

L'APPLICAZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO ALLA COSTRUZIONE DI UN DATA-BASE GEOLOGICO-STRUTTURALE (***)

RIASSUNTO

Nel compilare una carta geologico-strutturale si dovrebbe tener conto di un gran numero di dati, ricavati ad esempio da rilievi di superficie (carte e profili), da perforazioni, da prospezioni geofisiche, ecc... Purtroppo è assai difficile integrare in una singola rappresentazione cartografica un simile complesso di dati, che sono in genere disponibili in forme ed a scale anche molto diverse. Inoltre, la completezza dell'informazione comporta l'adozione di simbologie complesse, a scapito della leggibilità della carta.

Per superare almeno in parte queste difficoltà, si propone di utilizzare un Sistema Informativo Geografico di tipo vettoriale (ARC/INFO) per costruire un *data-base* geologico-strutturale, che consenta l'archiviazione e il trattamento dei dati disponibili, e la loro restituzione cartografica, nella forma e nella scala più opportuna, in relazione al problema geologico da affrontare.

Il metodo è stato sperimentato costruendo un *data-base* geologico-strutturale per un'area-campione, localizzata nel settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano. Benché il lavoro sia ancora in una fase preliminare, i risultati ottenuti e i prodotti cartografici qui presentati illustrano a nostro avviso efficacemente i vantaggi della metodologia proposta.

ABSTRACT

A complete and correct structural geology map should take into account all sources, such as geological maps and profiles, bore-hole data, gravimetric and seismic surveys, etc. These data are usually available from numerous sources in different forms and scales, making difficult their integration into a single map.

The purpose of our project is to use a vector-based Geographical Information System (GIS) to store and manage structural data. The two main advantages of this technique are: the easiness with which data can be inserted, manipulated, and retrieved to prepare hard and soft outputs at any convenient scale; and the possibility of preparing derivative and thematic maps, selecting information pertaining to the specific problem at hand.

Here we present some maps and diagrams showing different possible applications of this methodology, for a sample-area located in the southern sector of the Umbria-Marche Apennines.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Perugia

(**) C.N.R. - I.R.P.I. - Perugia

(***) Lavoro eseguito con il contributo finanziario del CNR - I.R.P.I. Perugia, e del M.U.R.S.T. fondi 40% e 60%, resp. G. Piali.

PAROLE CHIAVE: Sistemi informativi geografici, Geologia strutturale, Cartografia computerizzata.

KEY WORDS: Geographical Information System, Structural geology, Automatic cartography.

1. INTRODUZIONE

Il nostro progetto nasce dall'esigenza di costruire una carta geologico-strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano, che sintetizzi i dati disponibili e rappresenti lo "stato dell'arte" delle conoscenze in materia. Sui diversi aspetti della geologia di questa regione è disponibile una ingente quantità di dati, riportati nella letteratura specialistica; sono state anche prodotte numerose carte geologiche e schemi-strutturali, alle scale più diverse. L'abbondanza delle informazioni, la diversità delle scale di lavoro, l'eterogeneità dei criteri di raccolta e di presentazione dei dati rendono particolarmente problematica la produzione di una carta di sintesi, che voglia essere al tempo stesso per quanto possibile completa e leggibile.

Per superare almeno in parte queste difficoltà, siamo partiti dalla considerazione che i dati da trattare per la costruzione di una carta geologico-strutturale sono geo-referenziati, in quanto ogni dato contiene una duplice informazione: spaziale o di localizzazione e tipologica o di categoria. Questo tipo di informazioni possono essere convenientemente trattate sfruttando le caratteristiche e le potenzialità dei Sistemi Informativi Geografici (BURROUGH, 1986; ARONOFF, 1989), che consentono di immagazzinare le informazioni disponibili in un *data-base*, da cui sia possibile estrarre, di volta in volta, i dati utili alla definizione di un particolare problema, e ottenere restituzioni grafiche efficaci, impiegando le tecniche della cartografia digitale.

