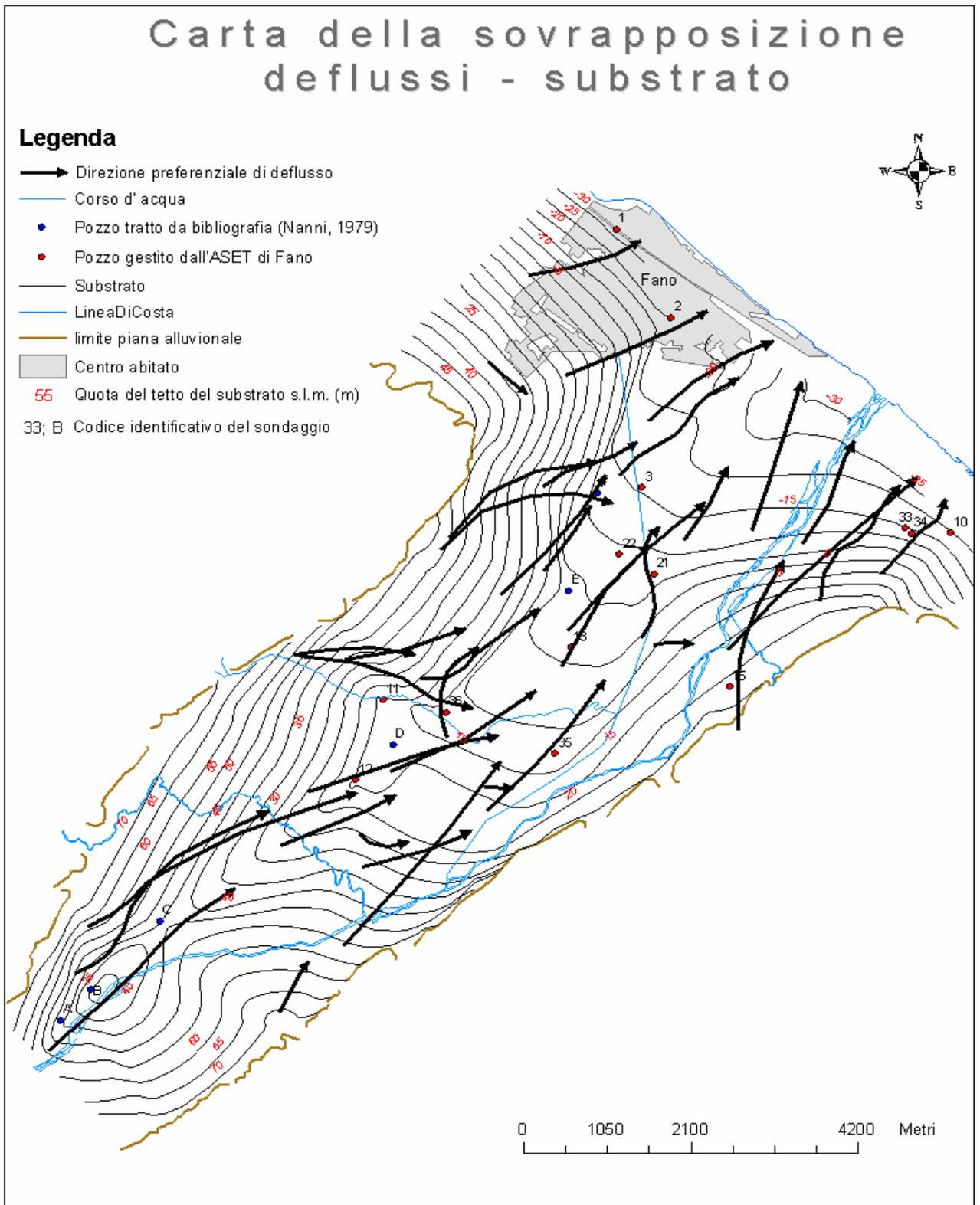


Figura 9-5 Carta piezometrica relativa al periodo: fine agosto 1979; (Torquato Nanni, 1979)

### **9.1.3 Substrato e deflussi**

Sovrapponendo le direzioni preferenziali di deflusso, dedotte dalle quattro ricostruzioni delle piezometrie analizzate in precedenza, all' andamento del substrato esaminato nel paragrafo 8.2 (Fig. 9-6), è interessante notare come tutti gli assi di drenaggio, convergono nel paleoalveo principale localizzato in sinistra idrografica con andamento circa parallelo al fiume Metauro. Questo consolida l' ipotesi dell' effettiva presenza di tale paleoalveo e mette in evidenza che in corrispondenza di questo, l' acquifero presenta una maggior trasmissività. Dai confronti tra le varie piezometrie esaminate nel precedente paragrafo e integrandolo con quanto scaturito dalla sovrapposizione, si può desumere che in una pianificazione territoriale è consigliabile progettare un eventuale incremento di pozzi di captazione proprio in corrispondenza del paleoalveo, in quanto si riscontra il maggior deflusso idrico di tutta porzione di piana alluvionale presa in esame.



**Figura 9-6** Carta dell' andamento del tetto del substrato impermeabile; vengono riportati anche i sondaggi dai quali sono state desunte le stratigrafie. All' andamento del substrato vengono sovrapposti gli andamenti di tutti i deflussi preferenziali relativi alle carte piezometriche riportate nelle figure 9-2, 9-3, 9-4, 9-5

## 9.2 Soggiacenza

La soggiacenza, indica la profondità dal piano campagna della tavola d' acqua. Le carte della soggiacenza, ricostruite relativamente ai due periodi in cui sono stati eseguiti i censimenti dei pozzi, sono state redatte utilizzando come equidistanza tra le isolinee 1 m. La ricostruzione è stata effettuata limitatamente all' area interessata dal terrazzo di III ordine in sinistra idrografica (Fig. 9-7 e 9-8)

Tali carte, evidenziano due approfondimenti accentuati della tavola d' acqua , quindi un aumento dello spessore dell' insaturo, dove si riscontrano i valori maggiori di soggiacenza di tutta l' area in esame. I due approfondimenti sono localizzati, uno all' altezza del Rio Secco dove si raggiungono valori di circa 18 m nel mese di Maggio e di 20 m nel mese di Ottobre e l' altro poco più a valle del Fosso della Carrara dove si raggiungono profondità di 15 m nel mese di Maggio e di 16 m del mese di Ottobre

I valori più bassi di soggiacenza, sono localizzati ai bordi del terrazzo di III ordine, in particolare nella parte più alta della valle, dove la profondità della tavola d' acqua si aggira intorno agli 8 m, in entrambi i periodi presi in considerazione e nella zona più vicino alla costa a ridosso del limite che separa il terrazzo di III ordine dal IV, dove i valori riscontrati sono di circa 5m nel mese di Maggio e 6m nel mese di Ottobre. Quest' ultima diminuzione può essere correlata alla presenza di una cava in tale settore (Fig, 5-3).

La differenza di valori tra il periodo di morbida e quello di magra, che evidenzia un abbassamento generale di circa 2 m del livello freatico nel periodo di magra rispetto a quello di morbida, è da attribuire agli aumenti di temperatura dei mesi estivi che, a loro volta, causano una maggior evapotraspirazione delle acque di falda e al conseguenziale aumento degli emungimenti delle acque sotterranee destinata alle irrigazioni dei terreni coltivati.

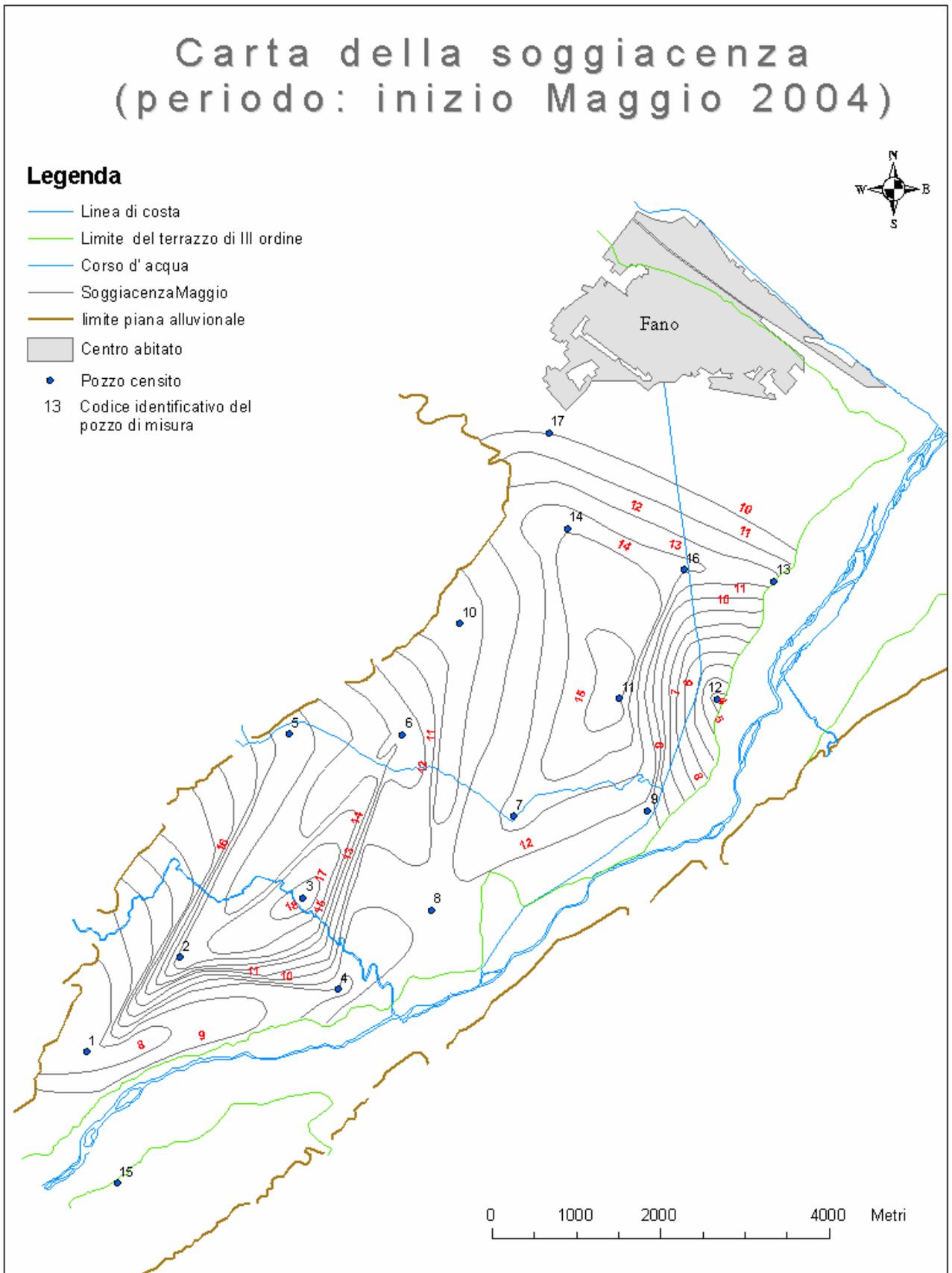


Figura 9-7 Carta della soggiacenza relativa al periodo di morida (inizio Maggio 2004)

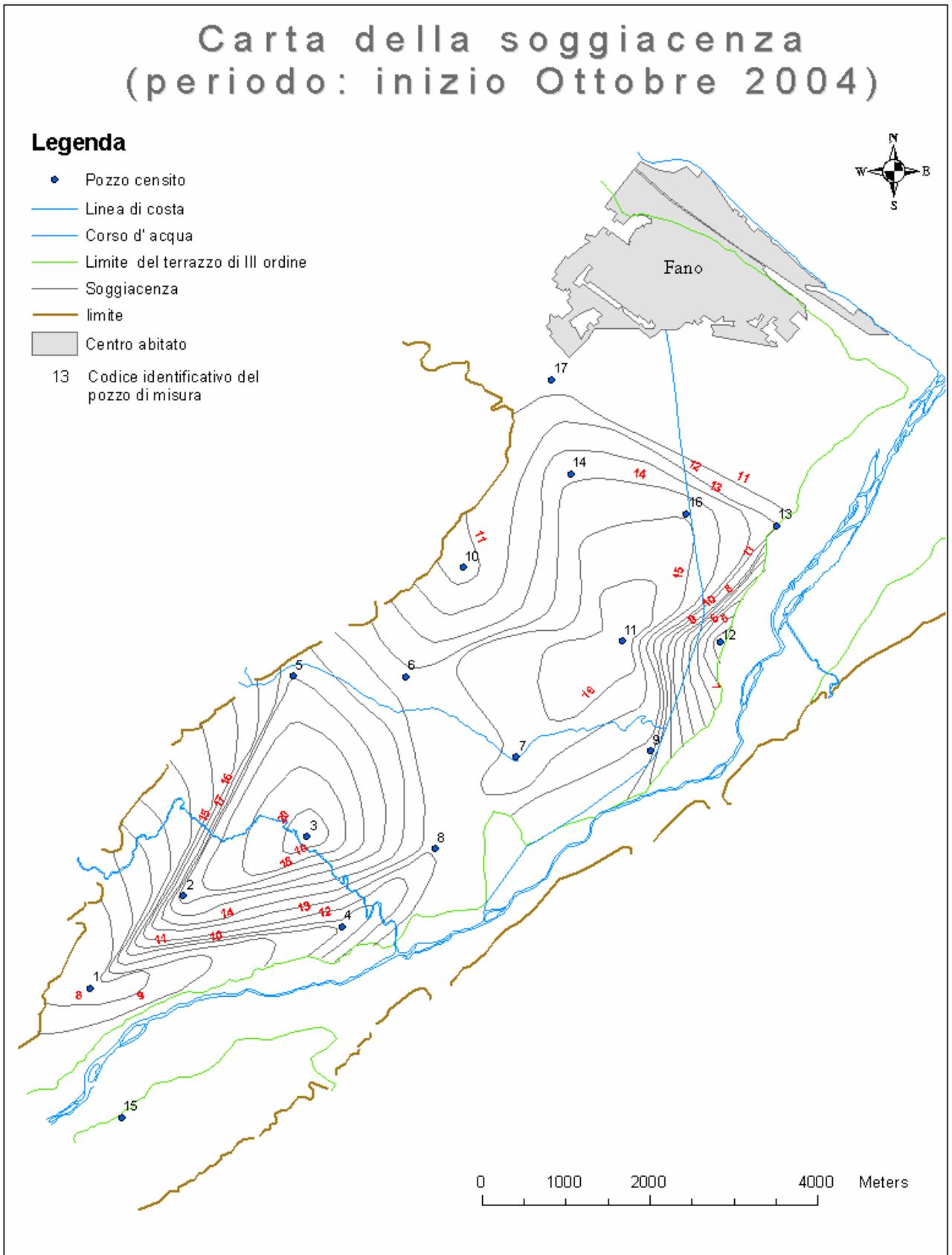


Figura 9-8 Carta della soggiacenza relativa al periodo di morida (inizio Ottobre 2004)

## Capitolo 10

# IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

### 10.1 Parametri chimico fisici delle acque sotterranee

Nella campagne di misura della presente ricerca, effettuata nei mesi di Maggio ed Ottobre 2004, sono state effettuate misure di alcuni parametri chimico-fisici delle acque, in particolare il pH, la Conducibilità e la Temperatura, al fine di risalire ad una prospezione idrogeochimica delle acque sotterranee della bassa valle del Fiume Metauro.

#### 10.1.1 pH

Il pH consente di definire il comportamento acido o basico di una soluzione. A temperatura ordinaria, l'acqua è neutra per  $\text{pH}=7$ , è acida per  $\text{pH}<7$  ed è alcalina per  $\text{pH}>7$ . Il pH è fortemente influenzato dalla temperatura. I valori di pH, misurati nella fase di acquisizione dati della presente tesi (Tab. 9-1 e 9-2), sono stati ottenuti a mezzo di uno strumento denominato Piaccametro (Fig 10.1); tale strumento è munito di una sonda, la quale immersa nell'acqua, ne rileva il valore di pH che la caratterizza.



Figura 10.1 Piaccametro, strumento utilizzato durante le campagne di acquisizione dati per misurare i valori di pH

Dalle misure effettuate, è stato possibile redigere le carte degli andamenti del pH per i due periodi di censimento; il valore di pH scelto come equidistanza tra le isolinee è pari a 0.1. Dalla ricostruzione relativa al mese di Maggio risulta che, le misure di pH oscillano tra un minimo di 6 ed un massimo di 7.7 (Fig. 10-2). Il valore di pH minimo, si riscontra in corrispondenza del pozzo 3, nei pressi del Rio Secco; in tale punto si nota una brusca diminuzione di pH rispetto alle zone circostanti. I valori maggiori si rilevano nel settore a valle del Fosso della Carrara.

Un andamento più omogeneo si riscontra, invece, nella ricostruzione relativa al mese di Ottobre (Fig. 10-3). Qui i valori oscillano tra un minimo di 6.5 ed un massimo di 7.5. A monte del Rio Secco, si hanno alti valori di pH, tra 7 e 7.4, in particolare quello massimo, si raggiunge in prossimità del limite della pianura alluvionale nord occidentale. Tra il Rio Secco e Fosso della Carrara, il pH diminuisce; in tale settore si hanno i più bassi valori dell' area in studio, tra 6.5 e 6.9, in particolare quello minimo si raggiunge in prossimità del pozzo 8, nei pressi del limite del terrazzo alluvionale di terzo ordine. Un ultimo settore, quello compreso tra il Fosso della Carrara e la costa, mostra un aumento dei valori di pH, tra 7 e 7.5, in particolare quello massimo, si raggiunge in corrispondenza del pozzo 14, ubicato nei pressi del bordo nord occidentale della pianura alluvionale.

Dal confronto tra le carte relative alle due campagne di misura, si ottiene che, nel settore a monte del Rio Secco, il valore di pH maggiore si ha nel mese di Ottobre; nel settore compreso tra tale affluente ed il Fosso della Carrara, il pH maggiore si ha nel mese di Maggio, così anche nel settore a valle di quest' ultimo corso d' acqua, i valori maggiori si riscontrano nel medesimo mese.

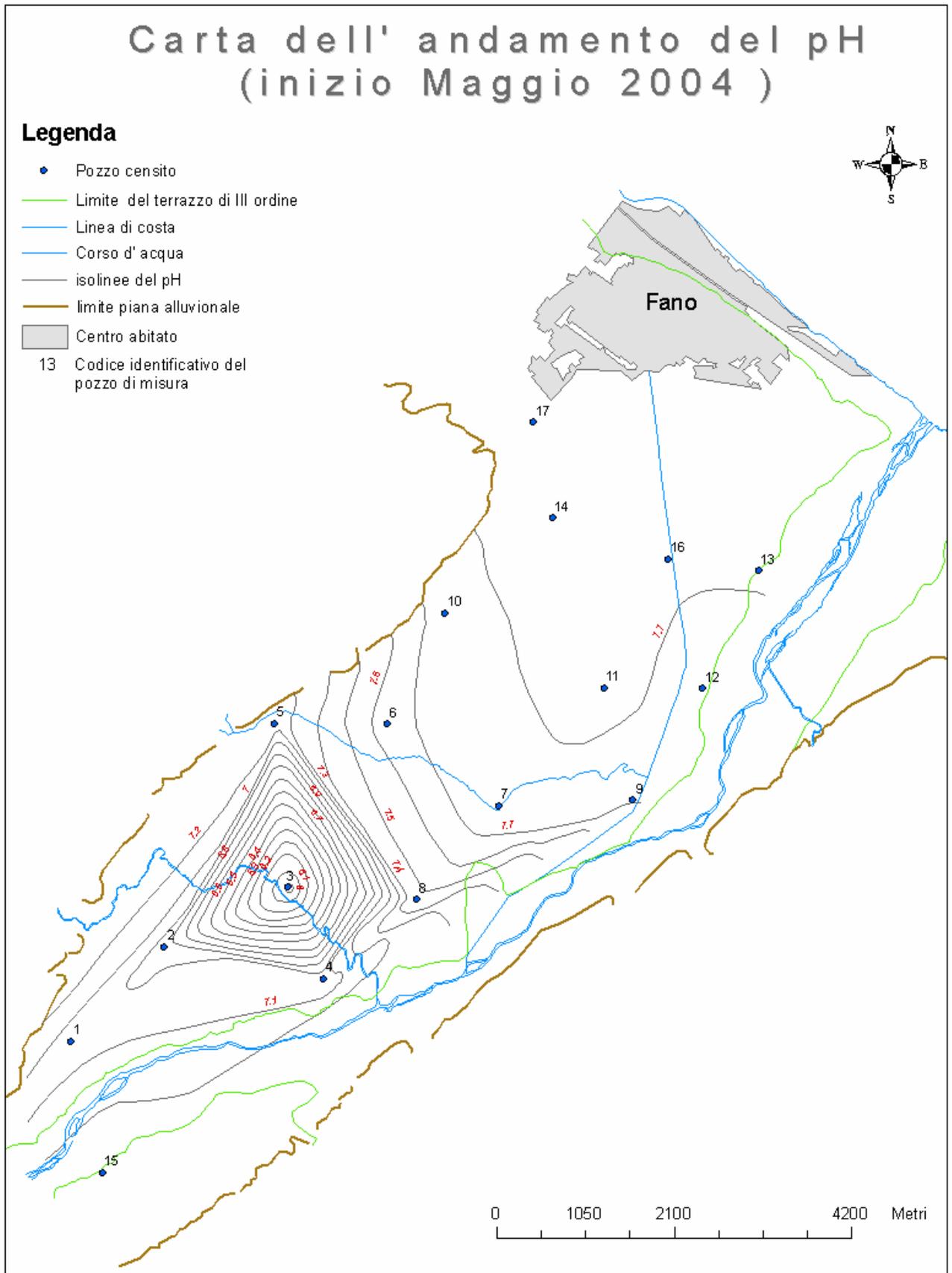
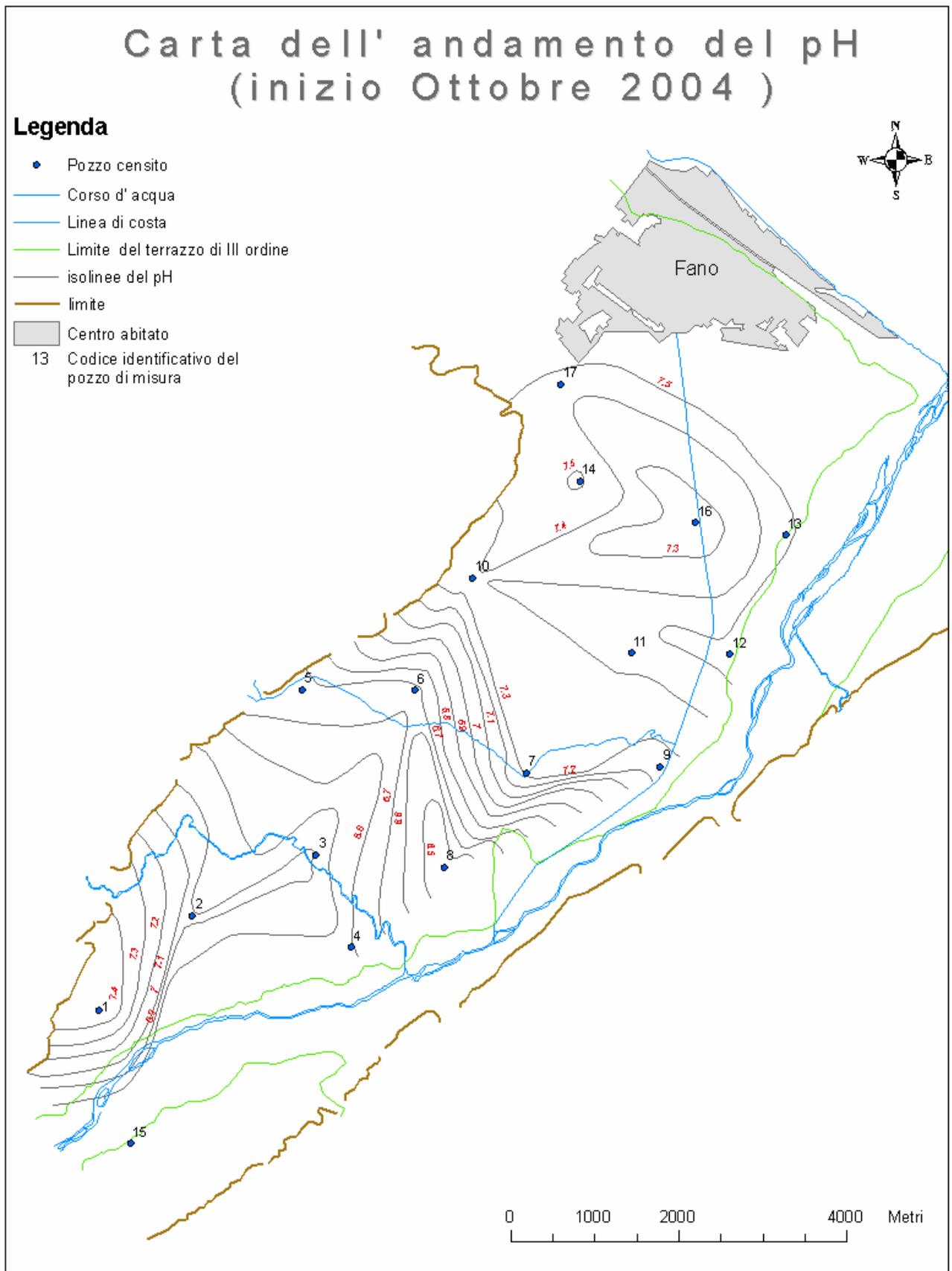


Figura 10-2 Carta dell' andamento del pH nella valle alluvionale del fiume Metauro, periodo inizio Maggio 2004



**Figura 10-3** Carta dell' andamento del pH nella bassa valle alluvionale del fiume Metauro periodo inizio Ottobre 2004

### 10.1.2 Temperatura

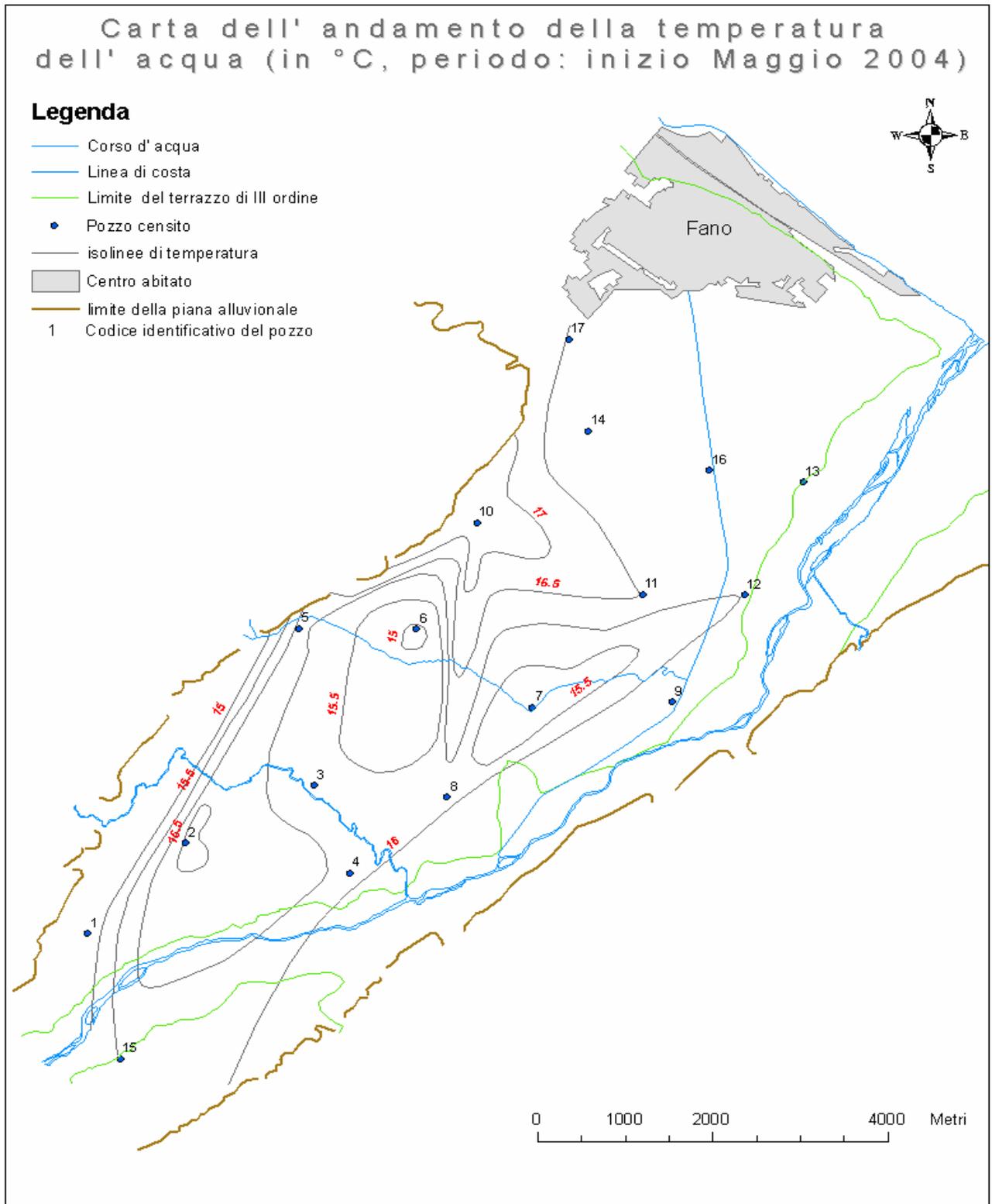
La conoscenza della temperatura dell' acqua è determinante perché esercita un ruolo importante sul pH, sulla solubilità dei Sali disciolti e, conseguentemente, sulla conducibilità. Le misure di temperatura (in°C), sono state ottenute avvalendosi del Piaccametro (Fig. 10.1), che oltre a misurare il pH, consente anche di determinare la temperatura. Per redigere la carta dell' andamento delle temperature dell' acqua, relativa all' inizio del mese di Maggio (Fig.10-4), è stata scelta come equidistanza tra le isoterme il valore pari a 0.5°C in tale periodo la temperatura atmosferica risulta di circa 14°C. Da questa si evince che i valori oscillano mediamente tra 15°C e 17°C. Il minimo di temperatura si ha in corrispondenza del pozzo 6, mentre il massimo viene raggiunto nei pressi del pozzo 10, in prossimità del bordo nord occidentale della piana alluvionale. Questa variazione di temperatura, pari a 2 °C, avviene in uno spazio abbastanza ristretto che è quello compreso tra i due pozzi di misura, mentre nella restante area mediamente si hanno valori di circa 16 °C.