2. STRUTTURA DEL DATA-BASE

Considerando il carattere dimensionale, gli elementi geo-referenziati da immagazzinare nel *data-base* possono essere suddivisi in puntuali, lineari o areali. Ad esempio, la posizione di affioramenti e giaciture, di stazioni di misura per l'analisi strutturale, come pure gli estremi di sezioni geologiche o geofisiche, rappresentano elementi puntuali; elementi lineari di particolare importanza sono costituiti dalle tracce delle principali superfici strutturali (faglie, piani assiali di pieghe maggiori, ecc.); infine, esempi di elementi

areali, o poligoni, sono costituiti dalle superfici di affioramento di unità litologiche, formazionali o strutturali. Un Sistema Informativo Geografico, dotato di sufficienti capacità topologiche, può trattare tutti questi oggetti numericamente, eseguendo su di essi tutte le operazioni spaziali più utili, come le intersezioni fra linee e poligoni, la misura delle lunghezze e delle aree, ecc... Nella nostra sperimentazione abbiamo scelto di utilizzare ARC/INFO, un pacchetto commerciale per il quale esiste un'esperienza relativamente vasta di impiego in diversi settori delle Scienze della Terra (WADGE & PEARSON, 1991).

Per la fase sperimentale del lavoro abbiamo individuato un'area-campione, di circa 3000 kmq, che ricade interamente nei Fogli n. 131 (Foligno) e n. 132 (Norcia) della Carta Geologica d'Italia. Per l'acquisizione dei dati, oltre ai fogli della cartografia ufficiale, sono state utilizzate numerose carte a diverse scale, pubblicate (PIALLI, 1969; CHIOCCHINI *et al.*, 1976; DEIANA & PIERUCCINI, 1976; CALAMITA *et al.*, 1981; 1990; DECANDIA, 1982; KOOPMAN, 1983; LAVECCHIA, 1985) o ricavate da Tesi di Laurea, inedite, svolte presso l'Università degli Studi di Perugia.

Il *data-base* è strutturato in strati (*layers*), ciascuno equivalente ad una carta tematica digitale, dedicata ad un singolo tipo di oggetto geologico. Gli strati finora introdotti nel *data-base* sono i seguenti:

- toponimi e punti quotati: città, villaggi e cime di montagne;
- elementi strutturali lineari: faglie e assi di pieghe;
- elementi areali: limiti formazionali di alcune unità litologiche o formazionali, particolarmente significative da un punto di vista strutturale.

Per ciascuno degli elementi lineari, nel *data-base* sono contenuti una serie di 8 codici, che assegnano all'elemento un nome locale ed uno regionale, e consentono di definirne univocamente il tipo (faglie dirette, trascorrenti, inverse, anticlinali, sinclinali), il grado di certezza (struttura affiorante, sepolta, erosa, ipotetica), il regime deformativo (compressione, estensione, inversione), la vergenza, la fase tettonica, l'intervallo temporale di attività e l'eventuale sismicità associata. La lunghezza di ciascun elemento viene automaticamente misurata dal sistema. Codici analoghi sono riferiti anche agli elementi areali, per i quali il sistema calcola automaticamente l'estensione.

Nel *data-base* sono stati inoltre inseriti:

- uno strato "bibliografico", che consente di risalire alle fonti di informazione utilizzate per la compilazione del *data-base*: in esso sono delimitate le aree coperte dalle diverse carte originali utilizzate;
- una carta della elevazione del tetto della Maiolica, contenente le quote sul livello del mare, misurate per punti discreti, di un livello di riferimento (*marker*), definito in modo semplice ed affidabile in tutta la cartografia utilizzata. Da questi dati è stata ricavata una carta delle isobate del *marker* considerato, usando tecniche di *gridding* e *contouring* (BARCHI *et al.*, 1991).