Dall' andamento delle temperature all' inizio del mese di Ottobre (Fig. 10-5), in cui la temperatura atmosferica risulta di circa 20°C, risulta che mediamente le temperature oscillano tra 15°C e 16 °C. In tale elaborato l' equidistanza tra le isolinee è di 0.2°C; tale equidistanza differisce dalla precedente, poiché la scelta è in funzione dei dati acquisiti. Il minimo valore, 15°C, si ha nuovamente in corrispondenza del pozzo 6, mentre man mano che ci si avvicina alla costa i valori aumentano fino a raggiungere un massimo di 16.8 °C.

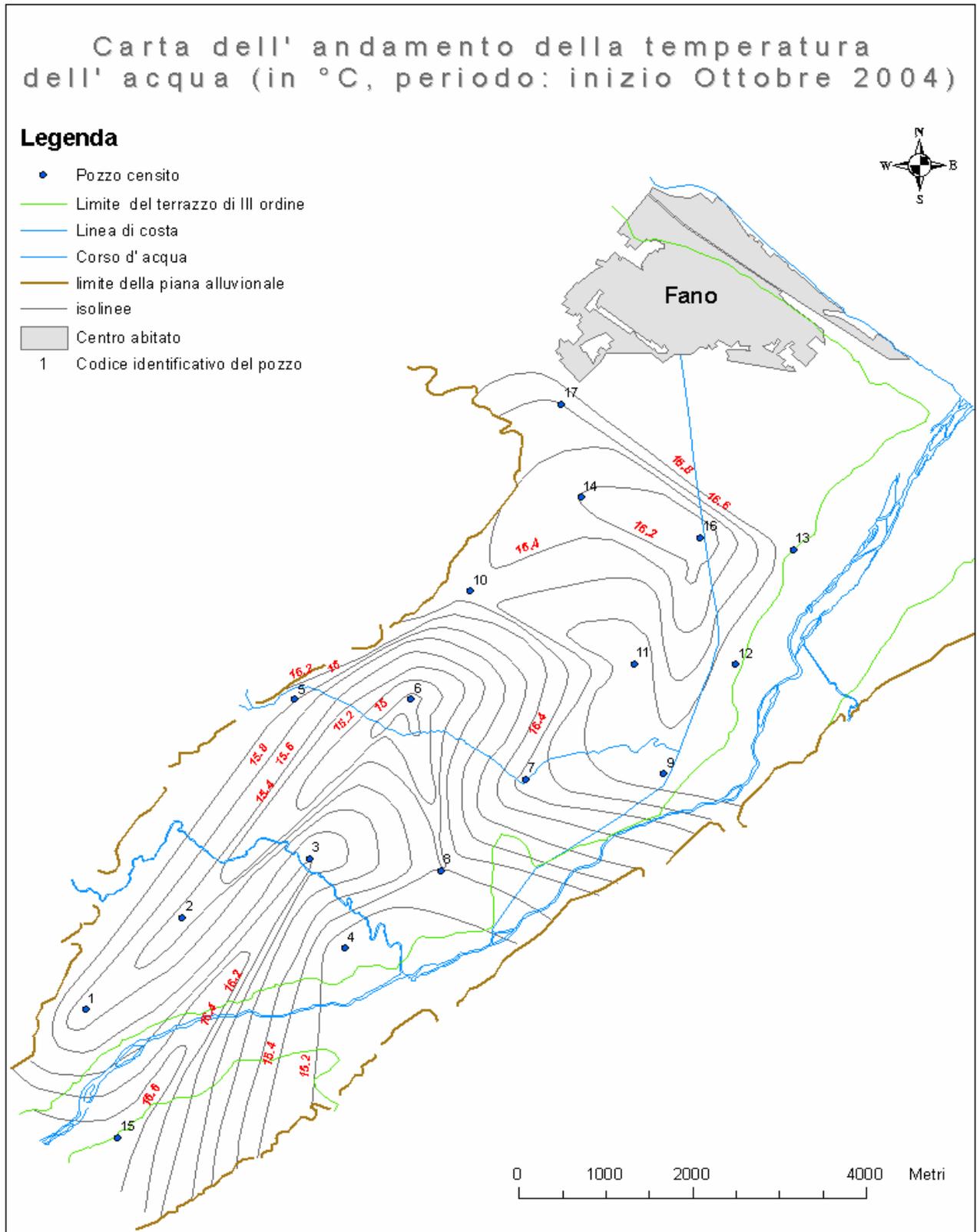
Dal confronto tra i due periodi, non si rilevano sostanziali differenze; è da evidenziare solo il fatto che i minimi di temperatura, 15° in tutte e due le ricostruzioni, si rilevano nello stesso settore. In definitiva, le acque sotterranee, non risentono eccessivamente della variazione di temperatura esterna tra i periodo di morbida e di magra, il sistema è abbastanza conservativo.

Interpolando i dati di pH con quelli di temperatura, in generale si può notare come, alla diminuzione dei valori di temperatura, che si riscontra nel settore compreso tra Rio Secco e Fosso delle Carrara (Fig.10-4 e 10-5), corrisponde una diminuzione dei valori di pH (Fig 10-2 e 10-3), mentre ad un aumento delle

temperature, nelle zone a monte e a valle di tale settore, corrisponde un aumento dei valori di pH.



**Figura 10-4** Andamento delle temperature delle acque sotterranee nella bassa valle alluvionale del Metauro periodo inizio Maggio 2004



**Figura 10-5** Andamento delle temperature delle acque sotterranee nella bassa valle alluvionale del Metauro periodo inizio Ottobre 2004

### 10.1.3 Conducibilità

Le acque sotterranee, come tutte le soluzioni saline, sono dotate di conducibilità elettronica ed in particolare di conducibilità ionica (o elettrolitica) perché la trasmissione dell' elettricità è dovuta a trasferimenti di materia. Infatti i portatori di cariche elettrolitiche sono gli ioni atomici e molecolari carichi positivamente o negativamente. La conducibilità è fortemente legata alla temperatura (in quanto cresce all' aumentare di questa) ed alla quantità di ioni disciolti. La misura della conducibilità dell' acqua, è stata eseguita tramite uno strumento denominato Conducimetro (Fig 10-6); il suo valore è espresso in micro-siemens per centimetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Figura 10-6** Conducimetro, strumento utilizzato durante le campagne di acquisizione dati per misurare i valori di conducibilità

Dalle misure effettuate, è stato possibile ottenere le carte degli andamenti della conducibilità relativamente ai periodi di inizio Maggio e Ottobre (Fig. 10-7 e 10-8). L' equidistanza scelta tra le isolinee è pari a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Nella ricostruzione relativa al mese di Maggio, si può notare come i valori maggiori di tutta la piana alluvionale, sono rinvenibili nel settore a monte del Rio Secco, in destra idrografica, in corrispondenza del terrazzo di III ordine.

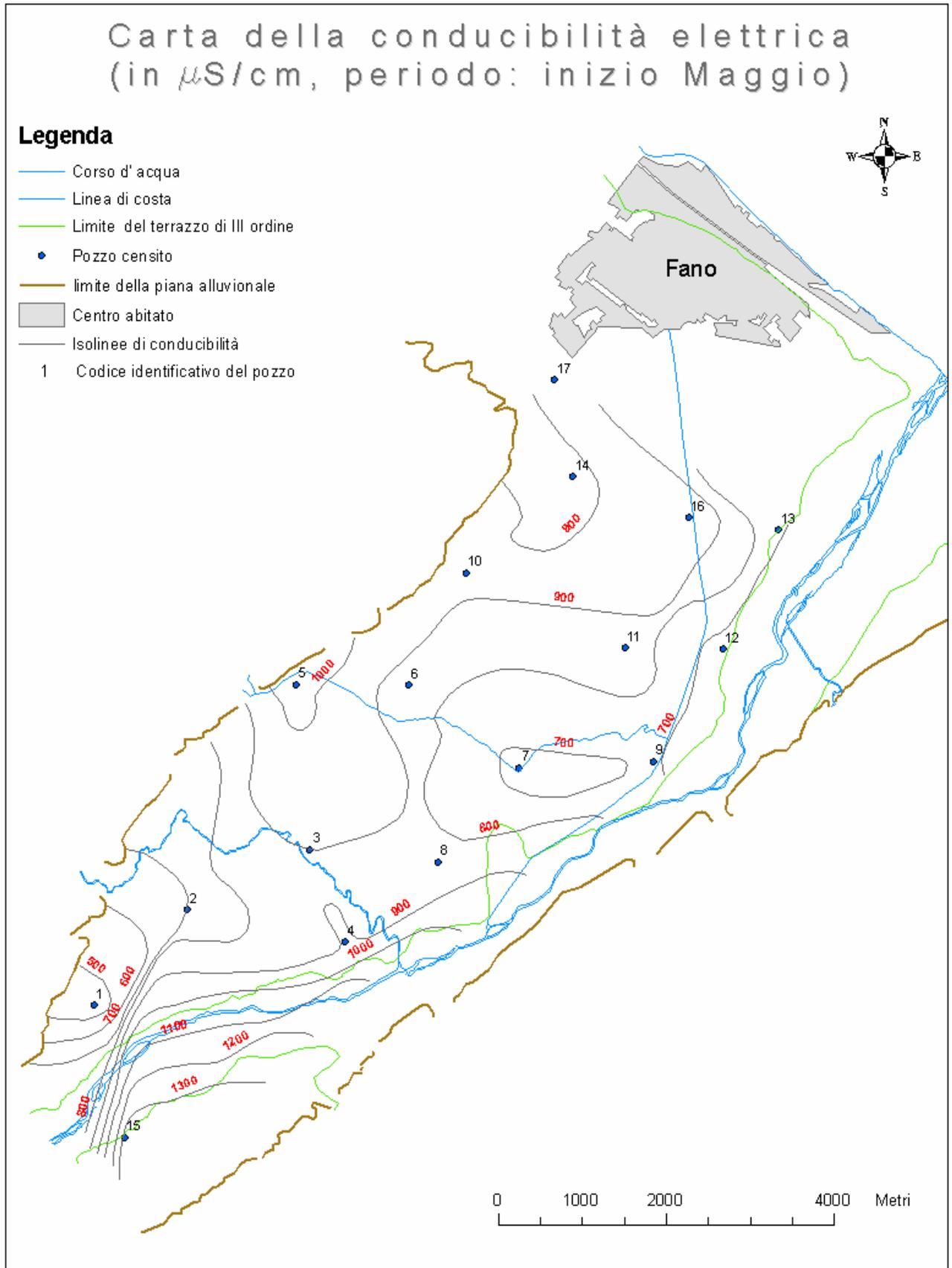


Figura 10-7 Andamento della Conducibilità nella bassa valle alluvionale del fiume Metauro periodo inizio Ottobre 2004

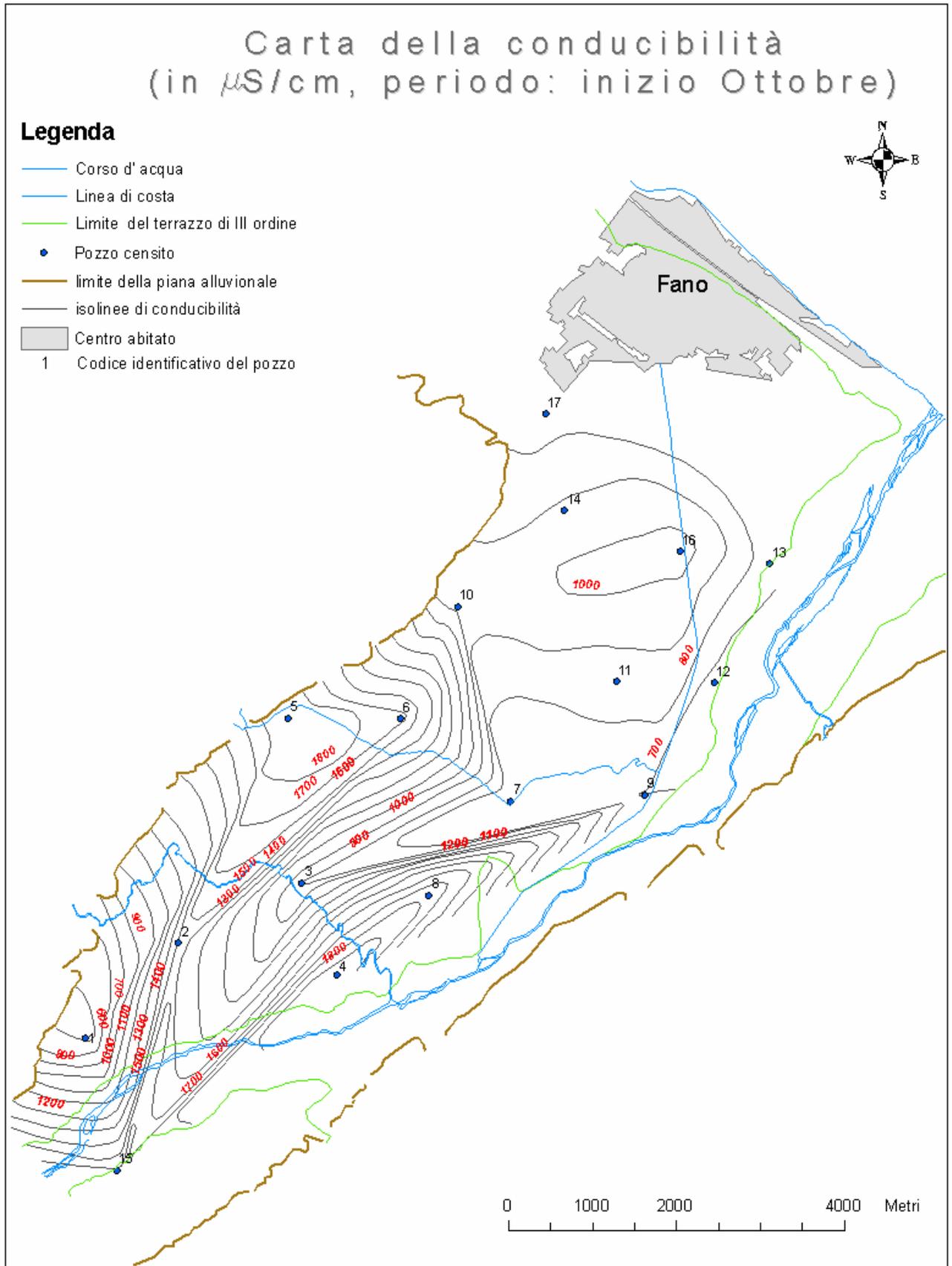


Figura 10-8 Andamento della Conducibilità nella bassa valle alluvionale del fiume Metauro periodo inizio Ottobre 2004

Qui la conducibilità è pari a 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dal confronto con la carta geologica dell' area in studio (Fig. 4-5) risulta che, le acque sotterranee in questo settore, sono molto influenzate dalla presenza di rocce evaporitiche della Formazione gessoso – solfifera del Messiniano. La lisciviazione di queste, ad opera delle acque sotterranee, sarebbe infatti responsabile dell' arricchimento delle acque stesse, in ioni  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{SO}_4$ . Alti valori di conducibilità (intorno ai 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), si riscontrano in prossimità del pozzo 5, ugualmente tali valori sono riconducibili all' influenza della formazione messiniana presente anche in questa zona. I più bassi valori sono rinvenibili in prossimità del pozzo 1, nella parte più a monte della piana alluvionale in sinistra idrografica; il valore minimo riscontrato in tale zona è pari a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nella restante area i valori di conducibilità oscillano tra 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La conducibilità, all' inizio del mese di Ottobre, mostra valori nettamente superiori ai precedenti. Una diminuzione di valori nel mese di Maggio, è riconducibile a fenomeni di diluizione provocati da un maggior apporto idrico. I massimi ed i minimi si riscontrano, all' incirca, nei medesimi settori visti nel mese di Maggio. Infatti, si rinvencono due massimi di conducibilità, uno nei pressi del pozzo 4, con valore pari a 1800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ed uno nei pressi del pozzo 5, con medesimo valore. Entrambi, sono da attribuire, come detto in precedenza, all' influenza della formazione gessoso-solfifera. Ugualmente, il minimo valore di conducibilità, pari a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , si riscontra in prossimità del pozzo 1, nella zona più interna di tutta la piana alluvionale, in sinistra idrografica. Nella restante area i valori si mantengono mediamente tra 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## **10.2 Analisi chimiche**

Analisi chimiche delle acque, sono state effettuate dall' A.S.L. n. 3 per conto del comune di Fano, nel periodo compreso tra Aprile e Dicembre dell' anno 2003. Tali analisi, sono state eseguite prelevando campioni d' acqua da alcuni pozzi di proprietà del comune di Fano, ubicati principalmente nel terrazzo di terzo ordine (Fig 6-5). Da queste, è stato possibile risalire alla caratterizzazione delle acque sotterranee della bassa valle del fiume Metauro. In Particolare è stato realizzato un diagramma di caratterizzazione, quello del Piper (Fig. 10-9).

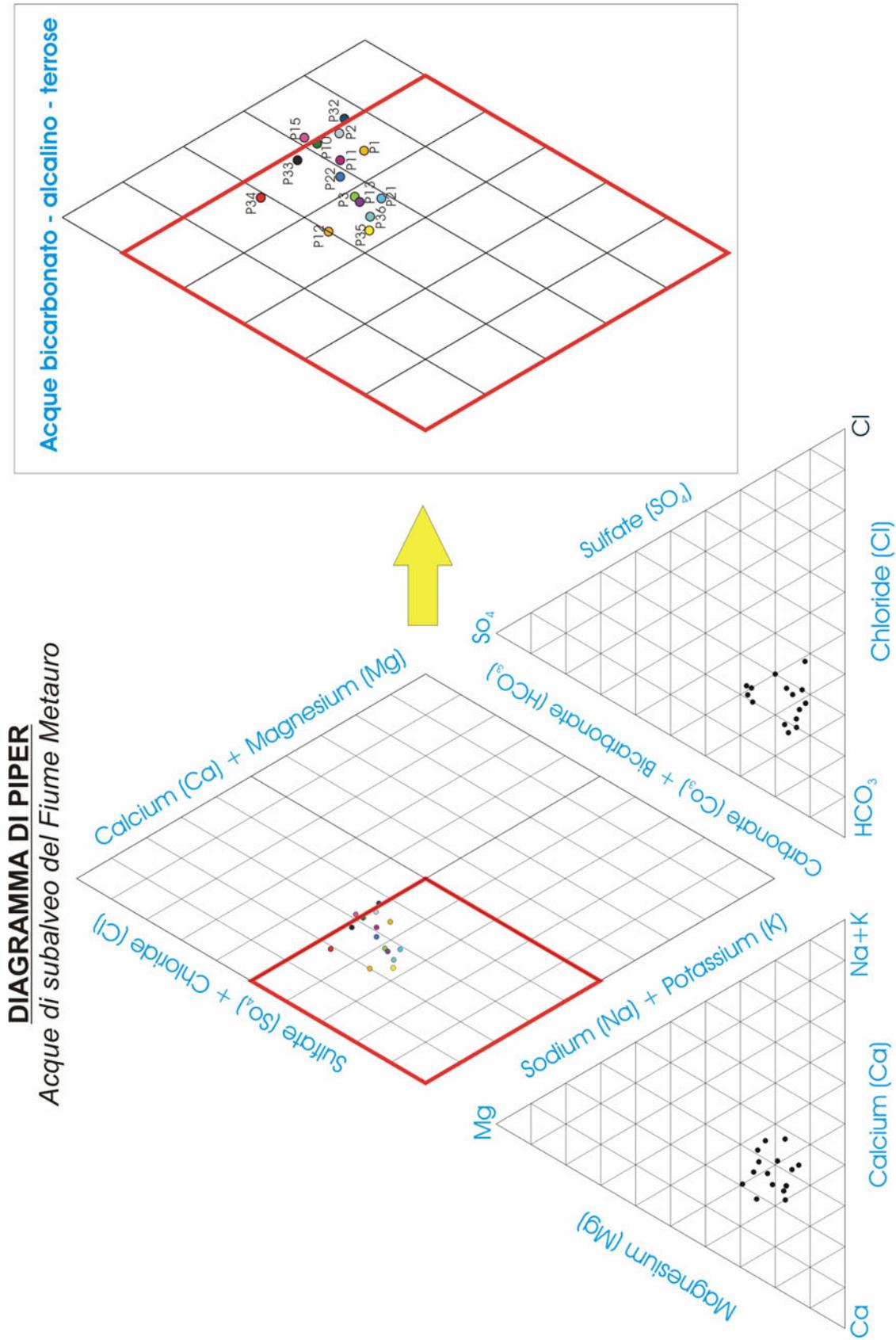


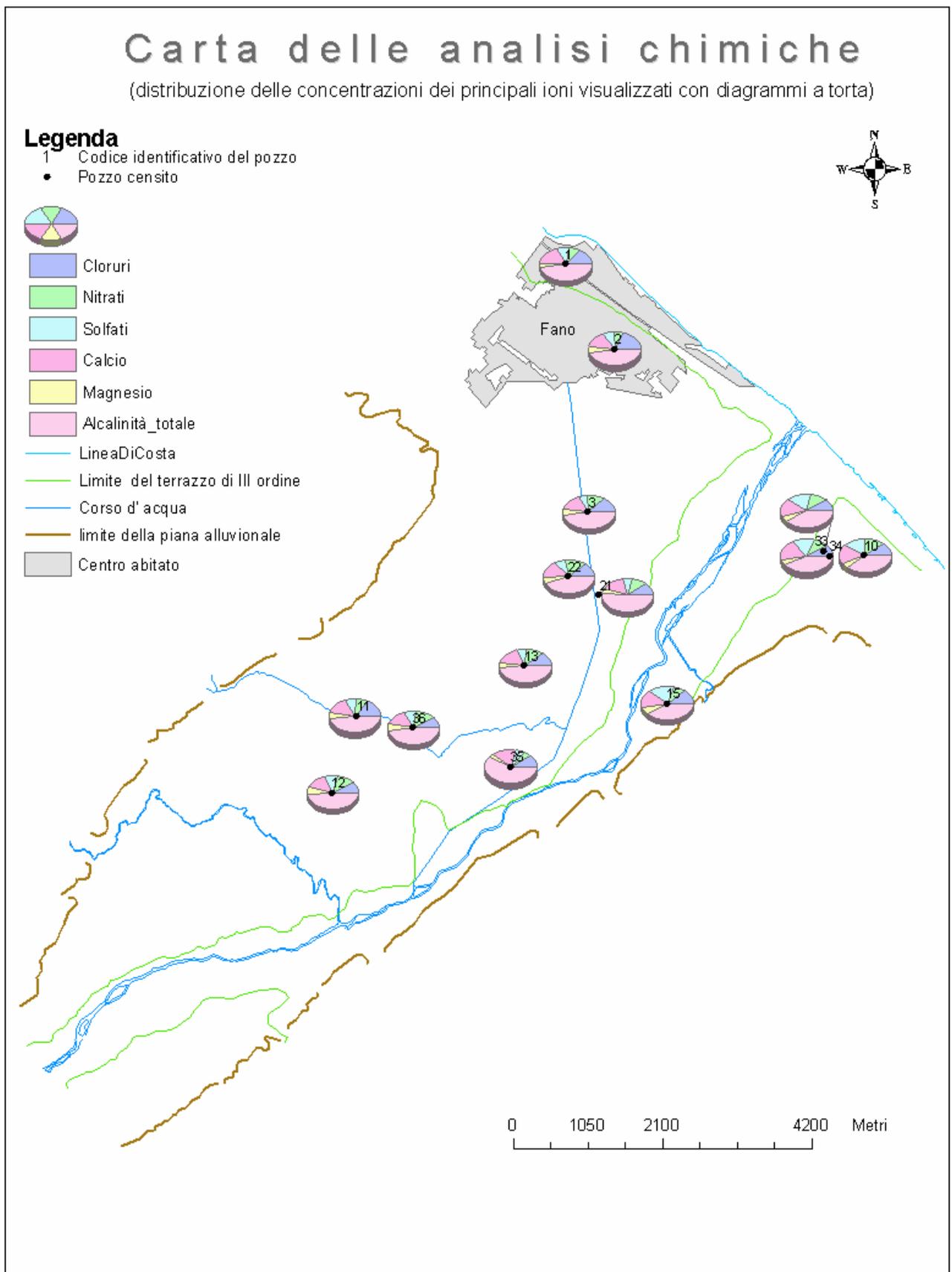
Figura 10-9 Il diagramma di Piper, mostra che le acque sotterranee della bassa valle del fiume Metauro risultano essere bicarbonato-calciche. Nell'ingrandimento, vengono riportati i pozzi ai quali appartengono le varie analisi

Da tale diagramma, risulta che le acque sotterranee della valle alluvionale in esame, contenute essenzialmente nei depositi del III ordine, presentano una facies idrochimica generalmente bicarbonato-alcalino-terrosa. Dall'osservazione simultanea della posizione dei punti rappresentativi, ubicati all'interno dei triangoli equilateri, si può dedurre che, in particolare, essa è bicarbonato- calcica.

Inoltre, utilizzando le stesse analisi chimiche, sono state redatte carte tematiche, che evidenziano la distribuzione delle concentrazioni (esprese in mg/l) dei principali ioni, nella pianura alluvionale in studio, quali i Cloruri, i Solfati, l'Alcalinità totale ( nella presente ricerca si è assunto che i Bicarbonati corrispondono all'Alcalinità totale), il Magnesio ed il Calcio. Per ottenere una visione più completa, della distribuzione delle concentrazioni di tali ioni in tutta la valle alluvionale, bisognerebbe affittire il numero di pozzi di misura.

Dalle carte delle distribuzioni spaziali delle concentrazioni, relative ai principali ioni (Diagrammi a torta Fig. 10-10 e Istogrammi fig.10-11), risulta che, per quanto concerne gli anioni, la concentrazione dell' alcalinità totale, è elevata in tutta l' area, nettamente superiore alle concentrazioni degli altri ioni. I Solfati, in sinistra idrografica, in corrispondenza del paleoalveo principale, presentano basse concentrazioni; queste invece aumentano di molto in destra idrografica, in particolare in corrispondenza del pozzo 15 e dei pozzi 33,34 e 10, questi ultimi a ridosso della costa. Anche i Cloruri si mantengono mediamente bassi nella parte più interna della pianura alluvionale, in sinistra idrografica, lungo il medesimo paleoalveo, mentre in prossimità della costa, la loro concentrazione aumenta, specialmente nell' abitato di Fano, evidente nei pozzi 1 e 2.

Per quanto riguarda le concentrazioni dei cationi, risulta che il Calcio, raggiunge le massime concentrazioni nei pozzi ubicati in prossimità della costa, ovvero il 10, il 34, il 33, l'1 e il pozzo 15, più interno; lungo l' asse del paleoalveo i valori diminuiscono leggermente. La concentrazione di Magnesio, presenta il suo massimo valore in corrispondenza del pozzo 15, mentre lungo costa e lungo il paleoalveo principale, tali valori diminuiscono leggermente.



**Figura 10-10** Distribuzione delle concentrazioni relative ai principali ioni tramite diagrammi a torta, nella bassa valle alluvionale del fiume Metauro

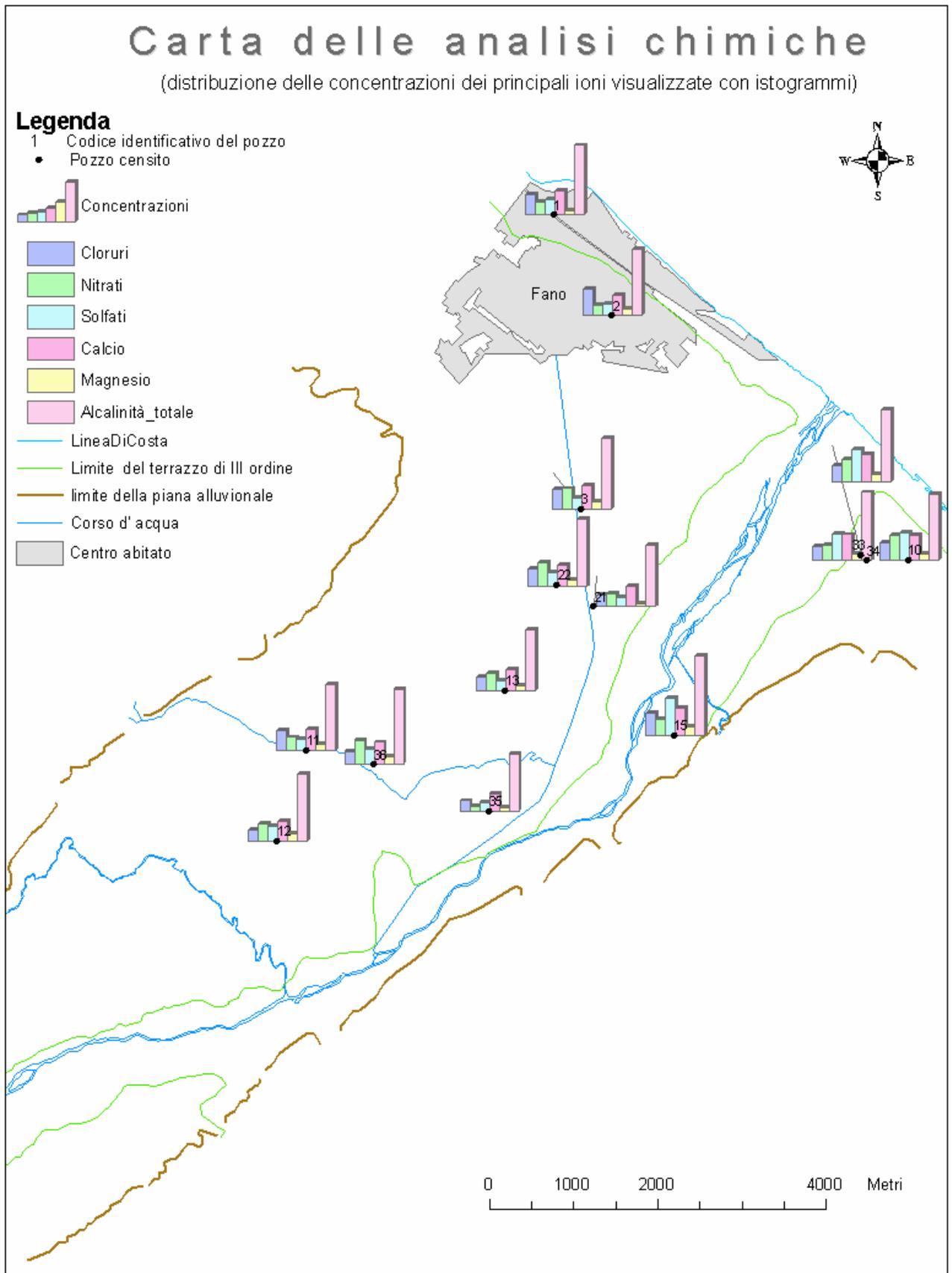


Figura 10-11 Distribuzione delle concentrazioni relative ai principali ioni tramite istogrammi, nella bassa valle alluvionale del fiume Metauro

Dall' analisi delle distribuzioni delle concentrazioni, si possono fare alcune considerazioni. In prossimità della costa, l' aumento della concentrazione dei Cloruri e la diminuzione di quella dei Solfati, evidenziato in particolar modo nei pressi della città di Fano, può essere riconducibile all' intrusione marina, di cui discusso nel paragrafo 9.1.3, la quale provoca un aumento della concentrazione salina nelle acque sotterranee. Tale ipotesi trova riscontro nell' intrusione marina supposta dal Nanni (1979) e dal Papaveri(2000), nelle loro ricostruzioni della piezometrica (paragrafo 9.1.3). Di particolare interesse, è anche il comportamento idrochimico evidenziato nel pozzo 15; in corrispondenza di questo si ha, infatti, alta Alcalinità, alta concentrazione di Cloruri ed in particolare un' elevata concentrazione di Solfati e di Magnesio. Questo comportamento potrebbe trovare spiegazione nella circolazione sotterranea delle acque. Dal confronto tra le carte delle analisi chimiche e la carta geologica (Fig 4-5), si evince che nelle vicinanze del pozzo in questione, è presente un sistema di faglie appenniniche ed antiappenniniche (indicate in figura con i numeri romani I, II, III) che interessa il substrato plio-pleistocenico. Le acque sotterranee, che lisciviano le rocce evaporitiche del Messiniano, le quali non affiorano in questo settore, potrebbero trovare proprio in corrispondenza di tali faglie, un canale preferenziale di risalita, fornendo apporti idrici laterali alla piana alluvionale in questione.

Di seguito, è riportata un' analisi più dettagliata della distribuzione delle concentrazioni di ciascuno ione, nella bassa valle del fiume Metauro.

### **Cloruri**

La carta della distribuzione della concentrazione dei Cloruri (Fig 10-12), evidenzia che i valori più elevati, si riscontrano sia in sinistra che in destra idrografica. In sinistra idrografica, tali valori si rilevano in prossimità del Fosso della Carrara, infatti nel pozzo 11 la concentrazione dello ione  $Cl^-$  oscilla tra 104 mg/l e 140 mg/l; verso costa, nei pozzi ubicati lungo il paleoalveo, quelli più lontani dal fiume Metauro, i valori mantengono questo range, come evidenziato nei pozzi 22, 3 ed 1. Nell' abitato di Fano, si ha un aumento delle concentrazioni, come risulta dal pozzo 2, che presenta un range di valori da 140 mg/l a 166 mg/l. L'

intervallo di concentrazioni, che va da 104 mg/l e 140 mg/l, si ha anche in destra idrografica in corrispondenza dei pozzi 15 e 10. Man mano che ci si sposta in direzione del fiume Metauro, sia in destra che in sinistra idrografica, le concentrazioni subiscono una diminuzione, evidenziata nei pozzi 12, 36, 35, 21, in cui il range delle concentrazioni è di 64- 79 mg/l. Poco più elevate sono le concentrazioni nei pozzi 13, 33 e 34, dove i valori oscillano tra 79 mg/l e 104 mg/l.

### **Solfati**

La carta della distribuzione dei Solfati (Fig 10-13), mostra che le più alte concentrazioni di questo anione, si riscontrano in destra idrografica, più precisamente nel pozzo 15 e nei pozzi 33, 34 e 10, questi ultimi sono a ridosso della costa. In tali pozzi, le concentrazioni oscillano da un minimo di 99 mg/l ed un massimo di 240 mg/l. In sinistra idrografica, in prossimità del fiume Metauro, si rilevano i valori più bassi di concentrazione dei solfati, infatti nei pozzi 35, 13 e 21, il range di variazione va da un minimo di 52 mg/l ed un massimo di 60 mg/l. I pozzi 12, 36 e 22, allineati lungo il paleoalveo principale ed il pozzo 1, compreso nell'abitato di Fano, presentano valori di concentrazione compresi tra 76 mg/l e 99 mg/l. I pozzi 11 e 3, ubicati nel medesimo paleoalveo ed il pozzo 2, nella città di Fano, presentano un range di valori che vanno da 60 mg/l a 76 mg/l.

### **Alcalinità totale**

La distribuzione delle concentrazioni dell' Alcalinità totale (Fig 10-14), la quale si è assunto, nella presente ricerca, corrispondere ai Bicarbonati, evidenzia che i massimi valori si hanno nel pozzo 15, dove il range oscilla tra 476 mg/l e 510 mg/l. Valori di concentrazione compresi tra 445 mg/l e 476 mg/l, si rinvennero nei pozzi 36, 3 e 33, i primi due dislocati lungo il paleoalveo, l' ultimo nei pressi della costa. Le concentrazioni minori di Alcalinità totale, comprese tra 366 mg/l e 396 mg/l, si rilevano principalmente in sinistra idrografica, in corrispondenza dell' antico letto fluviale. Nella medesima area, ma anche nell' abitato di Fano, si hanno anche valori di poco superiori compresi tra 369 mg/l e 445 mg/l.

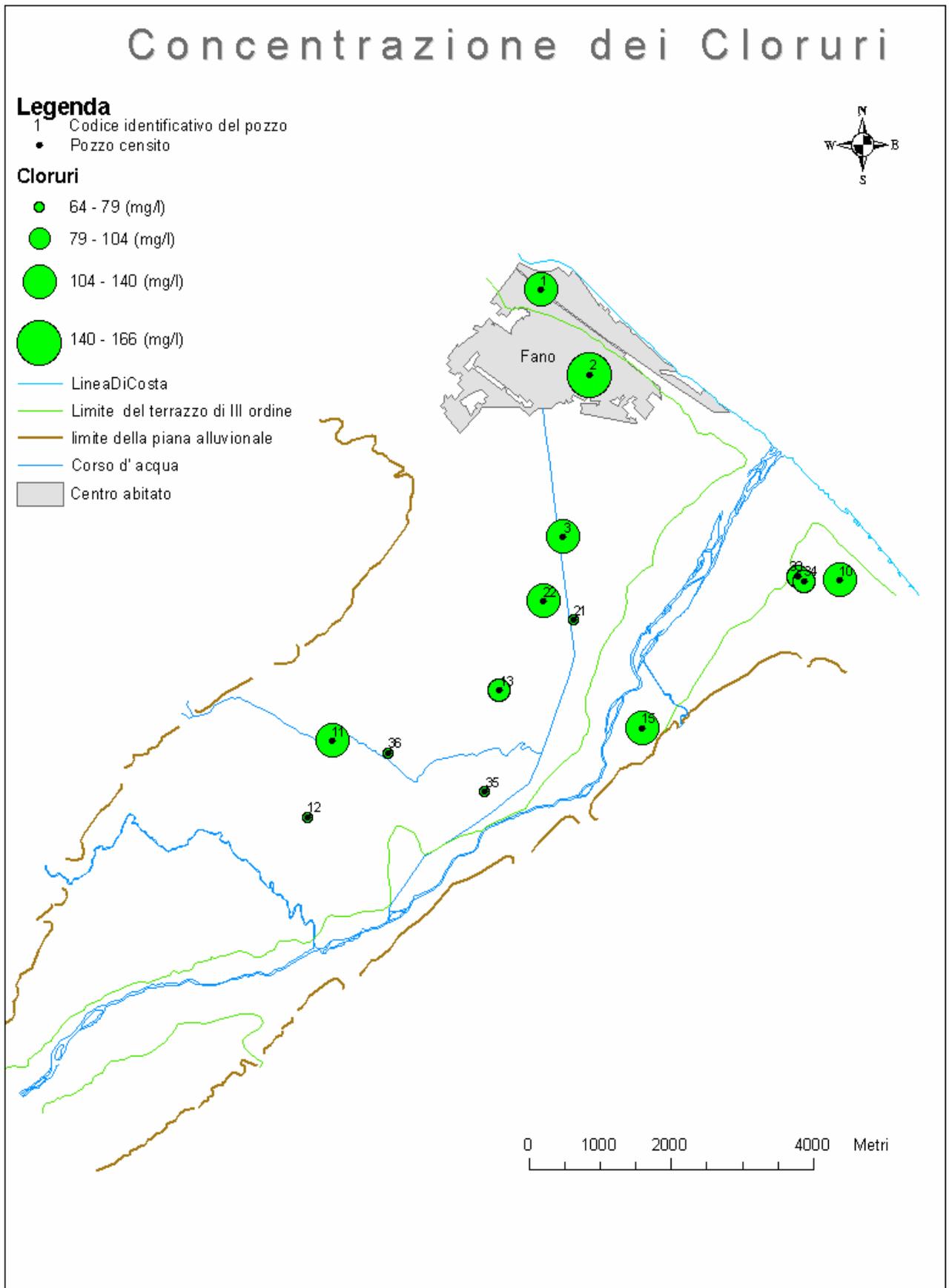


Figura 10-12 Distribuzione delle concentrazioni dei Cloruri

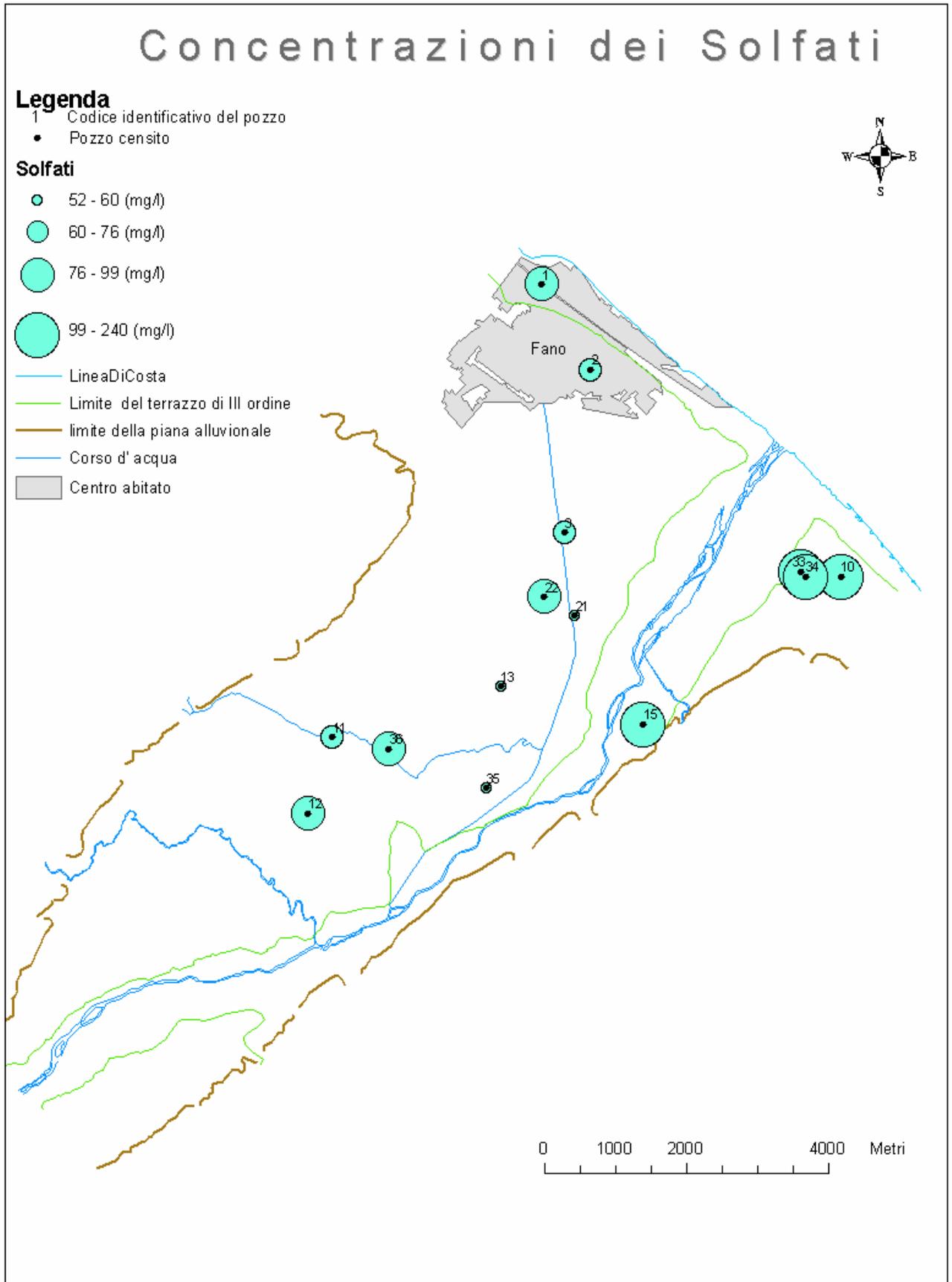


Figura 10-13 Distribuzione delle concentrazioni dei Solfati

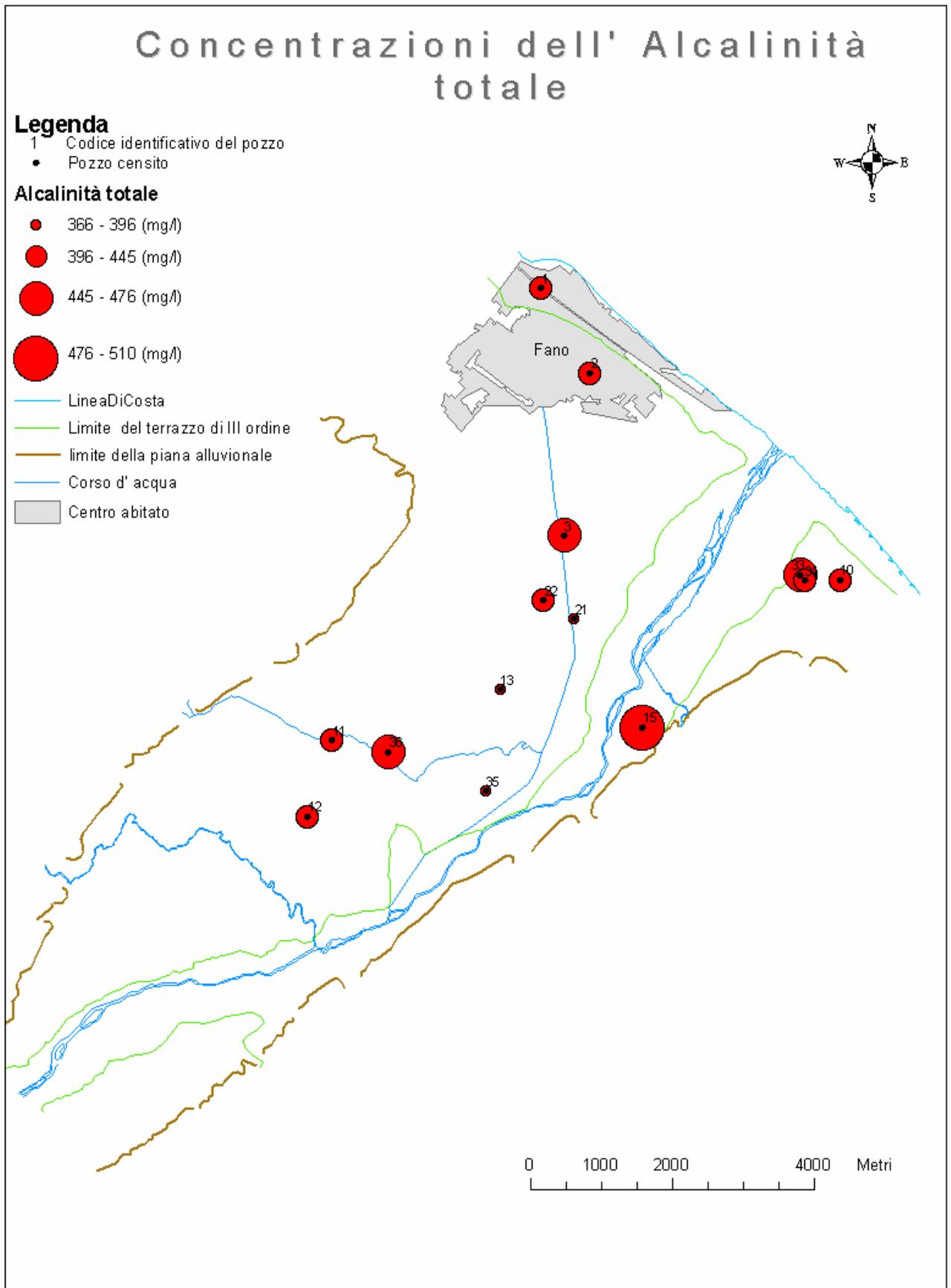


Figura 10-14 Distribuzione delle concentrazioni dell' Alcalinità totale (corrispondenti ai Bicarbonati)

### **Calcio**

Le concentrazioni maggiori dello ione Calcio (Fig. 10-15), si rinvennero essenzialmente nei pozzi 10, 33, 34 e 1, ovvero quelli più vicini alla costa e nel pozzo 15 più distante da questa. In tali pozzi i valori oscillano da un minimo di 146.4 mg/l ed un massimo di 172 mg/l. Le concentrazioni più basse, invece, sono dislocate in concomitanza del paleoalveo principale, con un range di variazione che va da 111.2 mg/l a 134.4 mg/l. Qui sono presenti anche valori di concentrazione poco più elevati, compresi tra 134.4 mg/l e 146.4 mg/l.

### **Magnesio**

Dalla distribuzione delle concentrazioni di questo anione nella pianura alluvionale (Fig. 10-16), si evince che i valori maggiori si riscontrano in corrispondenza del pozzo 15, dove variano da un minimo di 48.5 mg/l ad un massimo di 57.7 mg/l. Concentrazioni di poco inferiori, comprese tra 39.3 mg/l e 48.5 mg/l si rilevano nei pozzi 33 e 34, nei pressi del mare e lungo il paleoalveo principale, nei pozzi 12, 36, 22, 3. In quest'ultima area sono presenti anche i valori minori della concentrazione dello ione, compresi tra 18.9 mg/l e 25.7 mg/l, nei pozzi 35, 21, 1 e quelli di poco superiori, il cui range oscilla tra 25.7 mg/l e 39.3 mg/l, nei pozzi 11, 13 e 2.

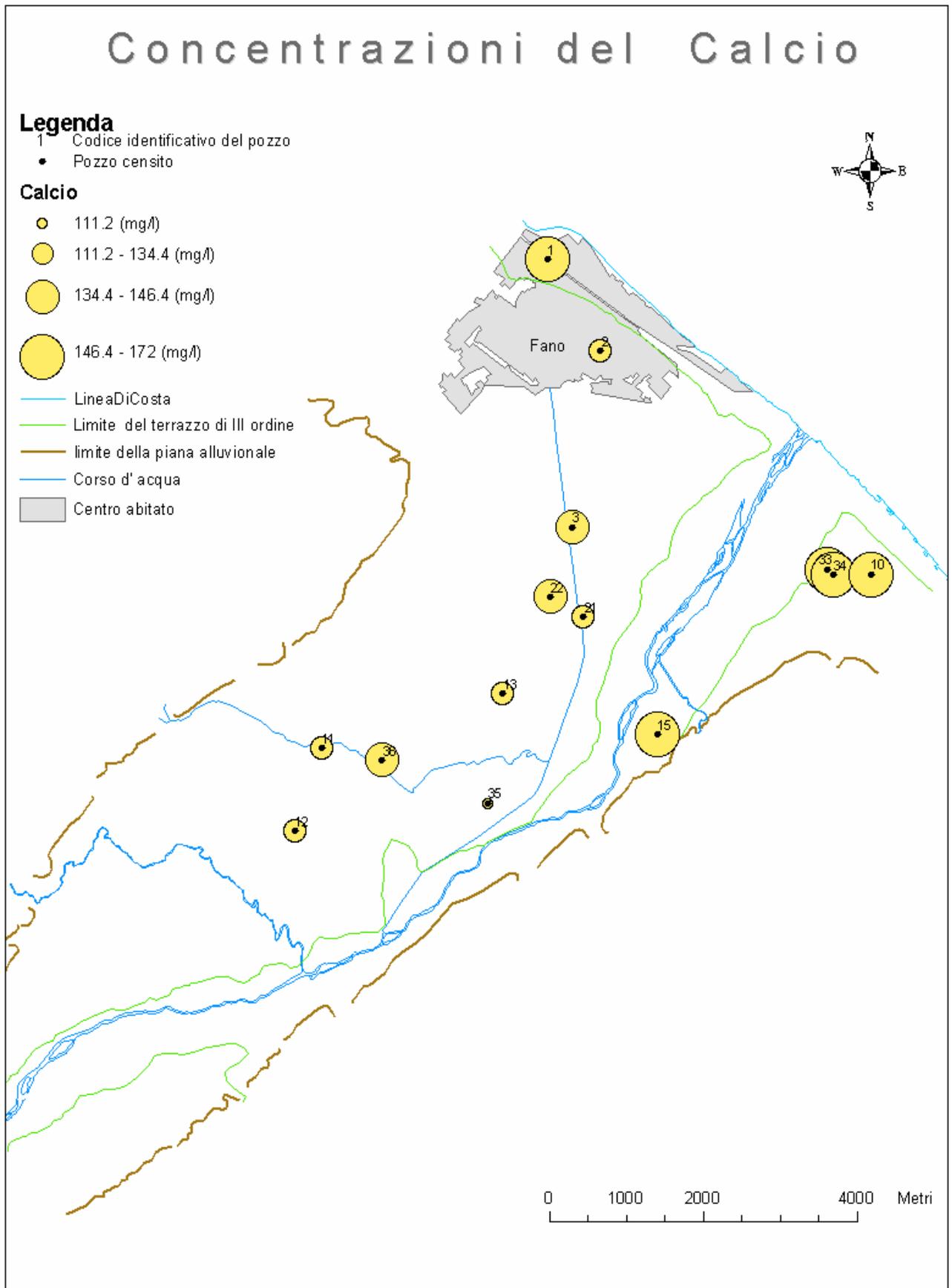


Figura 10-15 Distribuzione delle concentrazioni dello ione Calcio

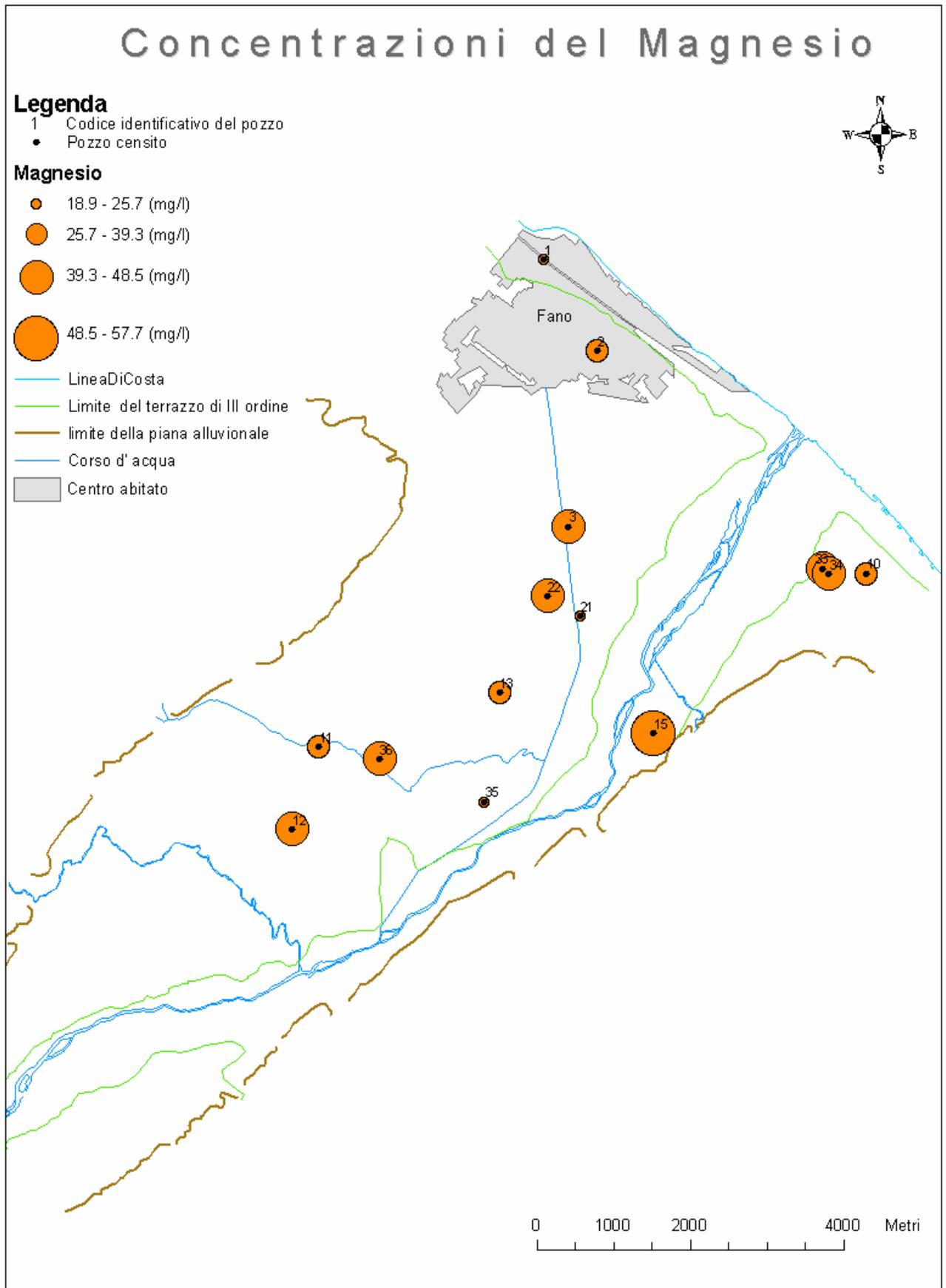


Figura 10-16 Distribuzione delle concentrazioni del Magnesio

### 10.2.1 Rapporti caratteristici

Un ulteriore riscontro delle considerazioni fatte nel precedente paragrafo, si può trovare nei rapporti caratteristici Solfati / Cloruri e Magnesio / Calcio.

RAPPORTO CARATTERISTICO SOLFATI / CLORURI			
N° Pozzo	Solfati (meq/l)	Cloruri (meq/l)	$rSO_4^{2-}/rCl^-$
22	1.9	3.2	0.59
1	2.06	3.6	0.57
2	1.58	4.68	0.34
3	1.39	3.49	0.40
21	1.18	2.22	0.53
13	1.24	2.48	0.50
11	1.51	3.6	0.42
12	1.99	2.08	0.96
36	2.06	2.19	0.94
34	3.64	2.59	1.41
33	4.14	2.93	1.41
10	3.72	3.18	1.17
32	2.51	3.8	0.66
35	1.08	1.8	0.60
15	4.99	3.94	1.27

Tabella 10-1 Rapporto caratteristico  $rSO_4^{2-} / rCl^-$

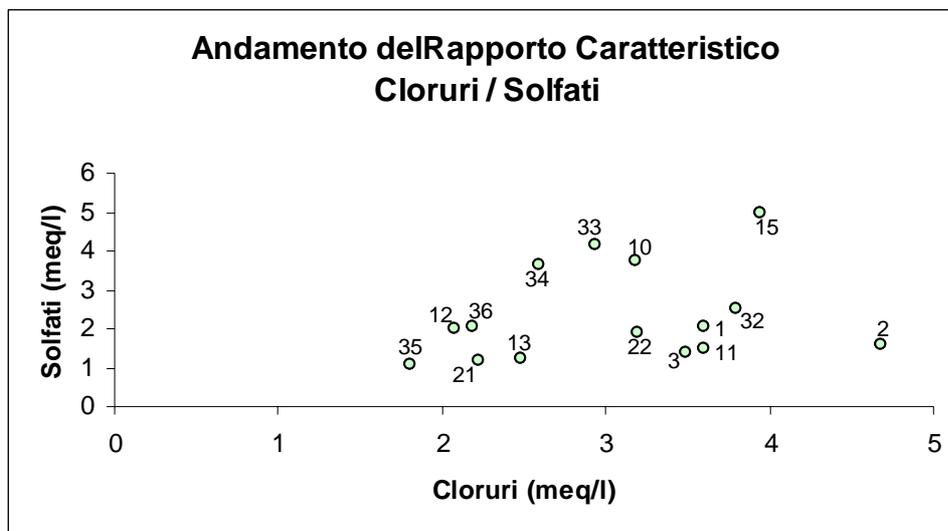


Figura 10-17 Diagramma di correlazione del rapporto caratteristico  $rSO_4^{2-} / rCl^-$

Dall' analisi del rapporto caratteristico  $rSO_4^{2-} / rCl^-$  (Tab. 10-1, Fig. 10-17 e Fig 10-18), risulta che i pozzi 34,33e 10, ubicati a ridosso della costa, ma in destra idrografica e il pozzo 15, sito nelle vicinanze del sistema di faglie, mostrano un rapporto  $rSO_4^{2-} / rCl^-$  elevato con valori che oscillano tra 1.17 e 1.41.