Il *data-base* costruito finora non può certo definirsi completo: d'altra parte la struttura adottata con-

sente di aggiornare ed integrare nel modo più semplice il *data-base*. Il programma futuro di lavoro prevede, oltre al completamento degli strati geolitoologici, l'introduzione di molti nuovi strati, alcuni dei quali già in fase di preparazione:

- un modello digitale del terreno, utilizzabile sia come base topografica che per l'analisi qualitativa e quantitativa delle caratteristiche morfologiche dell'area;
- la localizzazione degli eventi sismici, ricavata dal Catalogo C.N.R. dei terremoti italiani;
- dati di sottosuolo, geofisici (sismica, gravimetria), e geologici (perforazioni profonde);
- dati derivati dall'analisi mesostrutturale (*clivaggi*, *joints*, assi di mesopieghie, ecc.): a tale riguardo stiamo anche mettendo a punto l'interfaccia fra il *data-base* e un programma di elaborazione grafica e statistica di dati giaciturali;
- dati geomorfologici significativi, come terrazzi, *debris-flows*, movimenti franosi, ecc....

3. CARTE STRUTTURALI TEMATICHE

Per illustrare i vantaggi della metodologia qui proposta, presentiamo alcune carte tematiche, derivate dal nostro *data-base*, finalizzate all'illustrazione di alcuni aspetti dell'assetto tettonico dell'area-campione considerata.

La carta di Fig. 1 è uno schema tettonico dell'area, in cui sono rappresentate le faglie principali e le tracce dei piani assiali delle pieghe maggiori. La disposizione nello spazio dei diversi elementi strutturali, e le loro reciproche relazioni temporali definiscono la storia deformativa della regione. Durante la fase compressiva, la copertura sedimentaria è stata deformata prima per pieghe, con direzione assiale $N170\pm 10^\circ$, e successivamente interessata da sovrascorrimenti, circa paralleli alle pieghe, e da faglie transpressive e trascorrenti, con direzioni $N20\pm 10^\circ$. Durante la fase distensiva, il complesso di queste strutture è stato dislocato da sistemi di faglie dirette, prevalentemente orientate in direzione appenninica (NW-SE).

Le carte tematiche di Fig. 2 e 3 sono dedicate alle due fasi deformative principali, che hanno interessato questa regione. La Fig. 2 illustra la fase compressiva (Miocene sup.-Pliocene inf.), responsabile della formazione dell'edificio a pieghe e sovrascorrimenti; questa carta evidenzia come la direzione media dei principali fronti compressivi e transpressivi, disposti NNE-SSW, sia obliqua rispetto alle direzioni assiali delle anticlinali maggiori, con cui forma un angolo di circa 30° . La mancanza di una univoca corrispondenza geometrica fra pieghe e sovrascorrimenti presuppone una genesi indipendente, possibilmente su livelli di scollamento diversi (BARCHI, questo volume). L'affioramento sistematico delle formazioni della Scaglia Variegata e Cinerea al di sotto dei sovrascorrimenti conferma che queste unità lito-stratigrafiche, incompetenti, costituiscono il livello di scollamento superiore della sequenza carbonatica, coinvolta nella deformazione.