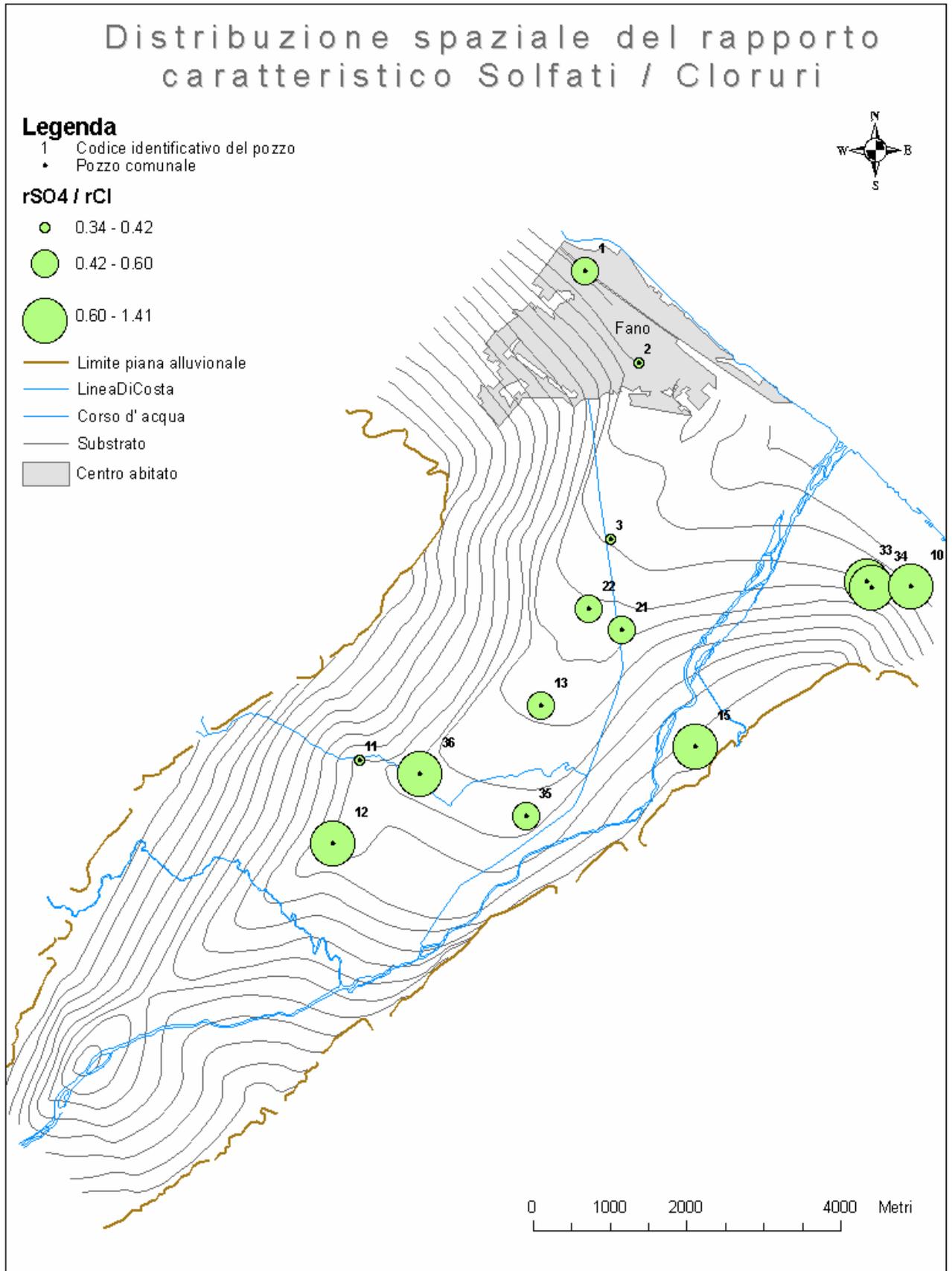


Figura 10-18 Distribuzione spaziale del rapporto caratteristico Solfati/Cloruri, relativo al periodo che va dal mese di aprile al mese di dicembre 2003

I pozzi 12,11, 36, 13, 22 e 3, ubicati più internamente in sinistra idrografica e lungo l'asse del paleoalveo principale, presentano un rapporto minore che varia tra 0.40 e 0.96. Il più basso rapporto si riscontra nel pozzo 2, sito nell'abitato di Fano a ridosso della costa, il quale presenta un valore pari a 0.34. Generalmente il rapporto  $rSO_4^- / rCl^-$ , quando il deflusso è sufficientemente lento, diminuisce da monte verso valle, poiché la solubilità dei cloruri è maggiore di quella dei solfati alcalino-terrosi. Nel caso della piana alluvionale esaminata, verso la costa in destra idrografica, si hanno apporti idrici laterali di acque sotterranee ricche in solfati, tramite il sistema di faglie; pertanto tale rapporto, contrariamente a quanto detto, tende ad aumentare. Nel pozzo 2, dove si ha una diminuzione dei solfati ed un arricchimento in cloruri, attribuibili all'intrusione marina, il rapporto tende a diminuire.

Dall'analisi del rapporto caratteristico  $rMg^- / rCa^{++}$  ( Tab.10-2 , Fig 10-19 e Fig. 10-20), si evince che i pozzi 22, 12, 36, 3 e 2 posti un prossimità del paleoalveo, nella zona più interna e il 15, sempre nelle vicinanze del sistema di faglie, presentano i valori di rapporto maggiori, i quali oscillano tra 0.51 e 0.59.

RAPPORTO CARATTERISTICO MAGNESIO / CALCIO			
N° Pozzo	Magnesio (meq/l)	Calcio (meq/l)	$rMg^- / rCa^{++}$
22	3.55	6.98	0.51
1	2.11	7.83	0.27
2	3.1	6.3	0.49
3	3.47	7.3	0.48
21	1.87	6.58	0.28
13	2.43	6.62	0.37
11	2.99	6.7	0.45
12	3.79	6.38	0.59
36	3.98	6.98	0.57
34	3.59	8.38	0.43
33	3.97	8.58	0.46
10	3.23	7.98	0.40
32	2.71	7.06	0.38
35	1.55	5.54	0.28
15	4.74	8.58	0.55

Tabella 10-2 Valori del rapporto caratteristico  $rMg^- / rCa^{++}$

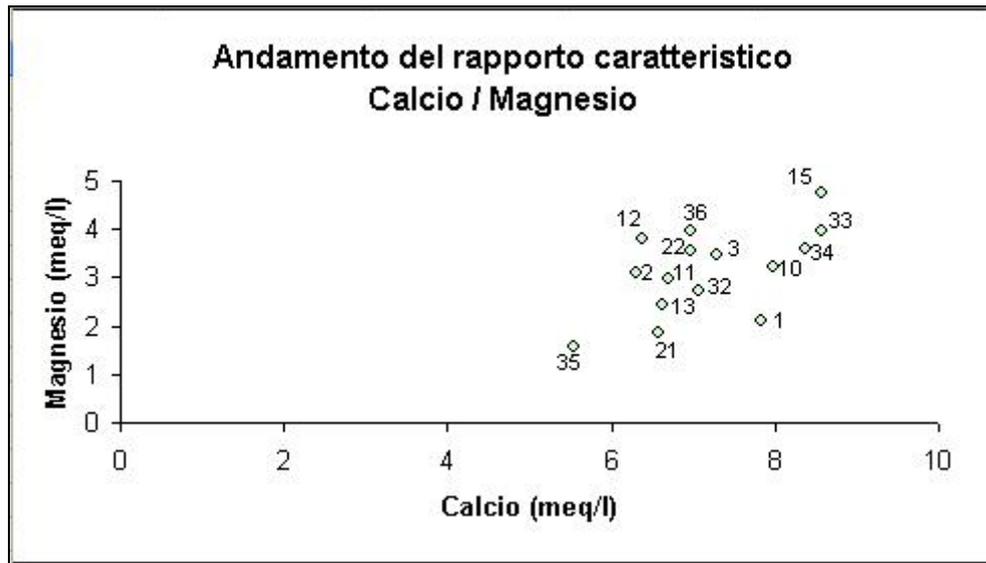


Figura 10-19 Diagramma di correlazione del rapporto caratteristico  $rMg^{\ominus}/rCa^{++}$

Lo stesso rapporto, diminuisce nei pozzi 34, 33 e 10, ubicati a ridosso della costa e 11 e 13 alle estremità laterali del paleoalveo, infatti si riscontrano valori che variano da un minimo di 0.37 ad un massimo di 0.46. I rapporti minori, si ottengono nei pozzi 1 e 3, il primo sito presso l'abitato di Fano e l'altro poco più distante da questo verso l'interno, con valori compresi tra 0.27 e 0.28. Di norma il rapporto caratteristico  $rMg^{\ominus}/rCa^{++}$ , tende ad aumentare da monte verso valle e da zone di drenaggio preferenziale, man mano che ci si allontana da esse. Nel caso della piana alluvionale del Metauro, si ha una controtendenza in quanto, avviene l'esatto contrario. Per quanto concerne il comportamento di tale rapporto in corrispondenza del pozzo 15, l'alto valore qui riscontrato, è da attribuire alla risalita, tramite il sistema di faglie, delle acque più profonde che permeano le formazioni messiniane, poiché va in soluzione il solfato di magnesio.

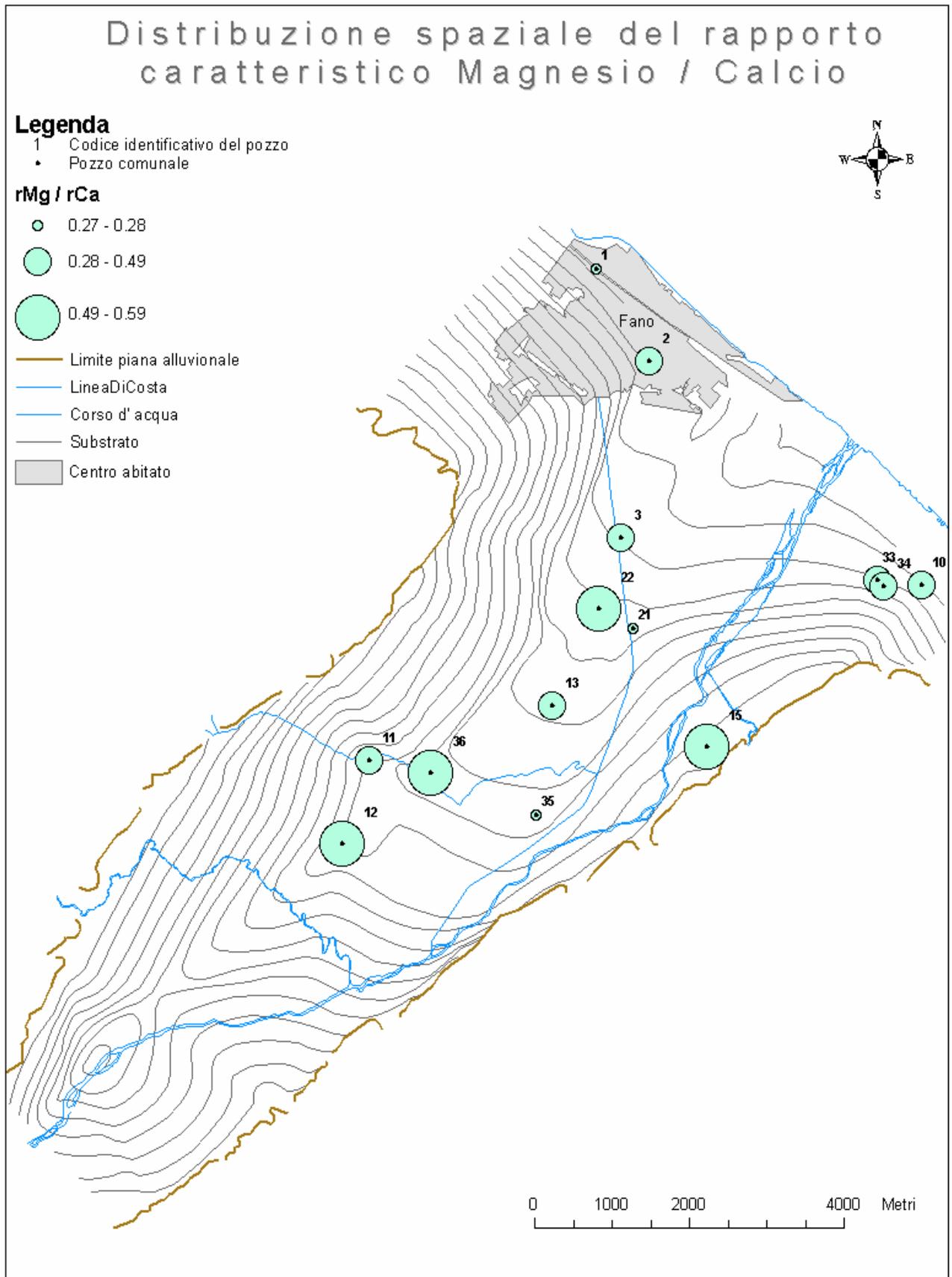


Figura 10-20 Distribuzione spaziale del rapporto caratteristico Magnesio / Calcio, relativo al periodo che va dal mese di aprile al mese di dicembre 2003

## Capitolo 11 FENOMENOLOGIE DI INQUINAMENTO

### 11. 1 Inquinamento da Nitrati

Le sorgenti inquinanti, possono essere puntuali (industrie e zootecniche) o areali (agricole). I nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ), inquinanti inorganici, costituiscono i più diffusi fertilizzanti usati nel campo dell' agricoltura. L' utilizzo dei nutrienti, spesso è causa di inquinamento delle falde, dovuto ad un uso sproporzionato delle quantità utilizzate o a condizioni di permeabilità elevata dei livelli più superficiali. I composti azotati, infatti, veicolati dalle acque di infiltrazione attraverso la zona insatura, possono giungere alla falda acquifera, provocando un incremento di concentrazione, che può oltrepassare il limite previsto per nitrati nelle acque, affinché queste siano potabili, tale limite è di 50 mg/l, dettato dalla DPR 236/88. Con i moderni mezzi utilizzati nell' agricoltura per l' aratura, si tende ad incidere sempre più in profondità il suolo; questo, in un acquifero come quello della pianura alluvionale del Metauro, composto da un sottile strato di copertura, che sovrasta ghiaie molto permeabili, catalizza l' infiltrazione degli inquinanti nella falda acquifera sottostante.

La conducibilità elettrica, è un utile parametro per avere un' idea della concentrazione dei nitrati nelle acque sotterranee, infatti alti valori fanno ipotizzare alte concentrazioni, essendo i nitrati degli elettroliti forti. Tuttavia tale misurazione, non risulta essere discriminante, non essendo la presenza dei nitrati, l' unica spiegazione per giustificare elevati valori di conducibilità elettrica specifica.

Nei campioni prelevati per le analisi chimiche, effettuate dalla A.S.L. n.3 di Fano relative all' anno 2003, viste nel precedente capitolo, sono state misurate anche le concentrazioni dei nitrati. Tutti i pozzi in cui sono stati prelevati i campioni, risultano non conformi a causa del superamento del limite consentito di concentrazione dei nutrienti. Dalle analisi effettuate, è stata redatta una carta della distribuzione delle concentrazioni dell' azoto nitrico nella pianura alluvionale in esame (Fig. 11-1).

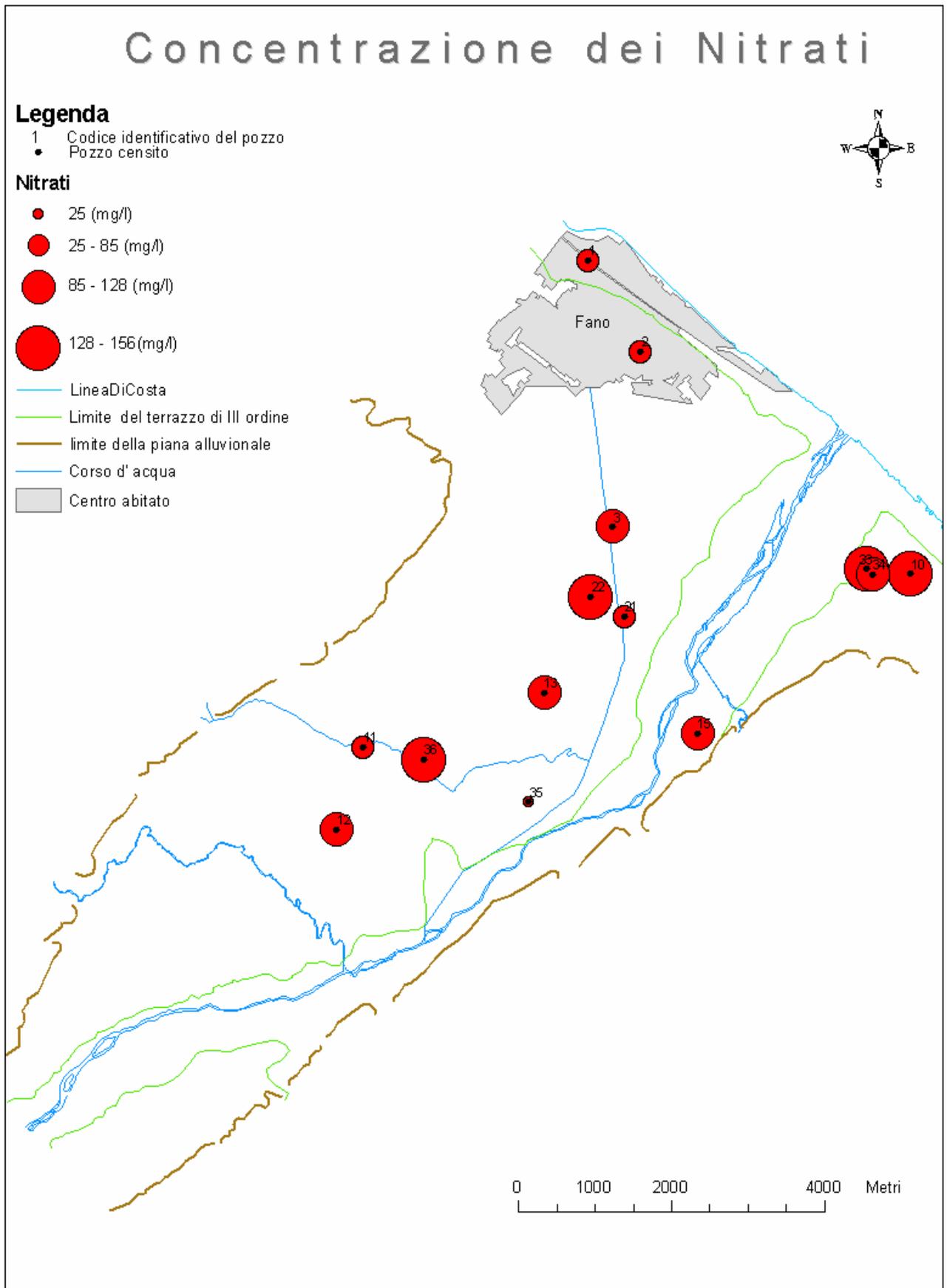


Figura 11-1 Distribuzione delle concentrazioni dei Nitrati

Tale carta presenta i più alti valori di concentrazione, nei pozzi 33 e 10, ubicati lungo costa e nei pozzi 36 e 22, posizionati in sinistra idrografica, lungo l'asse del paleoalveo, il range di variazione va da un minimo di 127 mg/l ad un massimo di 156 mg/l. Concentrazioni di poco inferiori, che oscillano da 85 mg/l a 128 mg/l, si rinvenivano nei pozzi 12, 13 e 3 ubicati medesimamente lungo il paleoalveo principale, nel pozzo 15, la cui non conformità è data anche dall'alta concentrazione del Magnesio, per quanto esposto nel paragrafo 10.2.1 e nel pozzo 34, sito a ridosso della costa. Nei punti di misura 11 e 21, dislocati lungo l'antico letto fluviale e in quelli 1 e 2, nell'abitato di Fano, i valori diminuiscono ancora, infatti variano da 25 mg/l a 85. Infine, la concentrazione più bassa, si riscontra nel pozzo 35, sito nelle vicinanze del fiume Metauro, infatti è proprio l'influenza di questo, legata a fenomeni di diluizione, che abbassa la concentrazione dei nitrati in questa zona.

## 11.2 Inquinamento chimico e batteriologico

Nei campioni prelevati dalla A.S.L. sono state effettuate anche analisi batteriologiche. Risultati positivi, sono dati dai Califormi totali, dalla Carica batterica a 36°C e dalla Carica batterica a 22°C. I californi totali (Fig. 11-2), mostrano alti valori nei punti di prelievo 12 e 13, dislocati lungo l'asse del paleoalveo, i quali oscillano tra 11 e 25 (CFU/100ml). Il pozzo 15, in destra idrografica, nei pressi del principale corso d'acqua ed il 10, in prossimità della costa, presenta una discreta concentrazione che varia da 3 a 10 (CFU/100ml). Tali pozzi risultano essere non conformi, per il superamento della concentrazione massima consentita di californi totali. Nei restanti punti censiti non si rilevano tracce dell'inquinante.

La carica batterica a 36°C (Fig 11-3), mostra i più alti valori nei punti 36 e 22, in sinistra idrografica, dove variano da 31 a 645 (CFU/1ml). Nei pozzi 15 e 10, in destra idrografica, si rilevano concentrazioni oscillanti tra 7 e 30 (CFU/1ml). I restanti punti di prelievo, presentano valori inferiori a 6 (CFU/1ml).

La carica batterica a 22°C (Fig. 11-4), si presenta alta nel pozzo 2, sito nell'abitato di Fano e nel 22, più distante dalla costa, con valori che oscillano tra 96 e

800 CFU/1ml. I pozzi 15 e 10 mostrano valori compresi tra 11 e 95 CFU/1ml. Nei restanti pozzi, la carica batterica a 22°C, è inferiore a 10 CFU/1ml.

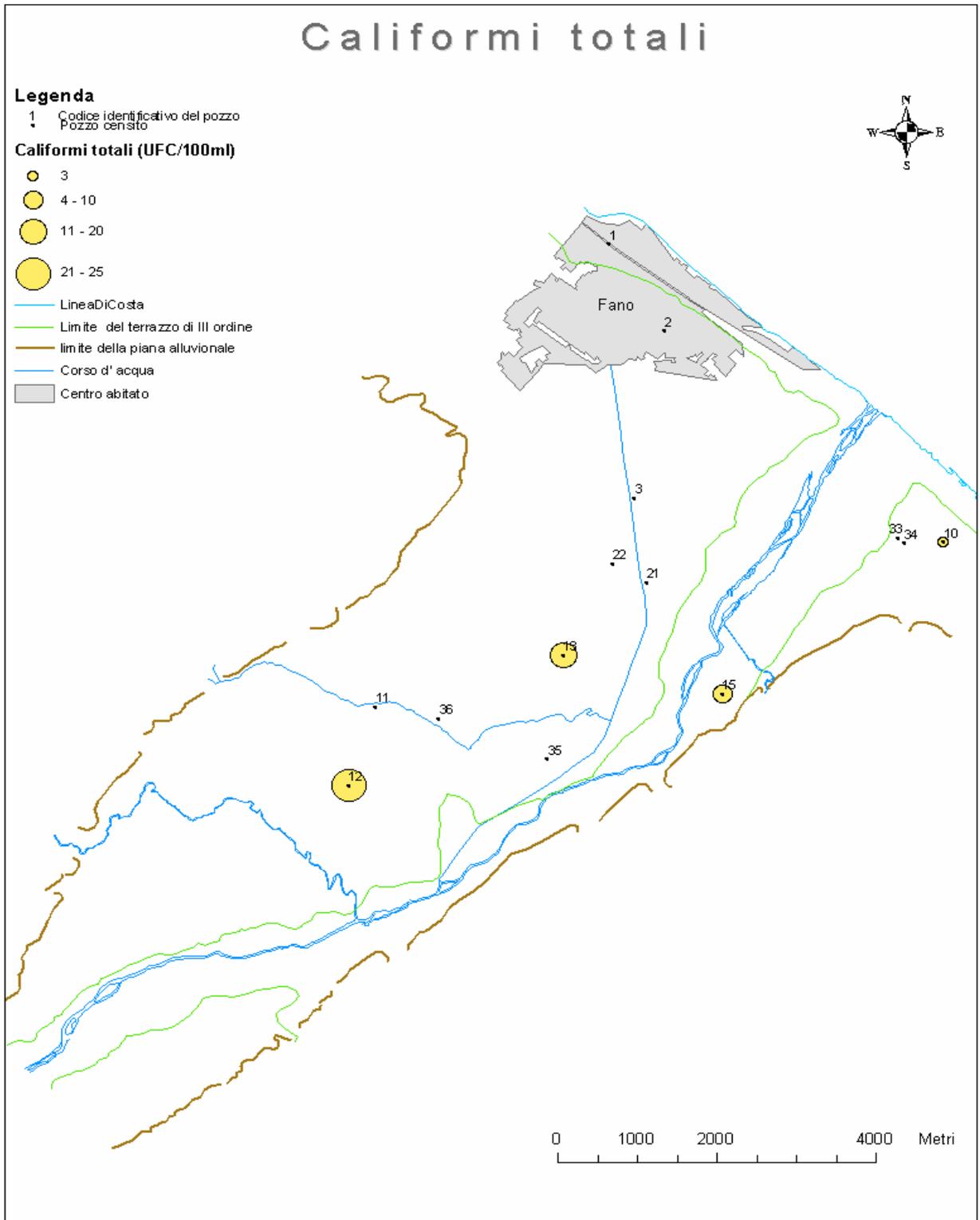


Figura 11-2 Distribuzione areale delle concentrazioni di califormi totali

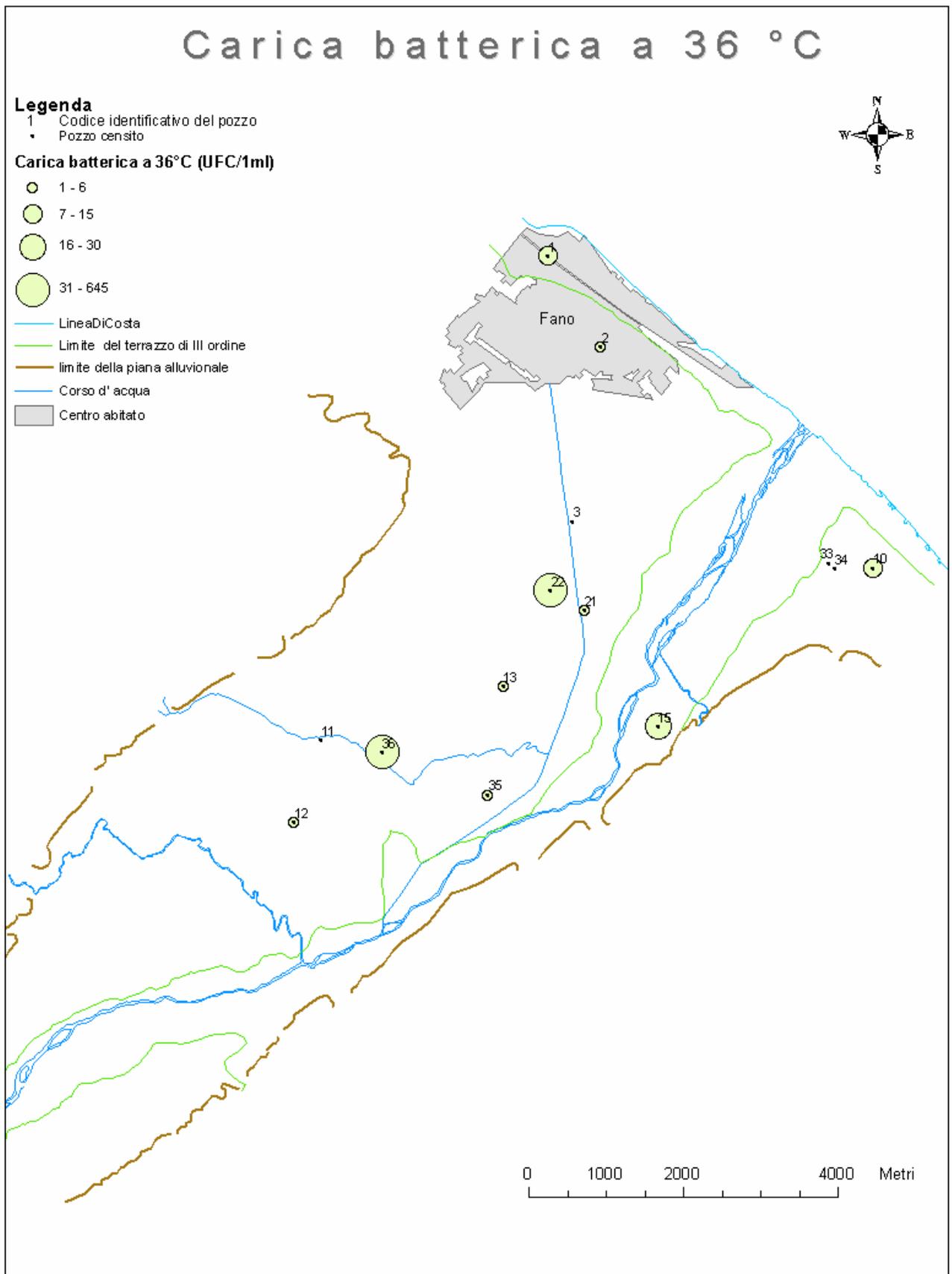


Figura 11-3 Distribuzione areale delle concentrazioni di carica batterica a 36°C

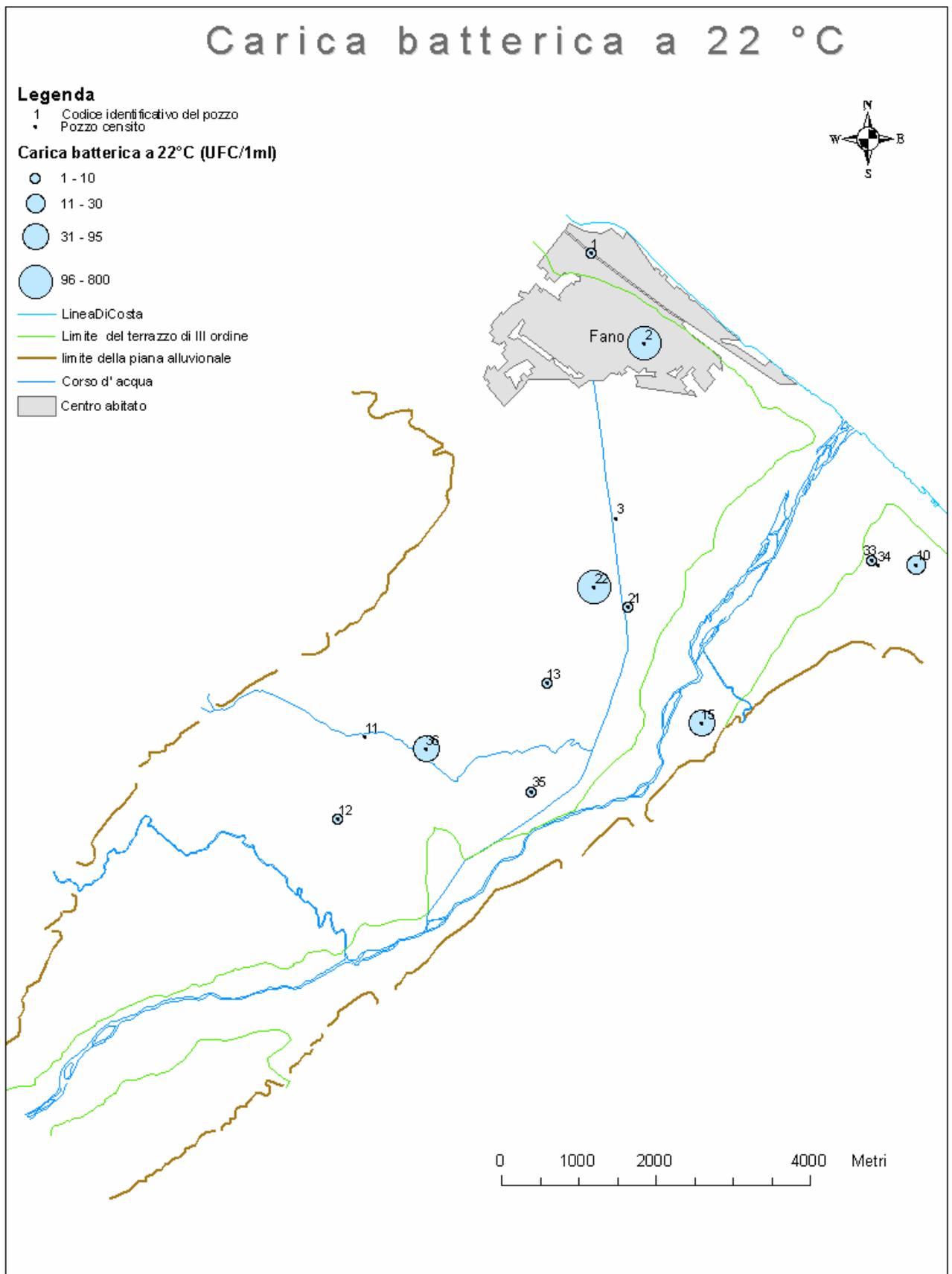


Figura 11-4 Distribuzione areale delle concentrazioni di carica batterica a 22°C

## Capitolo 12

### VULNERABILITA' DELLA BASSA VALLE ALLUVIONALE DEL FIUME METAURO

#### 12.1 Stima della vulnerabilità tramite il metodo DRASTIC

Per l' applicazione del metodo DRASTIC, illustrato nel paragrafo 2.3, il territorio oggetto di studio, è stato suddiviso in maglie quadrate di 1 km di lato. A seconda della disponibilità dei dati, alcuni quadrati sono stati suddivisi ulteriormente in maglie di 500 m di lato. Considerando i vari parametri del metodo in questione (Tab. 12-1), ad ogni maglia, è stato assegnato un punteggio (*rating*) per ciascun parametro. Tale punteggio è stato scelto in un range di valori, in funzione dell' importanza che il parametro considerato assume nella valutazione complessiva.

I punteggi, sono stati desunti da tabelle proposte dall' autore del metodo (*Aller et Alii, U.S. Enviromental Protection Agency, 1985-87*), nelle quali ad ogni campo di valore, corrisponde un range di punteggi, o un punteggio tipico. Nel caso di maglie prive di dati, sono state effettuate correlazioni con le maglie adiacenti, sempre dando il giusto peso alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche, riscontrabili nelle maglie stesse.

Il metodo DRASTIC, prevede inoltre il prodotto di ciascun punteggio per due diverse linee di pesi (*weight*), in alternativa, a seconda dell'uso del suolo, DRASTIC ordinario o DRASTIC agricolo; quest' ultimo è stato utilizzato per quelle aree agricole soggette, in particolar modo, ai fitofarmaci ( Tab 12-1)

	<b>FATTORI</b>	<b>Peso Normale</b>	<b>Peso Agricolo</b>
<b>D</b>	<i>Soggiacenza</i>	5	5
<b>R</b>	<i>Infiltrazione efficace</i>	4	4
<b>A</b>	<i>Acquifero</i>	3	3
<b>S</b>	<i>Suolo</i>	2	5
<b>T</b>	<i>Topografia</i>	1	3
<b>I</b>	<i>Zona Non Saturata</i>	5	4
<b>C</b>	<i>Conducibilità Idraulica dell'acquifero</i>	3	2

Tabella 12-1 Parametri del metodo DRASTIC, con i relativi pesi riferiti al DRASTIC ordinario e al DRASTIC agricolo

Per ciascun parametro, sono state redatte le corrispondenti carte, le quali evidenziano il punteggio parziale assegnato a ciascuna maglia, prima di effettuare il prodotto per il fattore peso ordinario o agricolo.

### **Parametro Soggiacenza (D)**

Il parametro è stato determinato utilizzando la carta della soggiacenza del mese di Maggio 2004 (Fig. 9-7), periodo in cui si verificano i massimi livelli piezometrici e quindi soggiacenze minori, così da mettersi nelle peggiori condizioni. In generale, la carta della distribuzione del parametro soggiacenza (Fig. 12-1), evidenzia che quasi tutta l' area, in particolare quella coincidente con il terrazzo di III ordine, presenta mediamente punteggi che oscillano tra 4 e 5. I valori maggiori, si rinvencono in corrispondenza del fiume Metauro. Laddove la carta della soggiacenza (Fig 9-7) mostra valori maggiori, si riscontrano i minimi punteggi. Tali punteggi sono stati assegnati tramite la tabella 12-2, in cui sono riportati i relativi campi.

<b>Campo (m)</b>	<b>Punteggio</b>
0 - 1,5	10
1.5 - 3.0	9
3.0-9.1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
> 30,5	1

Tabella 12-2 Campi del parametro Soggiacenza (D) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87*)

### **Parametro Ricarica attiva (R)**

Tale parametro, corrisponde ai valori di infiltrazione efficace (in mm/a), ovvero alle acque che giungono per infiltrazione direttamente alla falda. La ricarica attiva, nella presente ricerca, è stata stimata come l'80% del deflusso idrico globale (in mm/a), determinato nel capitolo 7 per l' area considerata. Si considera, dunque, come punteggio medio per tutta la valle alluvionale in esame, il valore 8 corrispondente al range 175-250 mm/a (Fig 12-2). I punteggi sono stati assegnati tramite la tabella 12-3, in cui sono riportati i relativi campi.

<b>Campo (mm/anno)</b>	<b>Punteggi</b>
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 175	6
175 - 250	8
>250	9

Tabella 12-3 Campi del parametro Ricarica attiva (R) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87*)

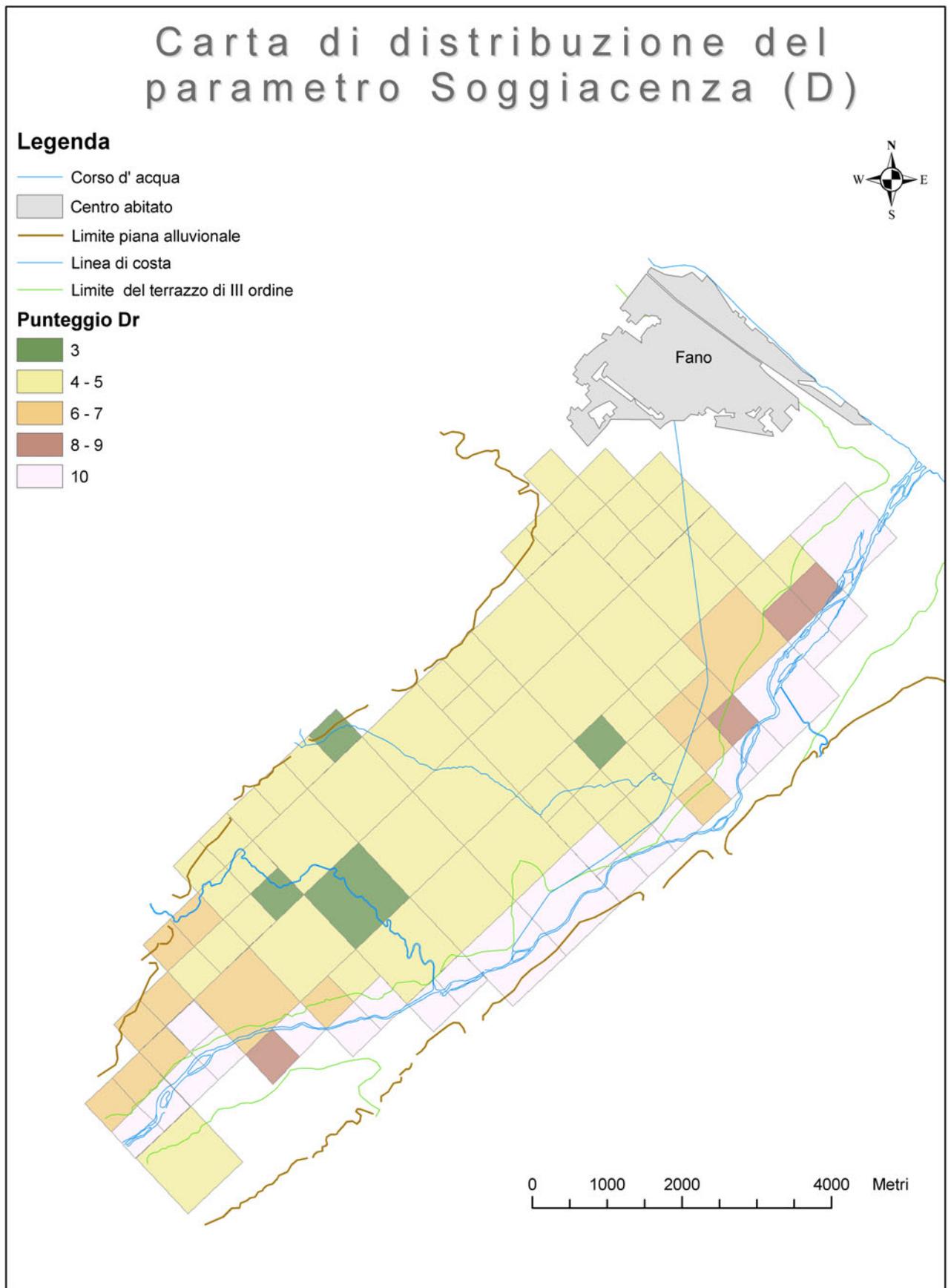


Figura 12-1 Carta di distribuzione del parametro Soggiacenza (D)

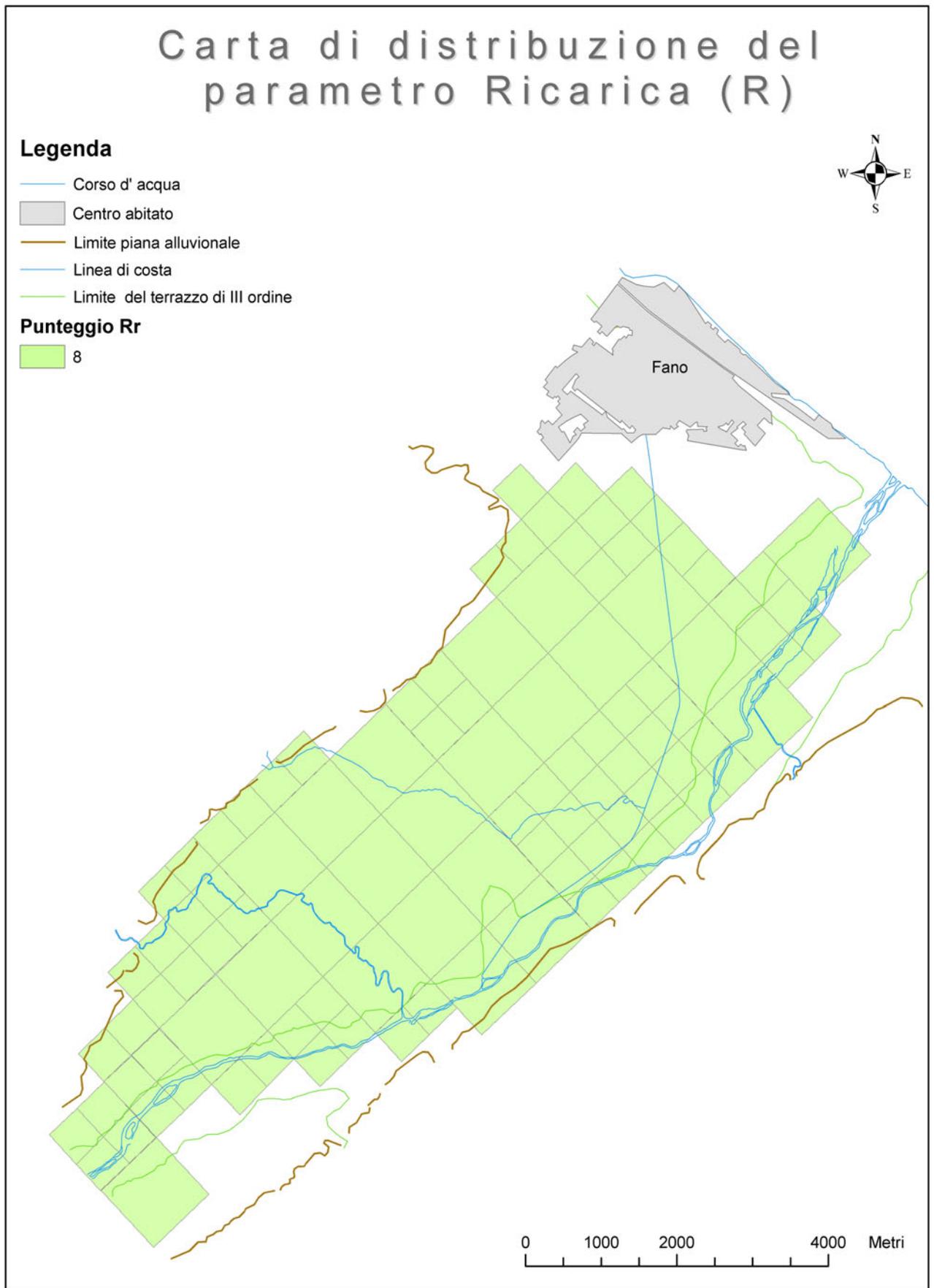


Figura 12-2 Carta di distribuzione del parametro Ricarica (R)

### Caratteristiche litologiche dell' acquifero (A)

I punteggi da attribuire alle litologie dell' acquifero, sono stati desunti dalle sezioni stratigrafiche, ricostruite tramite alcuni sondaggi geognostici di proprietà del comune di Fano (Cap.8). Poiché la litologia predominante è rappresentata dalle ghiaie, è stato assegnato a tutta l' area in studio il punteggio 8 (Fig 12-3). Tale valore è stato desunto dalla tabella 12-4, in cui sono riportati i campi relativi ai vari punteggi.

<b>Campo</b>	<b>Punteggio</b>	<b>Punteggio tipico</b>
marne massicce	1 - 3	2
rocce metamorfiche igneo	2 - 5	3
rocce metam.igneo alterate	3 - 5	4
calcari, arenarie e marne stratificate	5 - 9	6
arenarie compatte	4 - 9	6
calcari e dolomie massicci	4 - 9	6
sabbie e ghiaie	6 - 9	8
basalti	2 - 10	9
calcari carsici	9 - 10	10

Tabella 12-4 Campi del parametro Caratteristiche litologiche dell' acquifero (A) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87*)

### Suolo (S)

La stima della tipologia del terreno di copertura, è stata effettuata avvalendosi dei dati stratigrafici disponibili e di sopralluoghi in campagna. La carta di distribuzione del parametro Suolo (Fig12-4) , evidenzia come la maggior parte dell' area, è interessata da bassi punteggi, i quali aumentano nella parte più a monte della pianura alluvionale, fino a raggiungere i massimi valori lungo il fiume Meatauro. I punteggi sono stati assegnati tramite la tabella 12-5, in cui sono riportati i relativi campi.

<b>Campo</b>	<b>Punteggio</b>
sottile o assente	10
ghiaia	10
sabbia	9
sabbia argillosa	7
loam sabbioso	6
loam	5
loam siltoso	4
loam argilloso	3
argilla plastica	1

Tabella 12-5 Campi del parametro Suolo (S) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87*)

### Acclività della superficie topografica (T)

L' acclività della superficie topografica, è stata calcolata per ciascuna maglia, con l' ausilio di carte 1:25000 e 1: 10000. La carta dei punteggi attribuiti in funzione delle diverse acclività (Fig.12-5), mostra che i più alti valori si riscontrano in corrispondenza del terrazzo di III ordine, mentre diminuiscono in prossimità del limite nord-occidentale della piana. I punteggi sono stati assegnati tramite la tabella 12-6, in cui sono riportati i relativi campi.

<b>Campo di pendenza (%)</b>	<b>Punteggio</b>
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

Tabella 12-6 Campi del parametro Acclività della superficie topografica (T) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87*)

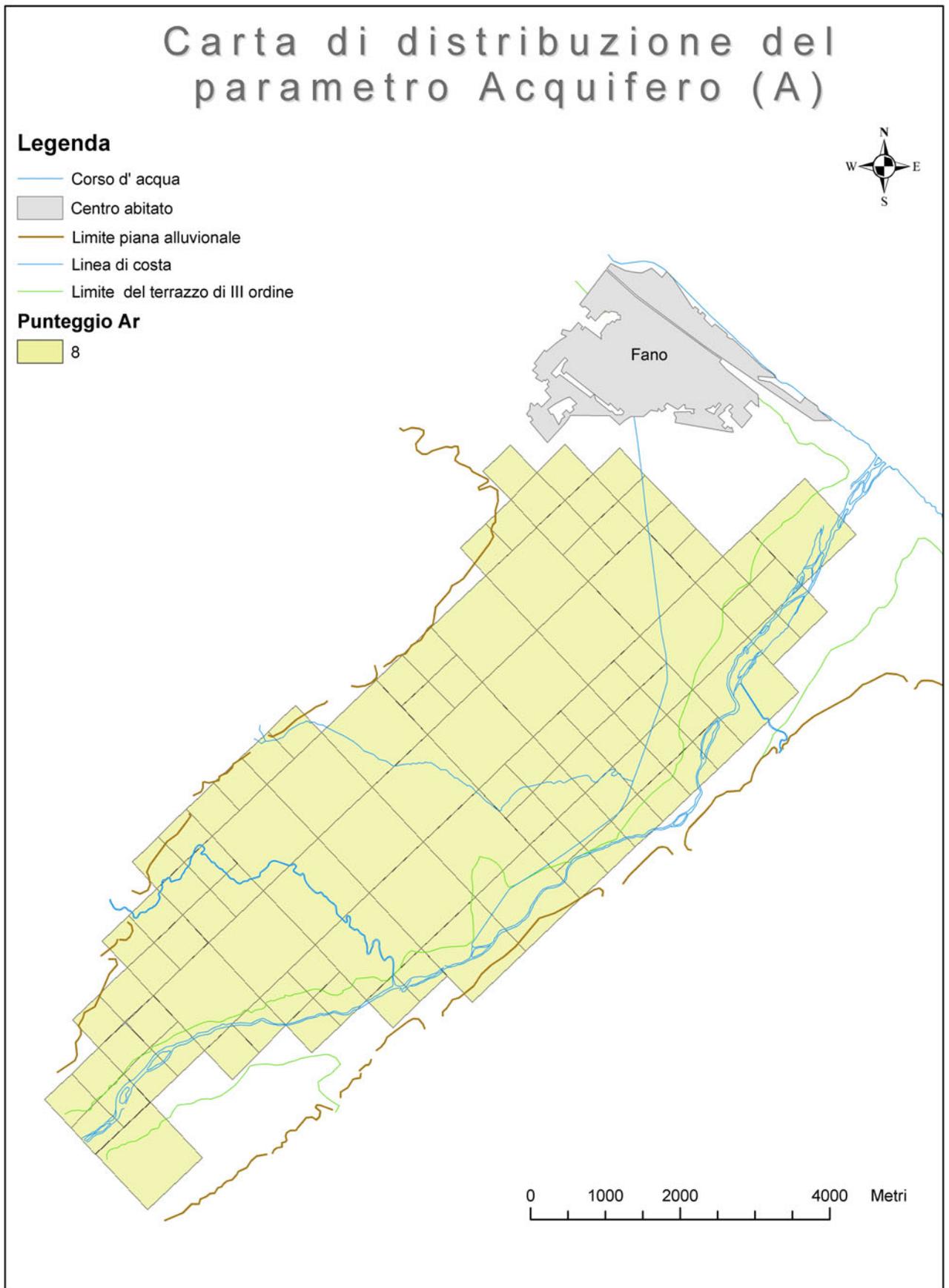


Figura 12-3 Carta di distribuzione del parametro Acquifero (A)

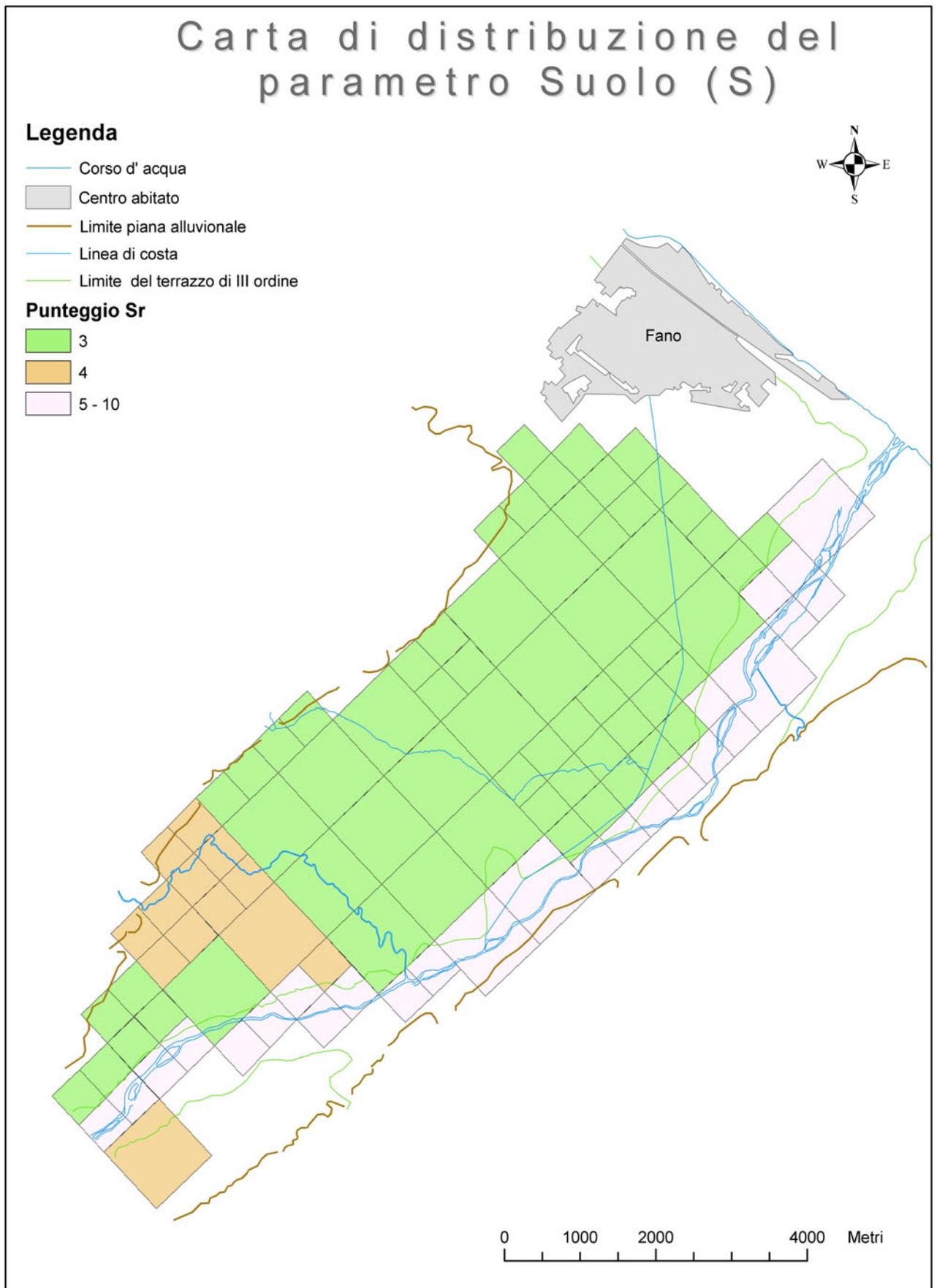


Figura 12-4 Carta di distribuzione del parametro Suolo (S)

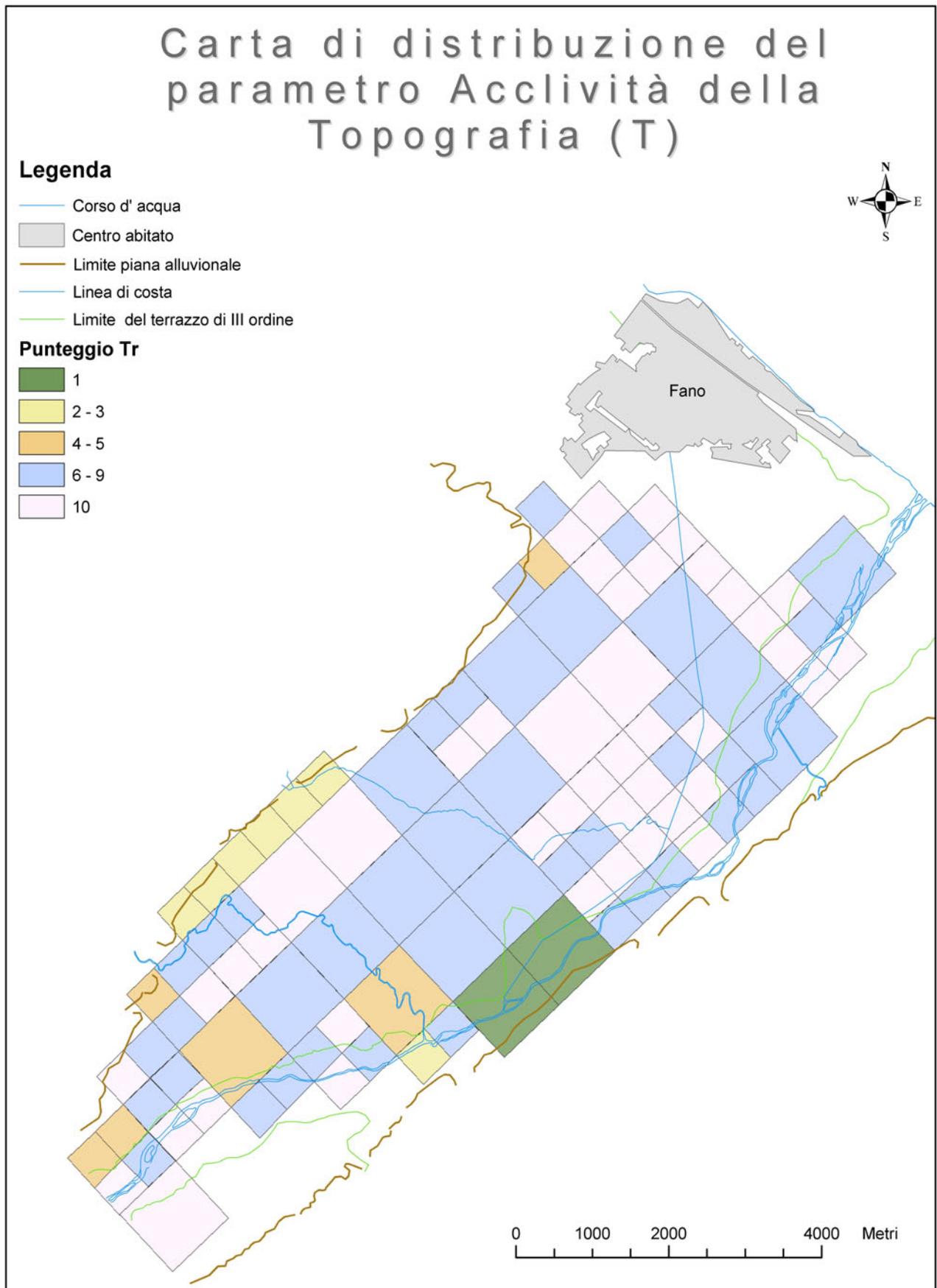


Figura 12-5 Carta di distribuzione del parametro Acclività della Topografia (T)

### Litologia dell' insaturo ( I )

La stima delle litologie che caratterizzano la zona insatura, è stata effettuata analizzando i sondaggi geognostici a disposizione e le sezioni ricostruite tramite questi. Dall' analisi della carta di distribuzione dei punteggi del parametro insaturo (Fig. 12-6), risulta che i valori più alti si osservano nella zona più a monte della valle alluvionale e lungo il fiume principale. Il settore più a valle, invece, presenta punteggi più bassi. Tali punteggi sono stati assegnati tramite la tabella 12-7, in cui sono riportati i relativi campi.