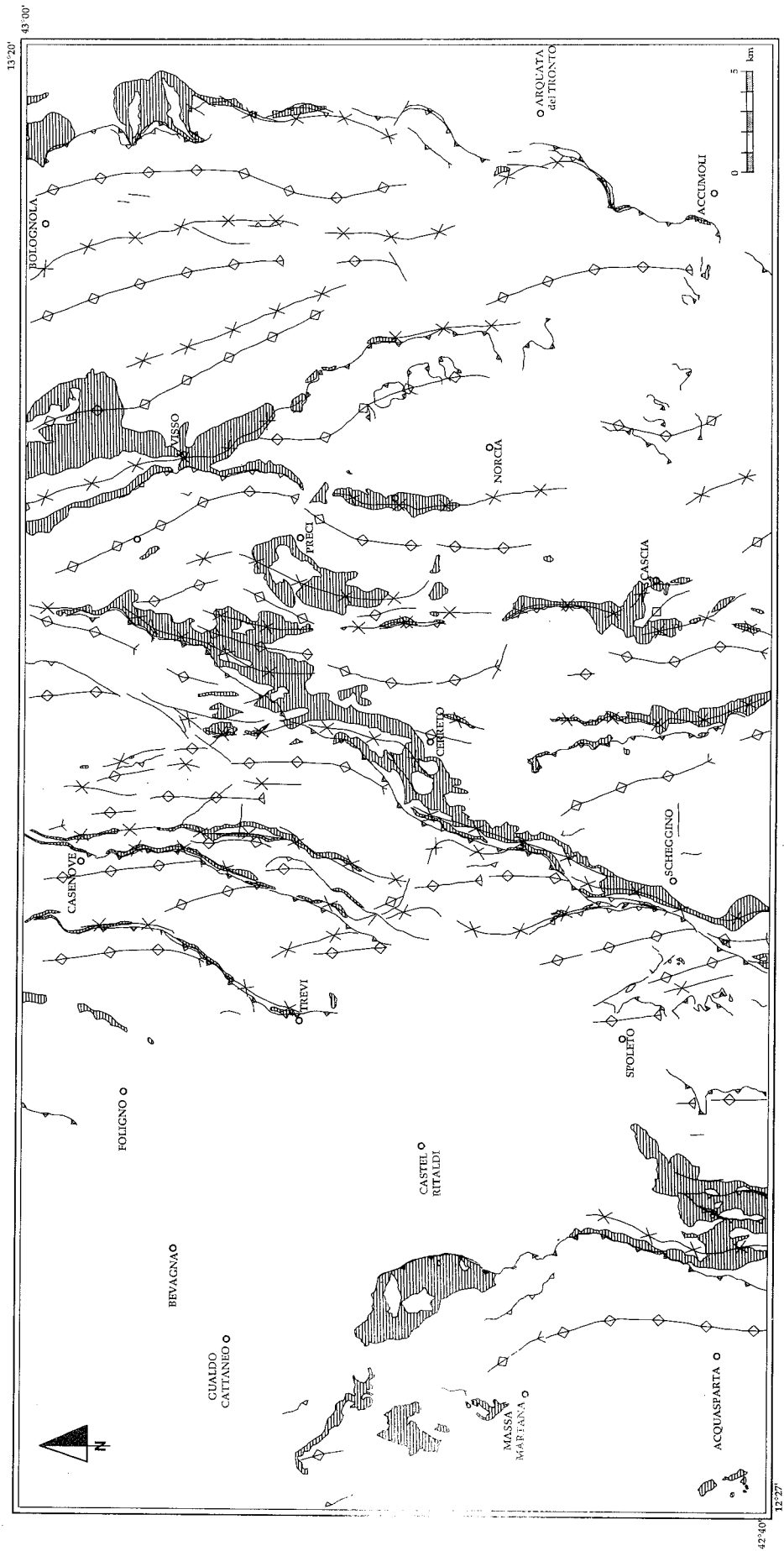


Fig.2 - Schema tettonico della fase compressiva (Pliocene inf.- Miocene sup.).
 1- Scaglia Cinerea e Variegata (Oligocene-Eocene); 2- Sovrascorrimenti principali; 3- Sovrascorrimenti minori e faglie inverse;
 4- Anticlinali; 5- Sinclinali.