<b>Campo</b>	<b>Punteggio</b>	<b>Punteggio tipico</b>
limo / argilla	1 - 2	1
marne	2 - 5	3
calcari	2 - 7	6
arenarie	4 - 8	6
calcari/marne/arenarie strat.	4 - 8	6
sabbie e ghiaie con silt e argille	4 - 6	6
sabbie e ghiaie	6 - 5	8
basalti	2 - 10	9
calcari carsici	8 - 10	10

Tabella 12-7 Campi del parametro Litologia dell' insaturo (I) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87* )

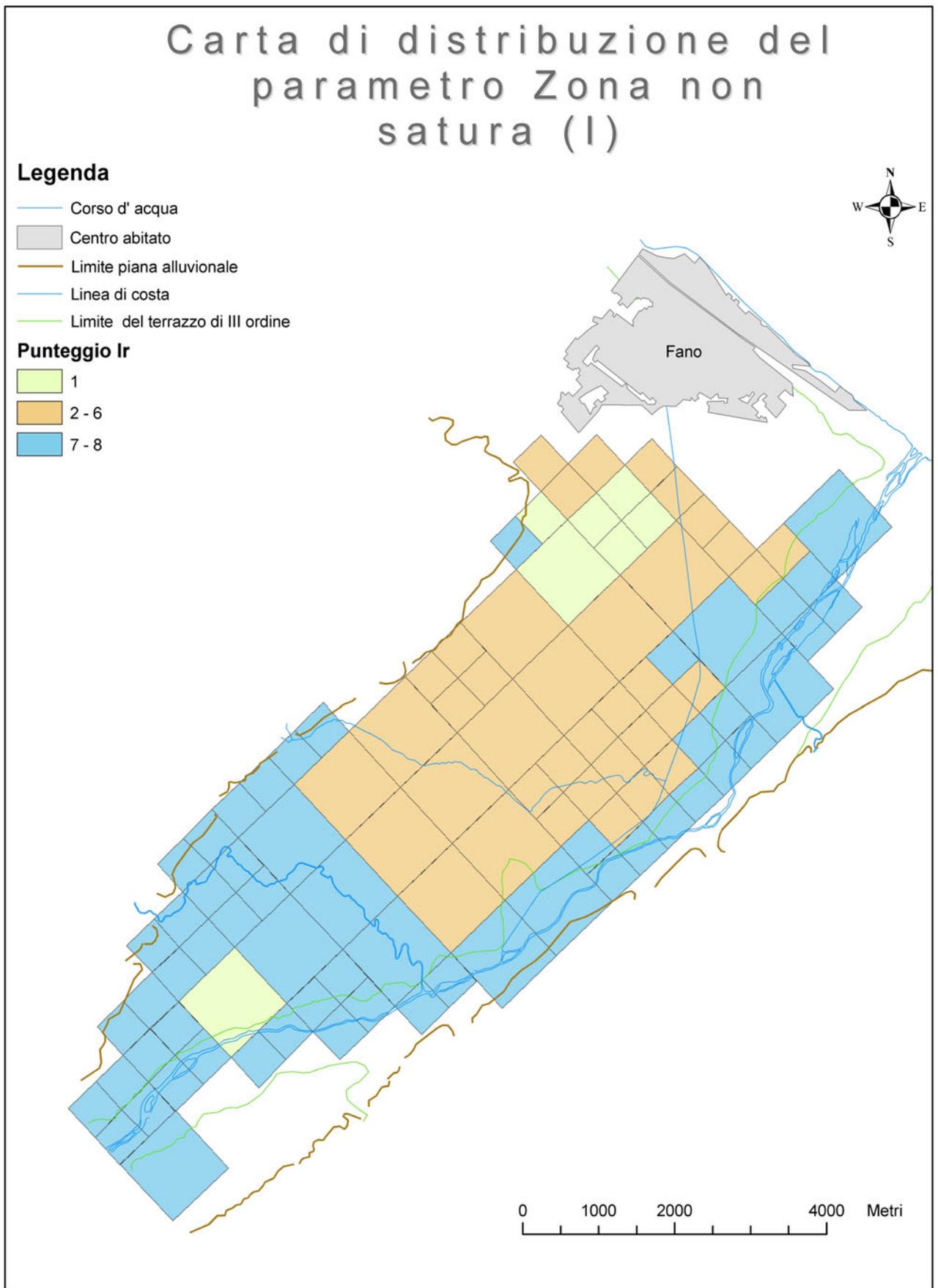


Figura 12-6 Carta di distribuzione del parametro Zona non satura (I)

### Conducibilità idraulica (C)

La stima della conducibilità idraulica, non avendo a disposizione prove di portata, è stata desunta dalle stratigrafie delle sezioni ricostruite tramite i sondaggi disponibili, attribuendo, per ogni maglia, un valore di conducibilità idraulica, in funzione della litologia dell' acquifero. Dalla distribuzione dei vari punteggi, relativi a tale parametro (Fig 12-7), risulta che i valori più alti si riscontrano nella parte più alta della valle, mentre punteggi relativamente più bassi si rilevano nell'area più a valle. Tali punteggi, sono stati assegnati tramite la tabella 12-8, in cui sono riportati i relativi campi.

<b>Campo (m/s x 10<sup>-4</sup>)</b>	<b>Punteggio</b>
0,0076 - 0,76	1
0,76 - 1,4	2
1,4 - 3,2	4
3,2 - 4,6	6
4,6 - 9,2	8
>9,2	10

**Tabella 12-8 Campi del parametro Conducibilità idraulica (C) e relativi punteggi ( *Aller et Alii, 1985-87* )**

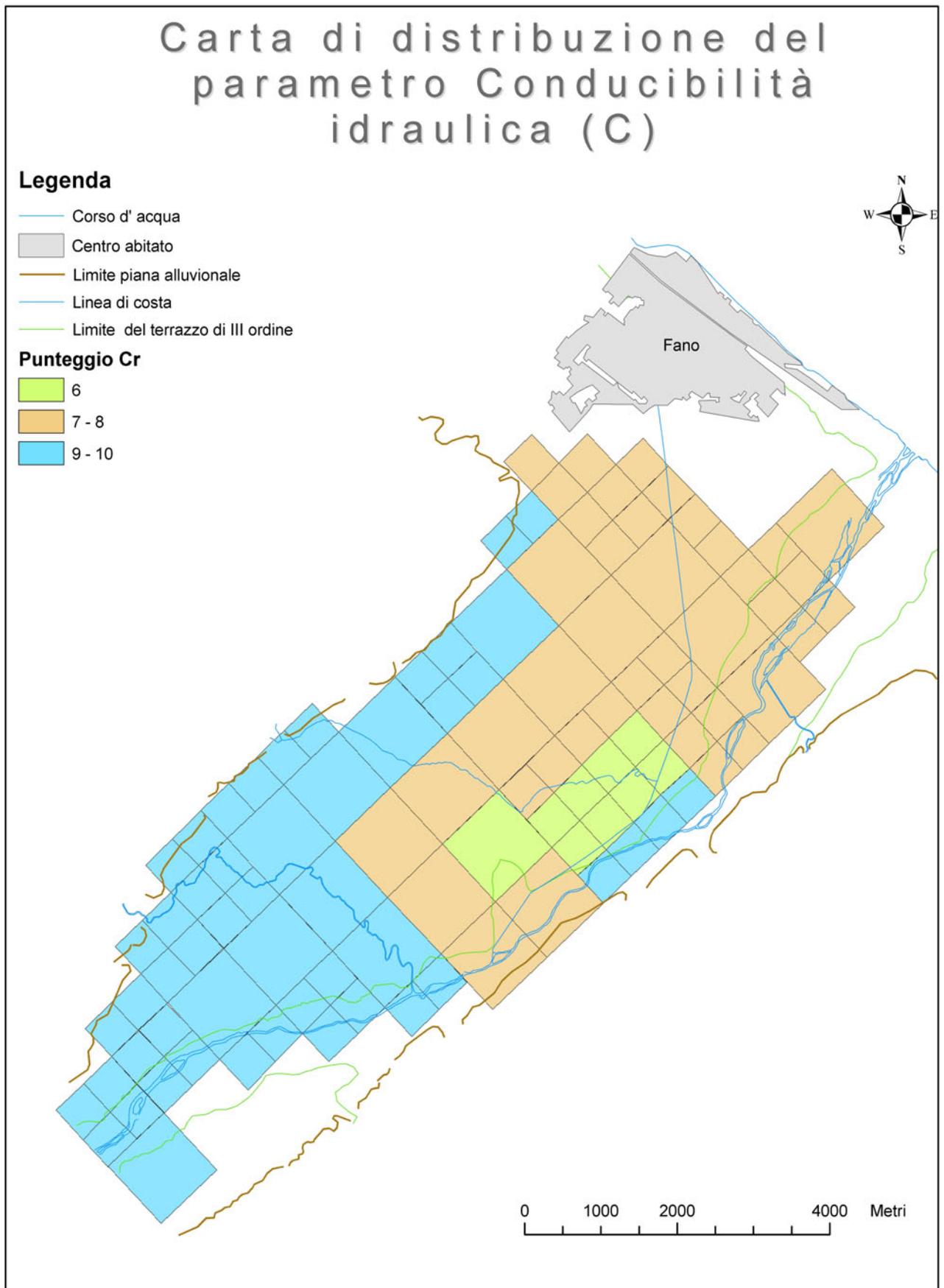


Figura 12-7 Carta di distribuzione del parametro Conducibilità idraulica (C)

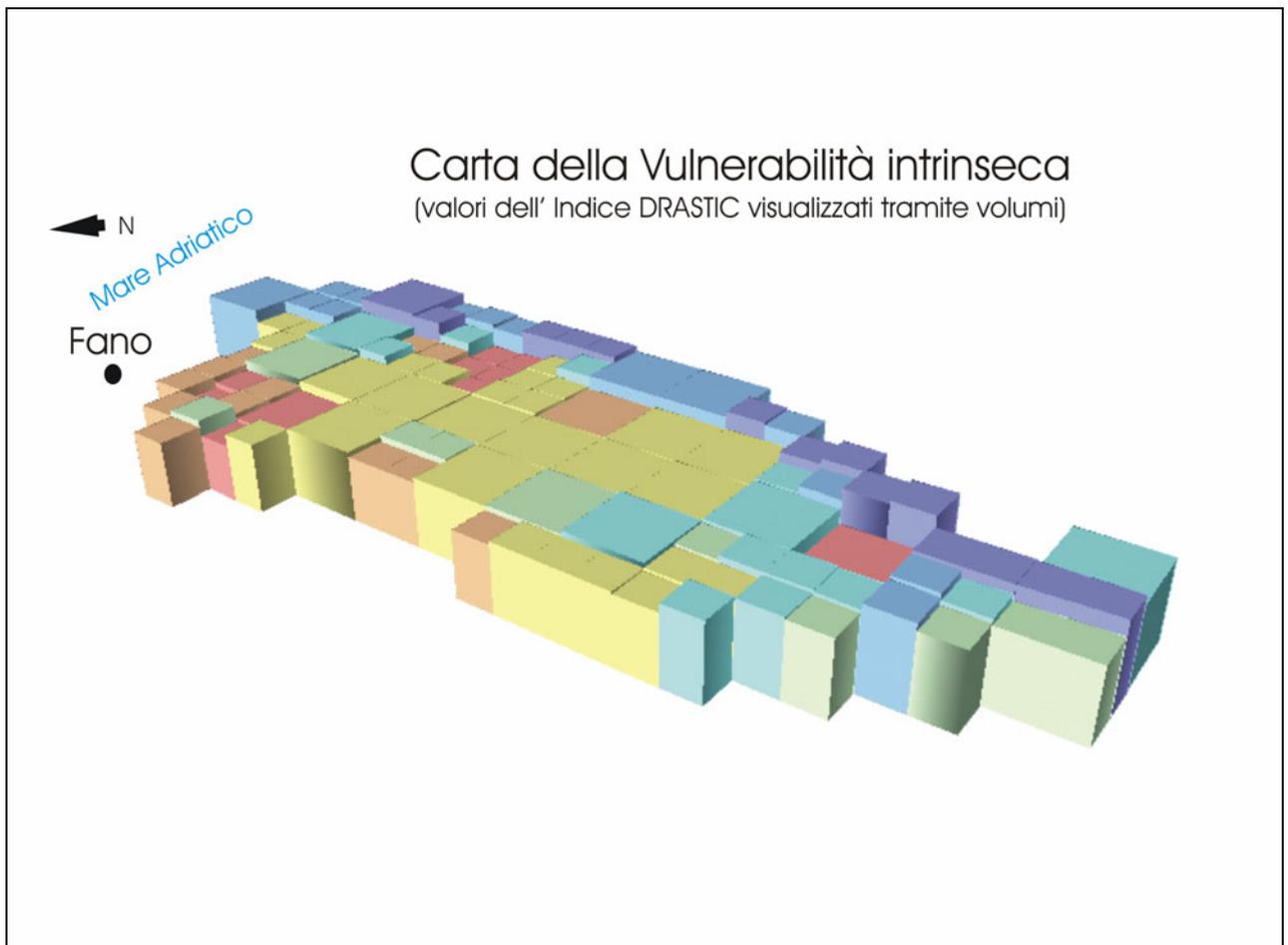
### 12.3 Considerazioni sulla vulnerabilità dell' acquifero

Sommando i prodotti dei vari punteggi per i pesi ordinari o agricoli, di ciascun parametro, si è ottenuto un indice DRASTIC per ciascuna maglia, fino ad ottenere la carta della vulnerabilità intrinseca dell' acquifero in esame (Fig. 12-8 e 12-9). La sommatoria dei prodotti per ottenere l' indice, è stata effettuata, tramite il GIS, utilizzando la tabella attributi relativa alla "Feature Class" metodo DRASTIC del database, popolata con i pesi e i punteggi dei sette parametri del metodo.

La carta della vulnerabilità, mostra una zonizzazione in aree caratterizzate da diversa suscettibilità dell' acquifero all' inquinamento, relativa alla bassa valle alluvionale del fiume Metauro. Dall' analisi della carta risulta che la minor vulnerabilità, si riscontra essenzialmente in tre zone ristrette, una a monte del Rio Secco, una nei pressi della confluenza tra Fosso della Carrara e Vallato del Porto ed una nelle vicinanze dell' abitato di Fano, zone in cui l' indice DRASTIC oscilla tra 135 e 150. Lungo l'asse del paleoalveo principale, nell' area a valle del Rio Secco, la carta mostra valori medi di vulnerabilità, compresi in un range che varia da 150 a 180. La vulnerabilità si presenta alta, nella zona a monte del Rio secco, infatti l' indice DRASTIC assume valori da 180 a 190. Infine, le aree più vulnerabili, risultano essere quelle dislocate lungo l' asse del fiume Metauro, dove si raggiungono valori dell' indice, che oscillano da 190 a 230. In una pianificazione territoriale, è consigliabile allocare attività produttive (o allevamenti), potenziali fonti di inquinamento, in quei siti che presentano la minor vulnerabilità, per evitare di esporre a rischi, la falda di subalveo che interessa il territorio in questione.

Il metodo DRASTIC ( *Aller et Alii, 1985-87*) utilizzato, risulta essere uno dei più completi tra i metodi noti in letteratura, poiché include il più elevato numero di parametri chiamati in gioco. Tale metodo ha inoltre la caratteristica, di fornire un risultato il più possibile oggettivo, anche se potrebbero risultare discutibili i criteri con cui sono stati assegnati i punteggi e pesi dei vari parametri. Pur essendo il metodo operativo apparentemente semplice da applicare, rimane l' evidente difficoltà di avere a disposizione per tutte le zone del territorio investigato, una così grande mole di informazioni specifiche e ben distribuite.





**Figura 12-9** Rappresentazione della vulnerabilità intrinseca della bassa valle alluvionale del fiume Metauro (i valori dell' indice DRASTIC sono visualizzati tramite volumi)

## **Capitolo 13**

### **CONCLUSIONI**

#### **13.1 Considerazioni conclusive**

##### **Scopi ed Obiettivi**

L'obiettivo principale della presente ricerca, è consistito nella valutazione della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento, allo scopo di fornire una zonizzazione delle aree maggiormente esposte alle potenziali contaminazioni, della bassa valle alluvionale del fiume Metauro, nel tratto compreso tra Montemaggiore ed il mare, area che ricade in buona parte nel territorio comunale di Fano (PU). Il sito in questione è ubicato nel settore nord-orientale della regione Marche.

Un ulteriore obiettivo, è stato quello di gettare le basi per costruire uno "scenario dinamico", ossia una rappresentazione della vulnerabilità dell'acquifero in questione, integrata con un continuo aggiornamento degli elementi variabili; a tale scopo è stata utilizzata la metodologia GIS (Geographic Information System), un sistema per inserire, archiviare, trattare, gestire, analizzare e visualizzare dati alfanumerici georeferenziati. Il cuore di tale metodologia è il database; nella presente ricerca ci si è avvalso di un modello di geodatabase specifico per le problematiche legate alle risorse idriche sotterranee.

##### **Metodologie di lavoro**

Per il conseguimento degli obiettivi, il lavoro è stato sviluppato in più fasi. La ricerca bibliografica inerente l'area in studio, ha consentito, inizialmente, un inquadramento geografico e geologico, nonché una analisi preliminare degli utilizzi del suolo e delle risorse idriche. Successivamente sono stati effettuati sopralluoghi e campagne di misura, nei periodi di inizio Maggio ed inizio Ottobre 2004, in cui sono stati censiti pozzi appartenenti a privati, prevalentemente ad uso irriguo, dislocati nel territorio studiato. Questa fase ha permesso di reperire dati inerenti la piezometria, la conducibilità elettrica specifica, la temperatura ed il pH. Il censimento dei punti d'acqua, ha permesso di ricostruire la morfologia della superficie piezometrica e di fare considerazioni, sulle caratteristiche chimico-fisiche delle acque. Contemporaneamente, è stato possibile effettuare un

censimento, di alcuni centri produttivi, potenziali fonti d' inquinamento, che insistono sulla piana alluvionale in questione.

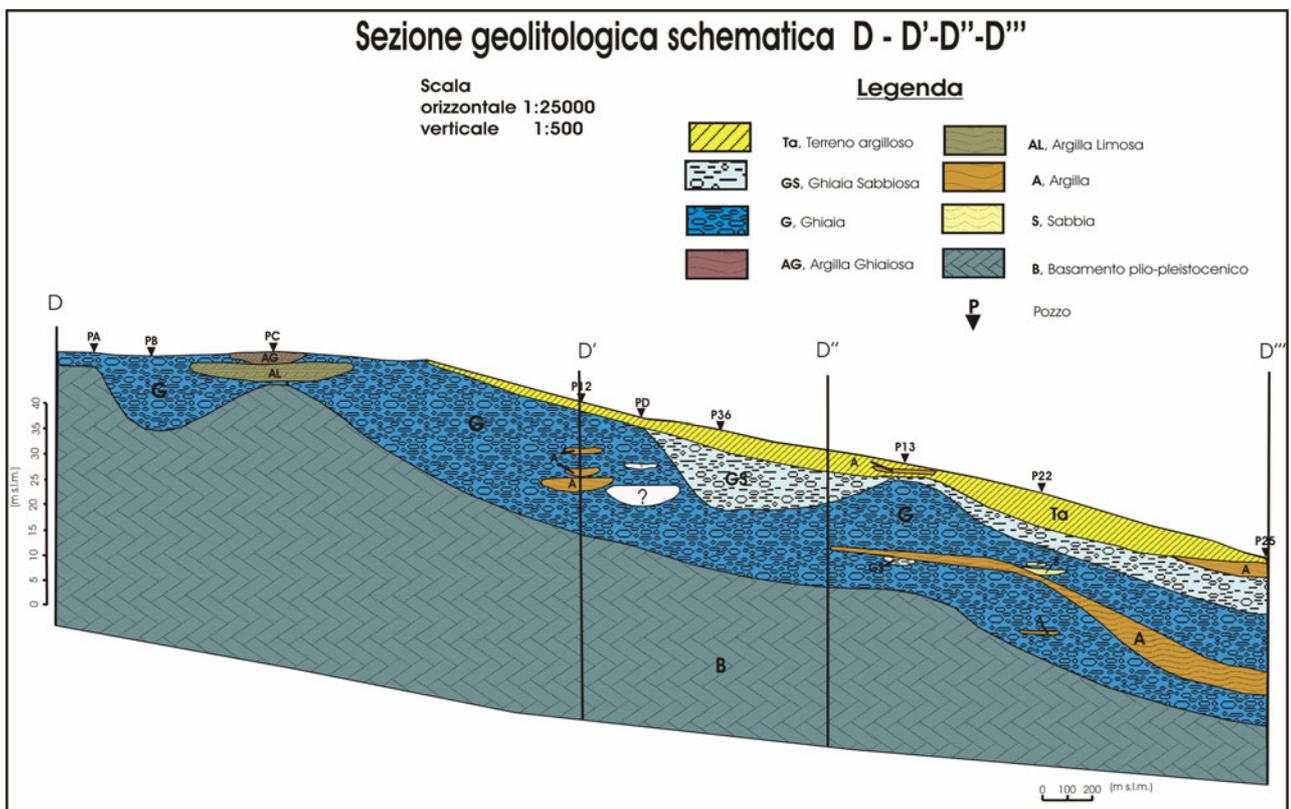
Successivamente sono state ricostruite le geometrie dell' acquifero, determinati gli spessori del materasso alluvionale e l' andamento del substrato, utilizzando dati ottenuti da sondaggi geognostici, effettuati per conto del comune di Fano. Il reperimento di analisi chimiche, ha permesso la caratterizzazione idrochimica delle acque sotterranee e di effettuare correlazioni tra queste e l' assetto geologico dell' area in esame. Contestualmente, tali analisi hanno reso possibile una valutazione delle fenomenologie di inquinamento, che attualmente interessano il territorio.

Dopo aver raccolto ed elaborato i dati pluviometrici e termometrici a disposizione, è stato effettuato il bilancio idrologico, estendendolo ad un area maggiore di quella studiata, al fine di effettuare una valutazione delle risorse idriche sotterranee. I dati reperiti durante tutte le precedenti fasi, sono stati inseriti ed archiviati nel geodatabase del GIS. Questo ha favorito la gestione, l' analisi ed l' elaborazione, della mole di informazioni raccolte, le quali sono state visualizzate tramite carte tematiche. Dall'incrocio di tutti i dati a disposizione e avvalendosi del metodo DRASTIC, è stato possibile infine, effettuare una valutazione della vulnerabilità dell' acquifero all' inquinamento.

### **Risultati**

L' inquadramento geologico, mostra che sono presenti depositi del ciclo miocenico, generalmente politico-arenacei, sulle colline in sinistra idrografica, dove, si nota in particolare l' affioramento della formazione gessoso-solfifera messiniana; sempre in sinistra idrografica, ma soprattutto in destra, affiorano i depositi del ciclo plio- pleistocenico, prevalentemente pelitici e politico-arenacei. In entrambi i casi, i depositi sono interessati da faglie appenniniche ed antiappenniniche. I depositi quaternari, formano la vasta pianura alluvionale, il cui assetto geomorfologico, evidenzia la forma asimmetrica della valle, con la sinistra idrografica più sviluppata, in cui predomina il terrazzo di terzo ordine e la destra idrografica poco o per niente sviluppata.

La ricostruzione delle geometrie dell' acquifero, mette in evidenza che gli spessori minori (circa 15m) della coltre alluvionale, si riscontrano nel settore più a monte della pianura alluvionale del Metauro, dove affiorano le ghiaie; queste rappresentano la litologia predominante in tutto l' acquifero. Nel settore più a valle gli spessori aumentano (30-40 m) e contestualmente l'acquifero risulta più complesso poiché, agli spessi corpi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, comunque predominanti, si intercalano ampie e spesse lenti argillose che potrebbero conferire all' acquifero, localmente le caratteristiche di multistrato (Fig 13-1).



**Figura 13-1 Sezione geolitologica schematica; la traccia di sezione è longitudinale alla pianura alluvionale del fiume Metauro**

Dalla ricostruzione, inoltre, il substrato risulta essere meno profondo nel settore più interno della valle, mentre raggiunge le massime profondità in prossimità della costa. Dossi anomali, che emergono dall' andamento della morfologia del basamento, sono riconducibili ai sistemi di faglie che interessano l' area. Tale andamento, inoltre, mette in evidenza la presenza di un paleoalveo collocato in sinistra idrografica e parallelo al fiume Metauro (Fig. 13-2).

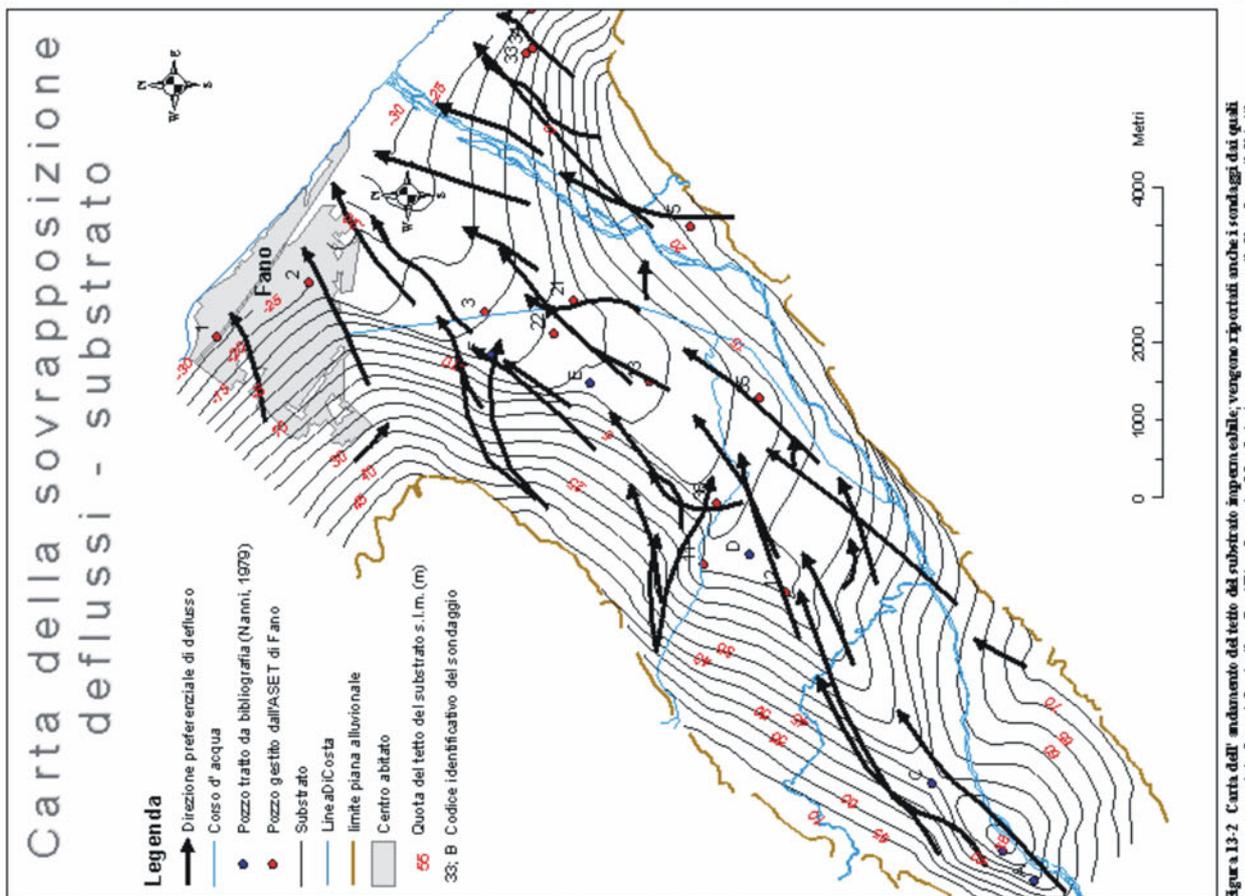
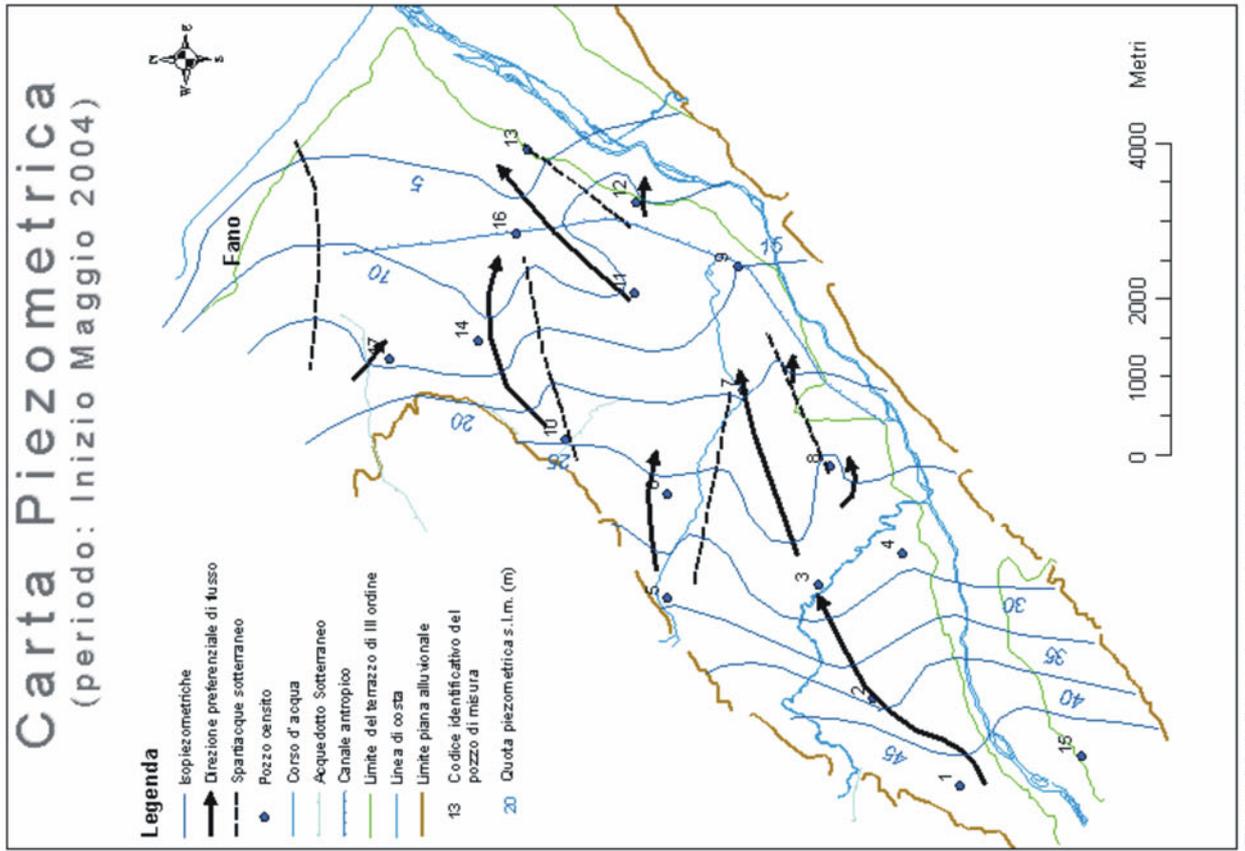


Figura 13-4 Carta piezometrica relativa al periodo: inizio Maggio dell'anno 2004

Figura 13-2 Carta dell'andamento del tetto del substrato inopercabile; vengono riportati anche i sondaggi dai quali sono state desunte le stratigrafie. All'andamento del substrato vengono sovrapposti gli andamenti di tutti i deflussi preferenziali della rete carte piezometriche presenti nella tesi

Al fine di effettuare una valutazione della ricarica dell' acquifero in questione, è stato calcolato il bilancio idrologico, considerando un area maggiore di quella del settore studiato, la quale è stata suddivisa utilizzando il metodo dei topoieti fino ad ottenere il reticolo di Thiessen, per una valutazione più completa del deflusso idrico globale. Per effettuare il calcolo, sono stati presi in considerazione dati pluvio – termometrici relativi al quarantennio 1950 -1989 di 7 stazioni che insistono sull'area considerata.

Per determinare il deflusso idrico (D), tramite l' espressione  $P = E_r + D$ , è stato calcolato inizialmente il parametro precipitazioni (P), utilizzando i dati delle stazioni pluvio-termometriche e successivamente l' evapotraspirazione ( $E_r$ ), utilizzando la formula empirica di Turc corretta per l'umidità. Il deflusso idrico globale per l' area considerata è risultato essere pari a  $12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ . I valori di deflusso maggiori si hanno nelle aree più interne (Fig. 13-3), mentre quelli minori si hanno in prossimità della costa.

Dalla ricostruzione delle carte piezometriche, che sono state confrontate anche con piezometrie storiche, risulta che in sinistra idrografica, il fiume alimenta la falda nel settore più a monte, mentre la falda alimenta il fiume nella restante area; in destra idrografica i rapporti falda fiume, risultano essere invertiti. (Fig 13-4). Un oscillazione piezometrica di 1-2 m, si evidenzia mettendo a confronto le piezometrie ricostruite per i mesi di Maggio e di Ottobre 2004. L'analisi delle direzioni di deflusso, mette in risalto come il drenaggio preferenziale della falda, sia localizzato essenzialmente nel paleoalveo principale, compreso nel terrazzo di III ordine (Fig. 13-2).

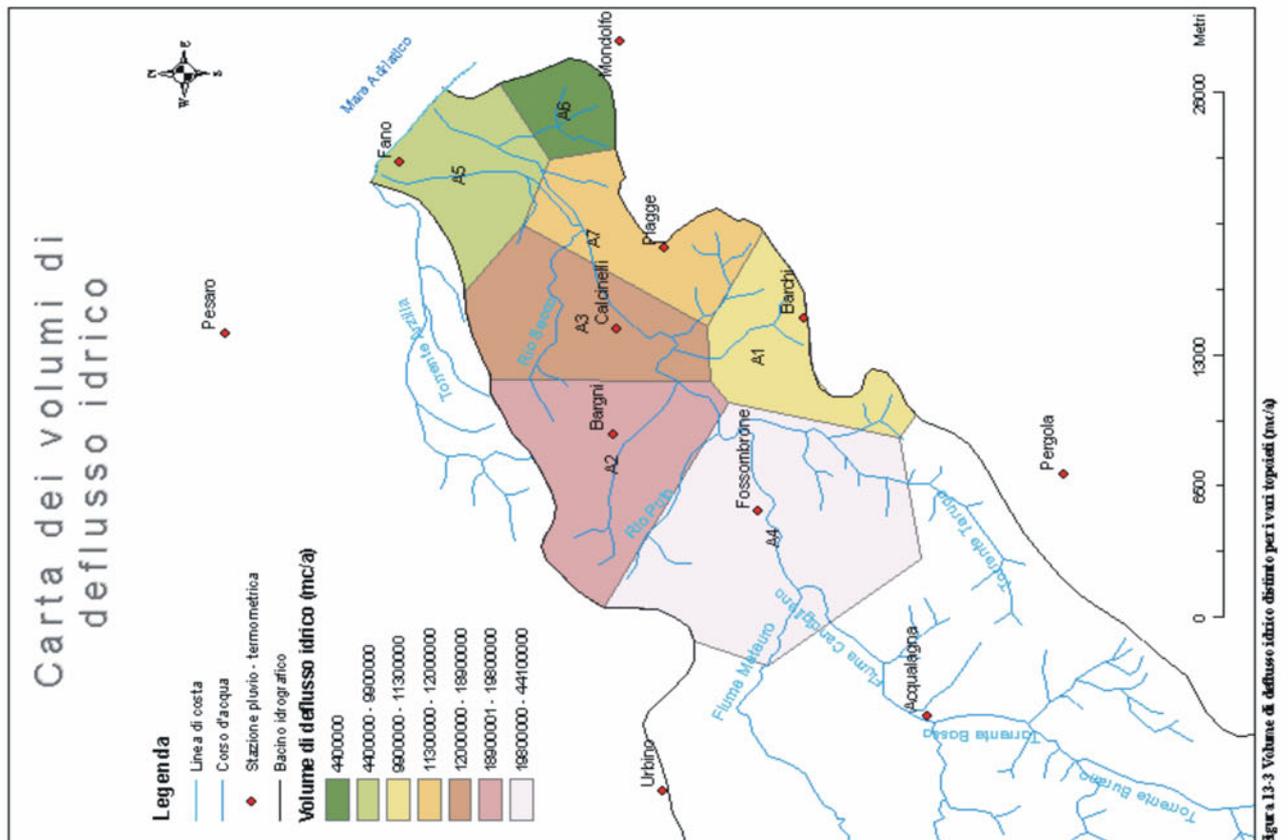
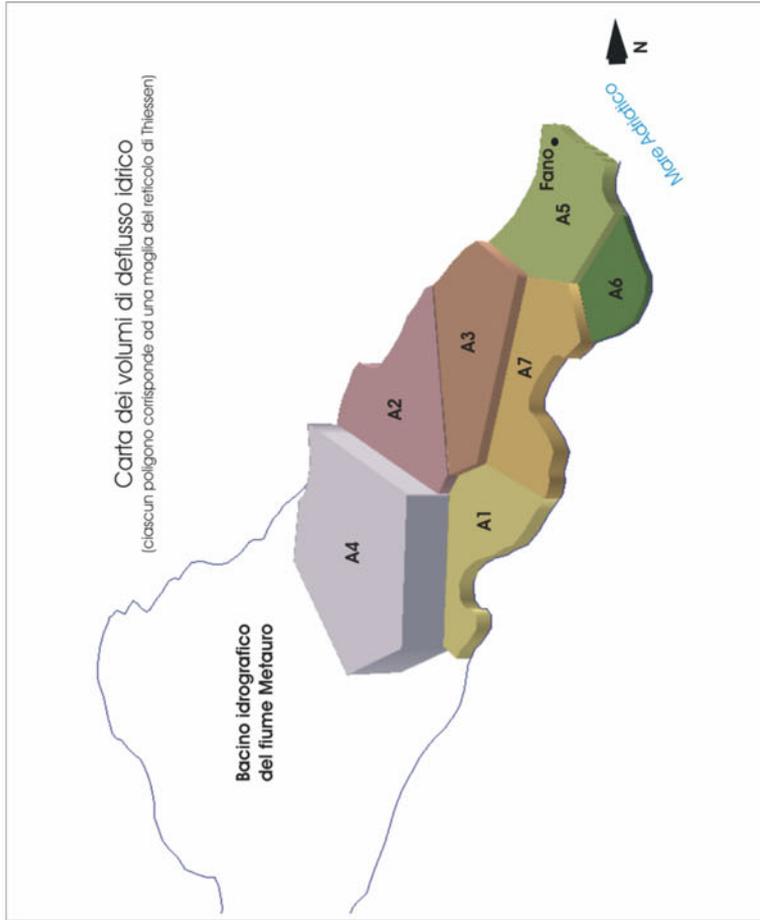
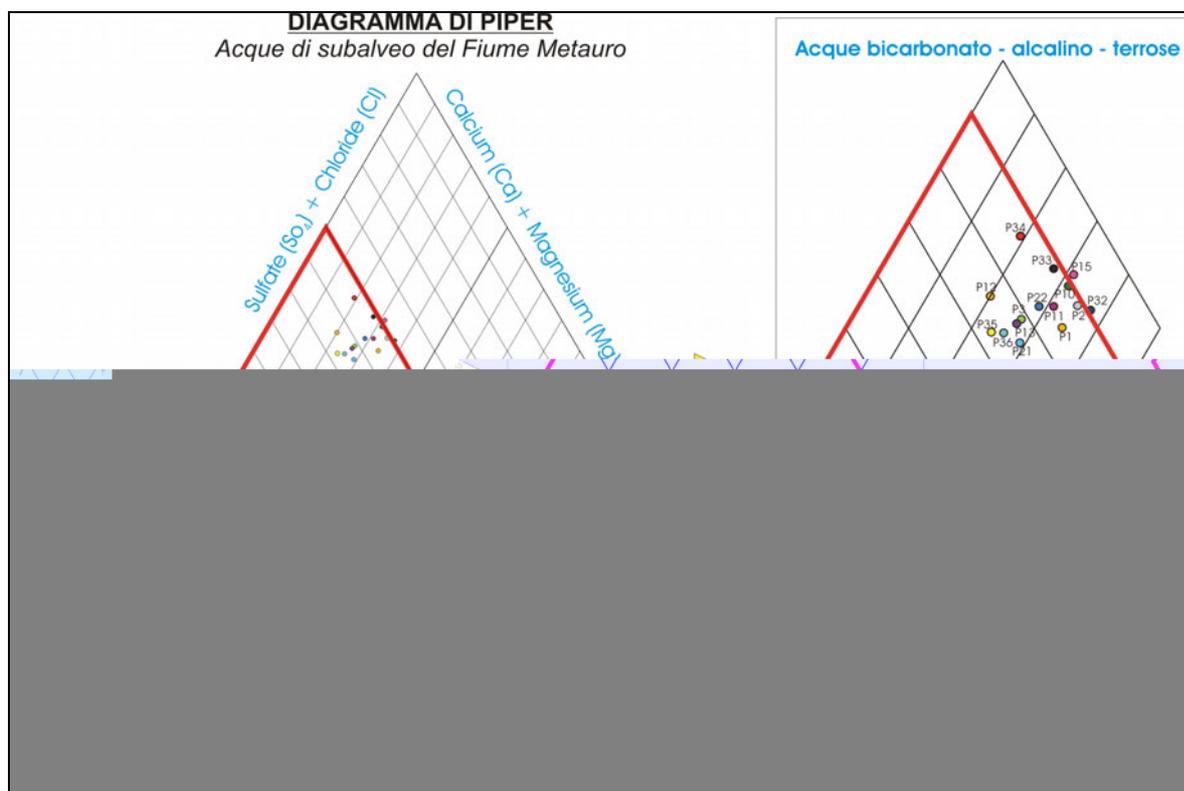


Figura 13-3 Volume di deflusso idrico distribuito per i vari topografi (mc/a)

Da un' analisi delle misure dei parametri chimico – fisici delle acque sotterranee effettuate, suscita particolare interesse l' andamento della conducibilità elettrica specifica, i cui valori crescono laddove si ha la vicinanza di rocce evaporitiche affioramenti, appartenenti alla Formazione gessoso - solfifera del Messiniano; la lisciviazione di queste, ad opera delle acque sotterranee, sarebbe infatti responsabile dell' arricchimento delle acque stesse in ioni  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{SO}_4$ . Tale fenomeno si verifica essenzialmente nei pressi del limite nord-occidentale, nella zona mediana, della pianura alluvionale e nel settore più interno di questa (Fig 13-5).

Da analisi chimiche delle acque, effettuate dalla A.S.L. di Fano, nel periodo compreso tra Aprile e Dicembre 2003, la facies idrochimica delle acque sotterranee della bassa valle alluvionale del fiume Metauro, contenute essenzialmente nei depositi del III ordine, risulta essere bicarbonato – alcalino – terrosa, in particolare bicarbonato – calcica, classificata sulla base del diagramma di Piper ( Fig. 13-6).



**Figura 13-6** Il diagramma di Piper mette in evidenza che le acque sotterranee dell' acquifero alluvionale del fiume Metauro risultano essere bicarbonato-alcalino-terrose, in particolare bicarbonato-calciche

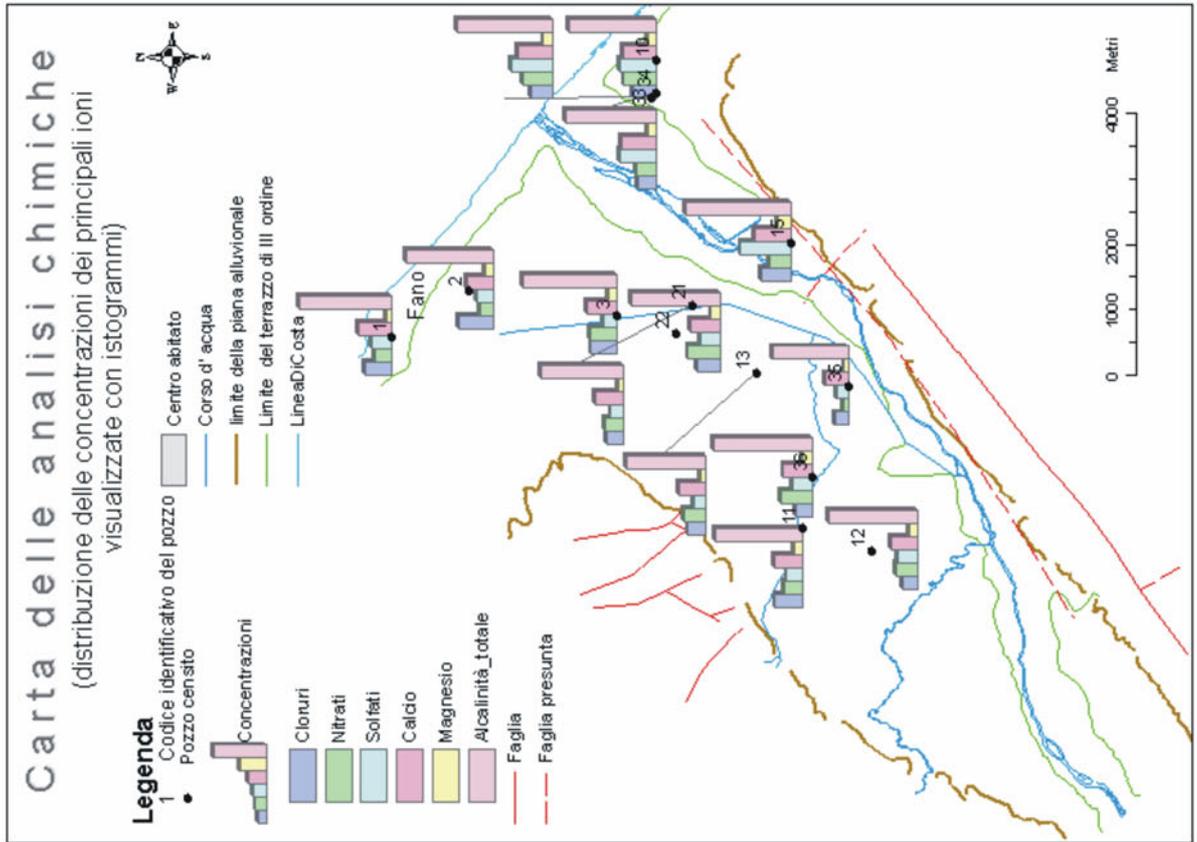


Figura 13-7 Carta di distribuzione delle concentrazioni dei principali ioni. In figura sono riportate anche le faglie approssimate ed andappenniniche che interessano l'area in esame

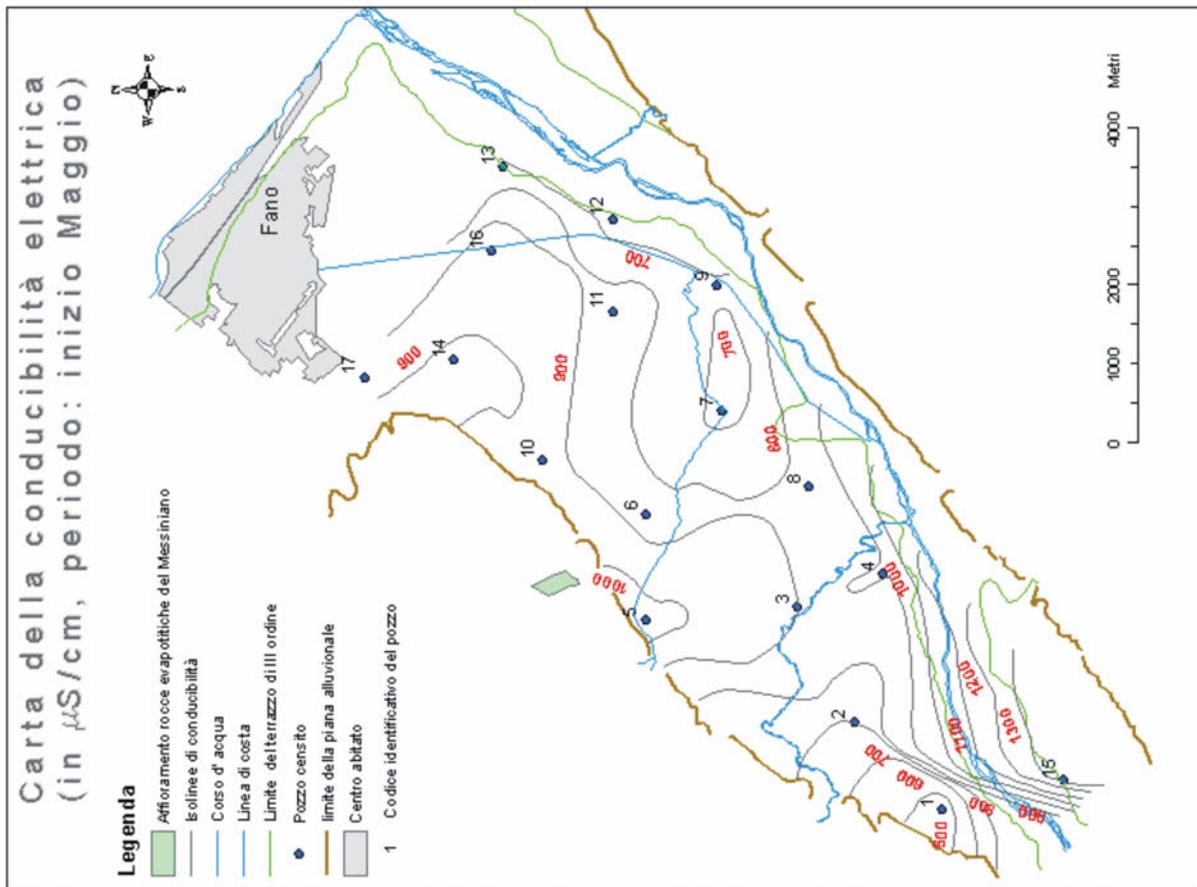
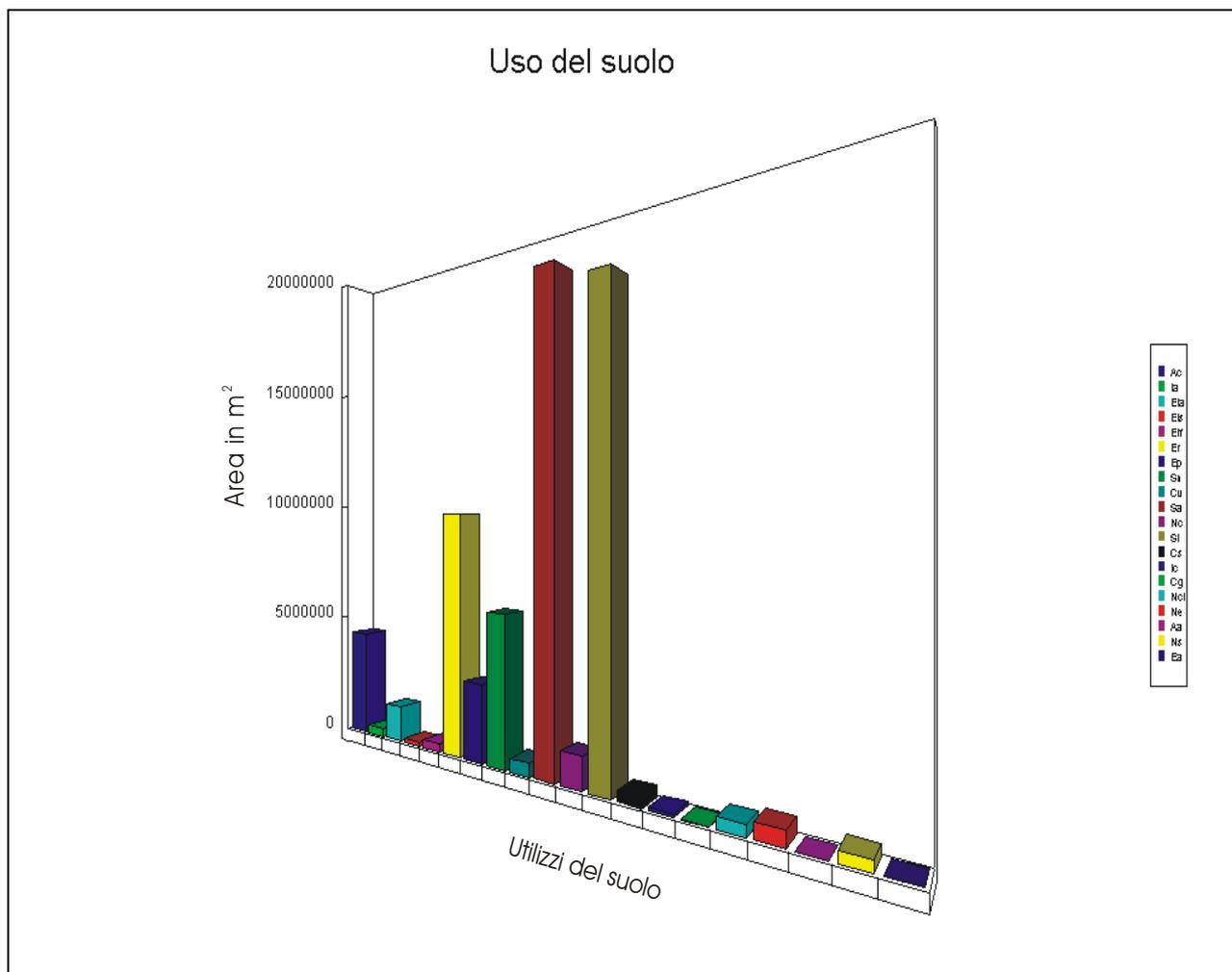


Figura 13-5 Andamento della Conducibilità nella bassa valle alluvionale del fiume Metauro periodo inizio Ottobre 2004. In figura è riportato anche l'abitato che appartiene alla Formazione Gessoso - solifera del Messiniano

Esaminando le distribuzioni delle concentrazioni, dei principali ioni disciolti nelle acque (Fig. 13-7), emerge che in prossimità della costa, l'aumento della concentrazione dei Cloruri e la diminuzione di quella dei Solfati, evidenziato in particolar modo, nei pressi della città di Fano, può essere riconducibile al fenomeno dell'intrusione marina, la quale provoca un aumento della concentrazione salina nelle acque sotterranee. Di particolare interesse, è anche il comportamento idrochimico evidenziato nel pozzo 15; in corrispondenza di questo si ha, infatti, alta Alcalinità, alta concentrazione di Cloruri ed in particolare un'elevata concentrazione di Solfati e di Magnesio. Questo comportamento potrebbe trovare spiegazione nella circolazione sotterranea delle acque. Dal confronto tra la carta delle analisi chimiche e l'assetto geologico, si evince che nelle vicinanze del pozzo in questione, si riscontra il sistema di faglie appenniniche ed antiappenniniche che interessa il substrato plio-pleistocenico. Le acque sotterranee, che lisciviano le rocce evaporitiche del Messiniano, le quali non affiorano in questo settore, potrebbero trovare proprio in corrispondenza di tali faglie, un canale preferenziale di risalita, fornendo apporti idrici laterali alla piana alluvionale in questione.

Per quanto riguarda la gestione del territorio, la maggior parte dell'area in esame, risulta essere adibita ad uso agricolo (Fig. 13-8).

Sigla	Legenda del diagramma "Uso del suolo" (Fig. 13-8)
<b>Aa</b>	Bacini artificiali
<b>Ac</b>	Corsi d' Acqua e canali
<b>Cg</b>	Frutteto
<b>Cs</b>	Serre e vivai
<b>Cv</b>	Vigneto
<b>Ea</b>	Attrezzature ricreative e turistiche
<b>Eia</b>	Strada asfaltata
<b>Eif</b>	Ferrovia
<b>Eis</b>	Autostrada
<b>Ep</b>	Edificato produttivo
<b>Er</b>	Edificato residenziale
<b>ia</b>	Incolto con alberi
<b>ic</b>	Incolto cespugliato
<b>Nc</b>	Aree estrattive
<b>Ncl</b>	Laghi di cava
<b>Ne</b>	Aree in erosione
<b>Ns</b>	Spiagge
<b>Sa</b>	Arborato
<b>Si</b>	Seminativo irriguo
<b>Sn</b>	Seminativo non irriguo



**Figura 13-8** Diagramma dei rapporti areali tra i vari utilizzi del suolo della bassa valle del fiume Metauro, ottenuto tramite l' utilizzo del GIS

Arete minori, sono occupate da edificati residenziali e produttivi. Questo tipo di gestione del territorio, con predominanza dell' uso agricolo, può spiegare il notevole inquinamento da nitrati riscontrato nelle acque sotterranee, poiché tali inquinanti inorganici, costituiscono i più diffusi fertilizzanti usati nel campo dell' agricoltura (Fig 13- 9). Nelle aree industriali principali, sono state censite alcune industrie presenti, in quanto rappresentano potenziali centri di pericolo per l' acquifero su cui insistono. Inoltre, numerose risultano essere le aree estrattive dislocate lungo l' asse del fiume Metauro (Fig. 13-9).

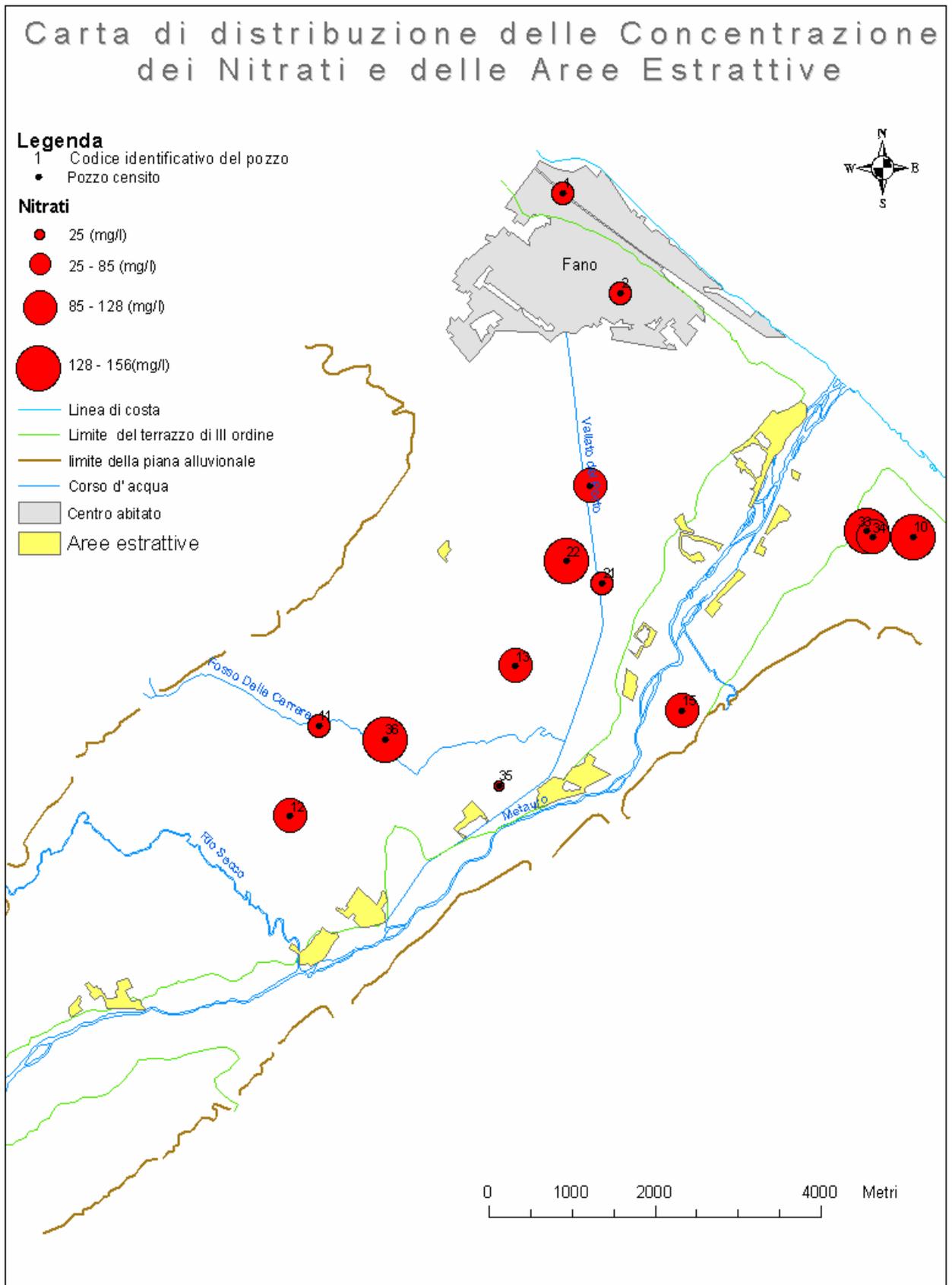


Figura 13-9 Carta di distribuzione delle concentrazioni dei Nitrati, nella quale vengono ubicate anche le aree estrattive che insistono sull'asse fluviale

Svariati sono gli utilizzi delle risorse idriche nel territorio. Di particolare interesse risulta essere un canale artificiale denominato Vallato del Porto (Fig 13-9), che traendo origine dal fiume principale, attraversa la piana alluvionale e l'abitato di Fano, prima di sfociare nel mar Adriatico costituendo il Porto Canale. In zona mediana della valle alluvionale, è stato realizzato un campo pozzi dal comune di Fano, che funge da zona di ricarica dell' acquifero; viene prelevata acqua dal fiume Metauro ed immessa nel sottosuolo tramite il campo pozzi. Lungo il corso del fiume, sono presenti alcuni sbarramenti utilizzati per la produzione di energia elettrica. Questi influenzano la portata del fiume, la quale oscilla tra 450 e 1100 l/sec come risulta da misure effettuate nell' agosto del 2003 e tra 800 e 1800 l/sec riscontrati nell' Agosto del 2004 (Tab. 13-1).

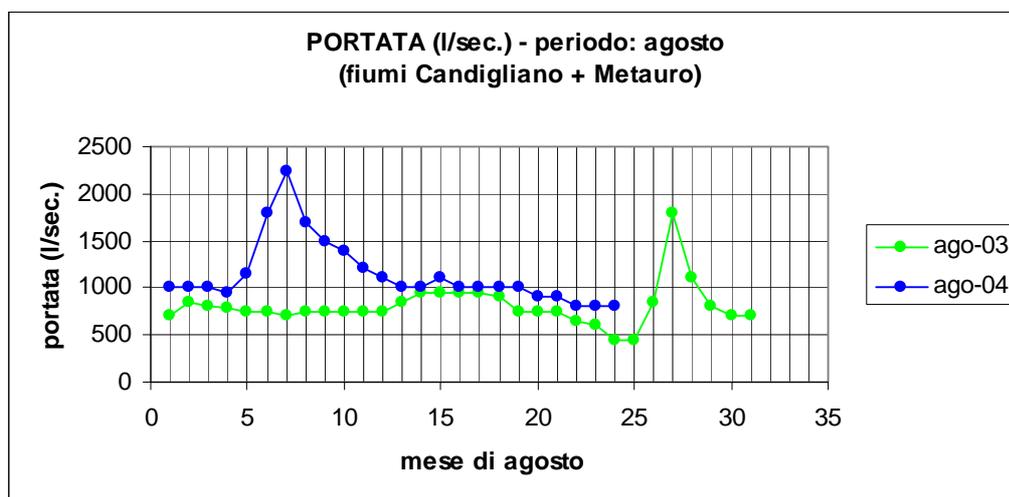


Tabella 13-1 Portate dei fiumi Candigliano + Metauro, riferiti al mese di agosto degli anni 2003 e 2004

I picchi anomali presenti (Tab. 13-1), sono dovuti proprio ai rilasci delle varie dighe che insistono sull' asse fluviale.

I dati elaborati fino qui, sono confluiti nella valutazione della vulnerabilità intrinseca della bassa valle alluvionale del fiume Metauro. La vulnerabilità è definita come la facilità o meno con cui le sostanze contaminanti si possono introdurre, propagare e possono persistere in un determinato acquifero (Celico, 1988). Per la determinazione della vulnerabilità, nella presente ricerca, è stato applicato il metodo DRASTIC, con una suddivisione in maglie quadrate di 1 km di lato. A seconda della disponibilità dei dati, alcuni quadrati sono stati suddivisi

ulteriormente in maglie di 500 m di lato. Tale metodo, permette di comparare la vulnerabilità tra aree diverse, ma non qualificarla in senso assoluto come bassa o alta. I più importanti fattori che controllano la vulnerabilità, secondo il metodo DRASTIC, sono riportati nella Tabella 13-2.

<b>D</b>	<i>Depth to Water</i>	<b>Soggiacenza</b>
<b>R</b>	<i>(Net) Recharge</i>	<b>Infiltrazione efficace</b>
<b>A</b>	<i>Aquifer Media</i>	<b>Acquifero</b>
<b>S</b>	<i>Soil Media</i>	<b>Suolo</b>
<b>T</b>	<i>Topography</i>	<b>Topografia</b>
<b>I</b>	<i>Impact of the Vadose Zone</i>	<b>Zona Non Saturata</b>
<b>C</b>	<i>Conductivity(Hydraulic) of the aquifer</i>	<b>Conducibilità Idraulica dell' acquifero</b>

**Tabella 13-2 Fattori del metodo DRASTIC**

Ciascun fattore viene suddiviso in campi, a ciascun campo è assegnato un punteggio desunto da tabelle. I punteggi assegnati vengono moltiplicati per due diverse linee di pesi, a seconda se si tratta di DRASTIC normale o agricolo. Infine il metodo permette di ricavare un Indice DRASTIC (ID) per ciascuna maglia tramite l' espressione:

$$ID = Dr * Dw + Rr * Rw + Ar * Aw + Sr * Sw + Tr * Tw + Ir * Iw + Cr * Cw$$

**Dove:** **r** = "punteggio" e **w** = "peso"

Assegnando punteggi a ciascun fattore, in funzione delle caratteristiche dell'acquifero, esaminate precedentemente e con l' ausilio delle metodologie GIS, è stata effettuata una zonizzazione in aree caratterizzate da diversa suscettibilità all'inquinamento della pianura alluvionale in studio, fino ad ottenere la carta della vulnerabilità intrinseca (Fig 13-10 e 13-11). Tale carta evidenzia in particolare, che la vulnerabilità si presenta moderata in quasi tutto il terrazzo di III ordine, predominante nell' area in esame, in sinistra idrografica, mentre si mostra alta fino a raggiungere i valori più elevati, nel settore più a monte e lungo il corso d' acqua del fiume Metauro.

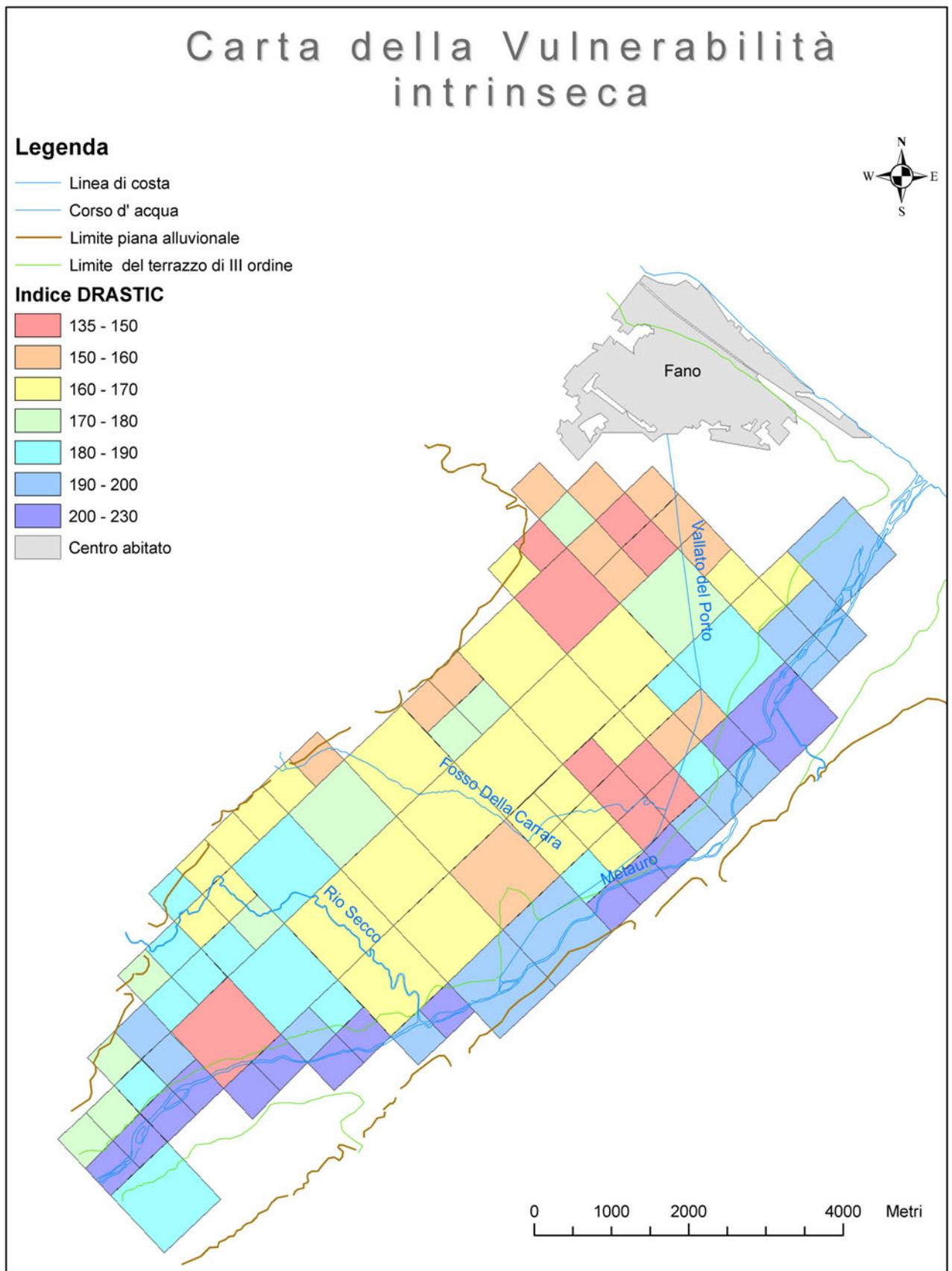


Figura 13-10 Carta della Vulnerabilità intrinseca della bassa valle alluvionale del fiume Metauro.  
Ogni maglia è caratterizzata da un indice DRASTIC



### 13.1.1 Limiti e vantaggi delle metodologie applicate

Nella presente tesi, il GIS è stato applicato alle problematiche legate alle risorse idriche sotterranee, poiché in grado di gestire un grosso volume di dati anche di tipo idrogeologico ed idrologico. Si è ottenuto così un modello di database idrogeologico, che ha permesso di valutare la vulnerabilità dell' acquifero esaminato all'inquinamento. Questo tipo di applicazione della tecnologia GIS, è di supporto ai modelli numerici di simulazione per lo studio dei flussi delle acque sotterranee e del trasporto dei contaminanti. Il modello di geodatabase, proposto nella presente ricerca, è stato strutturato in funzione dei dati idrologici ed idrogeologici a disposizione, al fine di poterli gestire, analizzare e visualizzare nella maniera più efficiente possibile per raggiungere gli obiettivi.

Il metodo DRASTIC ( *Aller et Alii, 1985-87*) utilizzato, risulta essere uno dei più completi tra i metodi noti in letteratura, poiché include il più elevato numero di parametri chiamati in gioco. Tale metodo ha inoltre la caratteristica, di fornire un risultato il più possibile oggettivo, anche se potrebbero risultare discutibili i criteri con cui sono stati assegnati i punteggi e pesi dei vari parametri. Pur essendo il metodo operativo apparentemente semplice da applicare, rimane l' evidente difficoltà di avere a disposizione per tutte le zone del territorio investigato, una così grande mole di informazioni specifiche.

### **13.2 Proposte di ricerche future**

Nel corso della presente ricerca, è stata riscontrata un' elevata salinità nelle acque sotterranee, per i motivi sopra esposti. Tale argomento, può essere oggetto di ricerche future particolari, al fine di mitigare il fenomeno. Per abbattere la salinità, si propone di eseguire un' alimentazione superficiale, utilizzando i colmi di piena del fiume Metauro, previamente sedimentati convogliandoli prima in bacini di decantazione.

La piattaforma GIS creata nella presente tesi, può essere costantemente aggiornata e migliorata, al fine di rappresentare un valido supporto alle pianificazioni territoriali dell' area esaminata. Inoltre può essere propedeutica a modelli matematici (tipo MODFLOW o FEFLOW), allo studio e all' analisi delle componenti socio – economiche territoriali. Infine, la stima della vulnerabilità per l'area esaminata, può essere ulteriormente migliorato, applicando altri metodi e confrontandoli tra di essi.

**BIBLIOGRAFIA**

AA. VV. (1991) – *L'ambiente fisico delle Marche: geologia, geomorfologia ed idrogeologia*. Ed Reg. Marche e S.E.L.C.A., pp. 255, Firenze.

ADORNI G., AURELI A -. *Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi del settore nord-orientale Ibleo (Sicilia sud-occidentale)* (Atti I° convegno nazionale sulla protezione delle acque sotterranee. Modena 20-22 Settembre 1990) Pag 3 - 21.

AMADESI E. (1975) – *Manuale di fotointerpretazione con elementi di fotogrammetria*. Ed. Pitagora, Bologna.

AMICI M., SPINA R. – *Campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche per il periodo 1950–1989*. Centro di Ecologia e Climatologia, Macerata.

ARU A., BARBIERI G., BARROCU G., CHIARINI E., PANI F., SANNA R.M., URAS G., VENIER A. *Applicazione di cartografia automatica per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi di Oristano* (Atti I° convegno nazionale sulla protezione delle acque sotterranee. Modena 20-22 Settembre 1990) Pag. 41 - 57.

BALLERINI P., CENSINI G., GABBANI G., GARGINI A., MORETTI S. & PETTINELLI E. (1994) – *La prospezione geofisica come supporto alla valutazione del grado di protezione degli acquiferi*. Geol. Rom., 30, pp. 197-206, Roma.

BALLERINI P. (1995) – *Applicazione della modellistica idrologico erosiva su suoli sviluppata su substrati plio-pleistocenici in ambiente mediterraneo*. Tesi di dottorato inedita, Firenze.

BARATELLI C., DE LUCA D.A., MASCIOTTO L., ZUPPI G.M. *Applicazione al settore settentrionale della pianura Cuneese del metodo DRASTIC per la valutazione quantitativa della vulnerabilità degli acquiferi* (Atti I° convegno nazionale sulla protezione delle acque sotterranee. Modena 20-22 Settembre 1990) Pag. 70 - 88.

BARELLI G., GELMINI R., MARINO L, PALTRINIERI N. *Modalità di costruzione delle carte di vulnerabilità e del rischio di inquinamento delle acque sotterranee nel comune di Modena (Scala 1:10.000)* (Atti I° convegno nazionale sulla protezione delle acque sotterranee. Modena 20-22 Settembre 1990) Pag. 99 - 129.

BERETTA G.P. & Fumagalli L. (1993) – *Caratterizzazione idrogeologica di un'area contaminata da Cr-6 per il risanamento del mezzo insaturo e saturo mediante la tecnica del dilavamento*. Geol. Appl. e Idrogeol., 28, pp. 79-87, Bari.

BIGI S., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALOU P., DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI B., INVERNIZZI C., MICARELLI A., NISIO S., PANBIANCHI G. & POTETTI M. (1995) – *La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese dal Pliocene medio ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. (1995/1), pp. 37-49, Camerino.

BIGI S., CALAMITA F., CELLO G., CENTAMORE E., DEIANA G., PALTRINIERI W. & RIDOLFI M. (1995) – *Evoluzione messiniano-pliocenica del sistema catena-avanfossa nell'area marchigiano-abruzzese esterna*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. (1995/1), pp. 29-35, Camerino.

BONOLI A., CIANCABILLA F., ELMI C. *L'attuale utilizzazione delle acque minerali di Porretta Terme e nuove proposte di captazione*

BOILA P. – *Studi geofisici nell'ambito della valutazione degli acquiferi*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 47, Ed. Pitagora, Bologna.

BOILA P., CASTIGLI V., GIAQUINTO S., MARCHETTI G., MARTINELLI A., MARTINI E. *Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della valle Umbra*.

BOILA P., CHECCUCCI R., DRAGONI W., GIAQUINTO S., MARCHETTI G., MARTINELLI A. & MARTINI E. – *Valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nella conca ternana*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 47, Ed. Pitagora, Bologna.

BOILA P., CHECCUCCI R., *Acque sotterranee: disciplina dei prelievi e zonazione idrogeologica territoriale*

BRUNO R., LAVAGNONI M., PATRIZI G., RASPA G., VENTURINI L. *Analisi geostatistica per la ricostruzione strutturale delle aree di cava*

BORALDI V., MARINO L., PALTRINIERI N., TACCONI E. & ZAVATTI A. (1992) – *Nitrati*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 37, Ed. Pitagora, Bologna.

CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & MICARELLI A. – *Evoluzione tettonico sedimentaria dell'area umbro-marchigiana dal Trias al Pleistocene*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. "La geologia delle Marche", pp. 89-90, Camerino.

CALAMITA F. & PIZZI A. (1992) – *Tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. (1992/1), pp. 17-25, Camerino.

CAPRARI M., NANNI T. & VIVALDA P. (1993) – *Idrogeologia dell'area tra i fiumi Cesano e Potenza (Marche)*. Geol. Appl. e Idrogeol., 28, pp. 211-222, Bari.

CASTIGLIONI G.B. (1986) – *Geomorfologia*. 436 pp. Ed. UTET.

CATTINI Z., CHIARI R., PECORARI M. & PELOSIO A. – *La carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 56, Ed. Pitagora, Bologna.

CAVALLIN A., CICIONI G. & GIULIANO G. (1994) – *Pressioni antropiche e carichi inquinanti potenziali sulle acque sotterranee nelle aree di pianura*. Quad. di Geol. Appl., 2, Ed. Pitagora, Bologna.

CELICO F., ESPOSITO L. & PISCOPO V. (1997) – *Limiti di applicabilità delle carte della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nella previsione dello stato di contaminazione antropica delle acque sotterranee*. Geol. Rom., 33, pp. 65-72, Roma.

CELICO P. (1988) – *Prospezioni idrogeologiche*. Ed. Liguori, vol. 1 e 2, Napoli.

CENTRO DI ECOLOGIA E CLIMATOLOGIA – *Annali idrologici relativi al periodo 1950-1989 delle stazioni interne al bacino idrografico del Fiume Esino*. Macerata.

CHECCUCCI R., MARCHETTI G., PERUZZI L. – *Relazioni tra vulnerabilità degli acquiferi, idrodinamica sotterranea e potenzialità delle falde*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, Ed. Pitagora, Bologna.

CIANCETTI G., TAZIOLI G.S., CANTORI P., BUCCI D., BENETTI E., PENNACCHIONI E. & SORDONI A. G. (1994) – *Su di un importante inquinamento da Cr-6 di falde acquifere dei depositi alluvionali terrazzati delle Marche*. Geol. Rom., 30, pp. 283-294, Roma.

CIVITA M. (1994) – *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 31, Ed. Pitagora, Bologna.

CIVITA M. *La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento* (Atti I° convegno nazionale sulla protezione delle acque sotterranee. Modena 20-22 Settembre 1990)

CIVITA M., DE REGIBUS C. , MARINI P. *Metodologie di comparazione e comparazione di metodologie per la valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento* (I° convegno naz. dei giovani Ricercatori in Geologia Applicata).

- CREMA G. (1996) – *Risanamento dei suoli e degli acquiferi alluvionali*. 100 pp. Ed. Pitagora, Bologna
- CREMA G., MILLI M., NAPOLEONE G. & TIBERI P. (1998) – *Vertical vulnerability evaluation of middle-low Esino River valley alluvial aquifer (Marche, Italy)*. *Environmental Geology*, 34 (2/3), pp. 88-94.
- CRESCENTI U., D'AMATO C., BALDUZZI A. & TONNA M. (1980) – *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo abruzzese-marchigiano tra Ascoli Piceno e Pescara*. *Geol. Rom.*, 19, pp. 63-84, Roma.
- CRESTAZ (2003) *Groundwater Geographical Information Systems – Investigation of a Coupled Data Management and Numerical Flow Modelling Strategy for ArcGIS 8.3 Proceedings of the International Conference on Finite Element Models, MODFLOW, and More: Solving Groundwater Problems*, 13-16 September 2004, Karlovy Vary, Czech Republic.
- DE LUCA D.A., CORDERO HIDALGO S., VERGA G. *Metodologie per la valutazione quantitativa della vulnerabilità degli acquiferi* (I° convegno naz. dei giovani Ricercatori in Geologia Applicata).
- DESIDERIO G., NANNI T. & RUSI S. (2001) – *La pianura alluvionale del Fiume Pescara (Abruzzo): idrogeologia e vulnerabilità dell'acquifero*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 56, pp. 197-211, Roma.
- DIERSCH H.-J.G. (2004) *FEFLOW 5.1 – Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System*. WASY Ltd., Berlin, Germany.
- DRAMIS F. & BISCI C. (1986) – *Aspetti geomorfologici del territorio marchigiano*. *Studi Geol. Camerti*, vol spec. “La geologia delle Marche”, pp. 99-103, Camerino.
- ELMI C., NESCI O., S'AVELLI D., & MALTARELLO G. (1987) – *Depositi alluvionali terrazzati del margine adriatico appenninico centro-settentrionale: processi geomorfologici e neotettonica*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 106, pp. 717-721, Roma.
- ESRI Software (2004)
- FRANCANI V., BERETTA G.P. *Considerazioni idrogeologiche sulla delimitazione delle fasce di rispetto dei pozzi per acqua potabile in aree soggette a inquinamento* (Ingegneria Ambientale 1984).
- FRANCANI V., BERETTA G.P. *Protezione e recupero delle acque sotterranee e dei terreni inquinati* Convegno geofluid 3 ottobre 1996 *Acque sotterranee quaderno n°4*

GARZONIO C.A., NANNI T. & VIVALDA P. (1990) – *Le pianure alluvionali dei Fiumi Esino, Musone e Potenza: idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi*. Atti 1° Conv. Naz. prot. e gest. acque sott., 1, 20-22 settembre, Modena.

GIAQUINTO S., MARCHETTI G., MARTINELLI A., PERUZZI L. *Applicazioni del metodo DRASTIC per la valutazione della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale freatico della Valle Umbra Sud*.

GIULIANO G., MARCHETTI G. & PERUZZI L. (1993) – *Classificazione e mappatura della qualità delle acque sotterranee in pianure alluvionali intra-appenniniche*. Atti 2° Conv. Geodr., Firenze.

GOGU R.C., CARABIN G., HALLET V., PETERS V. & DASSARGUES A. (2001) *GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling*. Hydrogeology Journal 9/2001, pp. 555-569.

McDONALD M.G. & HARBAUGH A.W. (1984) *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey, Open File Report 83-875, 528 p.

McDONALD M.G., HARBAUGH A.W., BANTA E.R. & HILL M.C. (2000) *MODFLOW 2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey, Open File-Report 00-92, 121 p.

MEIDMENT D.R. (2002) *ArcHydro: GIS for Water Resources*. ESRI Press, Redlands, CA, USA.

MINISTERO AGRICOLTURA E FORESTE (1985) – *Valutazione delle risorse idriche disponibili. Programma nazionale di coordinamento per l'approvvigionamento idrico dei territori di collina e montagna*. Aquater S.p.A.

NANNI T. (1985) – *Le falde di subalveo delle Marche: inquadramento idrogeologico, qualità delle acque ed elementi di neotettonica*. Ed Regione Marche, 2, pp. 112, 15 tav., Ancona.

NANNI T., PENNACCHIONI E. & RAINONE M.L. (1986) – *Il bacino pleistocenico marchigiano*. Atti Conv. Gruppo Naz. Sed., pp. 13-43, 5-7 giugno, Ancona.

NANNI T., RAINONE M.L. & PENNACCHIONI E. (1986) – *Guida all'escursione sul bacino pleistocenico marchigiano*. Atti Conv. Gruppo Naz. Sed., pp. 45-79, 5-7 giugno, Ancona.

NANNI T. & VIVALDA P. (1986) – *Inquadramento idrogeologico ed influenza della tettonica sugli acquiferi di subalveo delle pianure marchigiane*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. “La geologia delle Marche”, pp. 105-133, Camerino.

NANNI T. & ZUPPI G.M. (1986) – *Acque salate e circolazione profonda in relazione all’assetto strutturale del fronte adriatico e padano dell’Appennino*. Mem. Soc. Geol. It., 35, pp. 979-986, Roma.

NANNI T. & VIVALDA P. (1987) – *Influenza della tettonica trasversale sulla morfogenesi delle pianure alluvionali marchigiane*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., pp. 180-192, Torino.

NANNI T. & VIVALDA P. (1999) – *Le acque salate dell’Avanfossa marchigiana: origine, chimismo e caratteri strutturali delle zone di emergenza*. Boll. Soc. Geol. It., 118, pp. 191-215, Roma.

NANNI T. & VIVALDA P. (1999) – *Le acque solfuree della regione marchigiana*. Boll. Soc. Geol. It., 118, pp. 585-599, Roma.

NESCI O., SAVELLI D., MENGARELLI D. *I terrazzi vallivi del I° ordine nei bacini dei fiumi Metauro e Foglia (Appennino Marchigiano)* (Geografia fisica Dinamica Quaternaria).

PALTRINIERI N. (1993) – *Metodologia per la valutazione della vulnerabilità e del rischio di inquinamento delle acque sotterranee nel comune di Modena*. Atti 2° Conv. Geoidr., Firenze.

PANIZZA M. (1973) – *Geomorfologia*. 396 pp. Ed. Pitagora, Bologna.

Provincia di Milano Tecnica Progetti Speciali *Nitrati in falda*.

SAMMARCO O. *Criteri di scelta e fattori determinanti per la realizzazione dell’acquedotto di Kinusi, regione di Dodoma, Tanzania*. Problemi di geingegneria: Ingegneria degli acquiferi Piacenza 8 ottobre 1994.

STRASSBERG G. & MEIDMENT D.R. (2004) *Arc Hydro Groundwater Data Model*. Kenneth J. Lanfear and David R. Maidment (Editors), 2004. AWRA’s 2004 Spring Specialty Conference “Geographic Information Systems (GIS) and Water Resources III.

## WEB LINKS

*[www.cmns.mnegri.it/ambiente/valdisangrohtml](http://www.cmns.mnegri.it/ambiente/valdisangrohtml)*

*[www.cmns.mnegri.it/ambiente/bassapiana.html](http://www.cmns.mnegri.it/ambiente/bassapiana.html)*

*[www.cmns.mnegri.it/ambiente/falda.html](http://www.cmns.mnegri.it/ambiente/falda.html)*

*[www.provincia.milano.it/progettispeciali/nitrati.htm](http://www.provincia.milano.it/progettispeciali/nitrati.htm)*

*[www.esriitalia.it/gis](http://www.esriitalia.it/gis)*