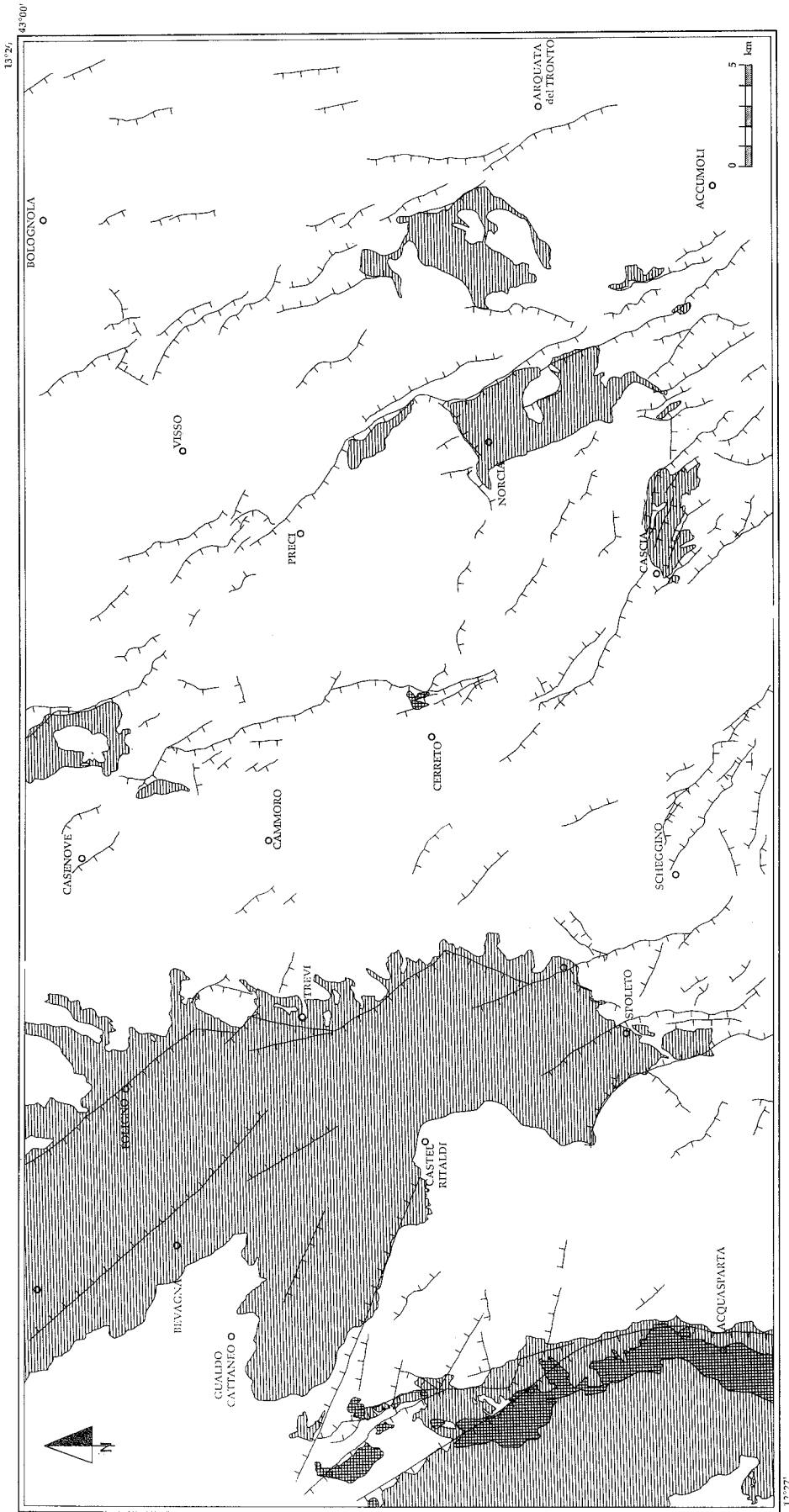


Fig.3 - Schema tettonico della fase distensiva (Attuale-Pliocene sup.).
 1- Travertini (Attuale-Pleistocene); 2- Depositi continentali (Attuale-Pliocene sup.) 3- Faglie dirette.

La Fig. 3 si riferisce alla fase distensiva, che inizia nel Pliocene sup. ed è tuttora attiva: in questa fase si sovrappongono gli effetti del sollevamento della parte assiale della penisola e della estensione collegata all'apertura del bacino tirrenico. Le strette relazioni spaziali fra le faglie dirette pliocenico-quadernarie e i bacini continentali appaiono evidenti. Le singole faglie non hanno continuità longitudinale elevata (qualche km), ma risultano disposte lungo cinque allineamenti principali, probabilmente in corrispondenza di altrettante discontinuità profonde, a carattere regionale.

Il confronto fra le Figg. 2 e 3 evidenzia la dire-

zione sostanzialmente diversa esistente fra il *pattern* superficiale delle faglie dirette e quello dei sovrascorimenti: questa marcata obliquità contrasta con l'ipotesi, avanzata ad esempio da COOPER & BURBI (1986), che le faglie dirette siano formate con meccanismi di inversione del movimento lungo i preesistenti piani di sovrascorrimento, utilizzando i medesimi livelli di scollamento, piuttosto superficiali.

La Fig. 4, infine, rappresenta la ricostruzione di un orizzonte stratigrafico deformato, cioè piegato e fagliato. In particolare, si tratta della ricostruzione dell'andamento del tetto della Maiolica (Cretaceo inf.)

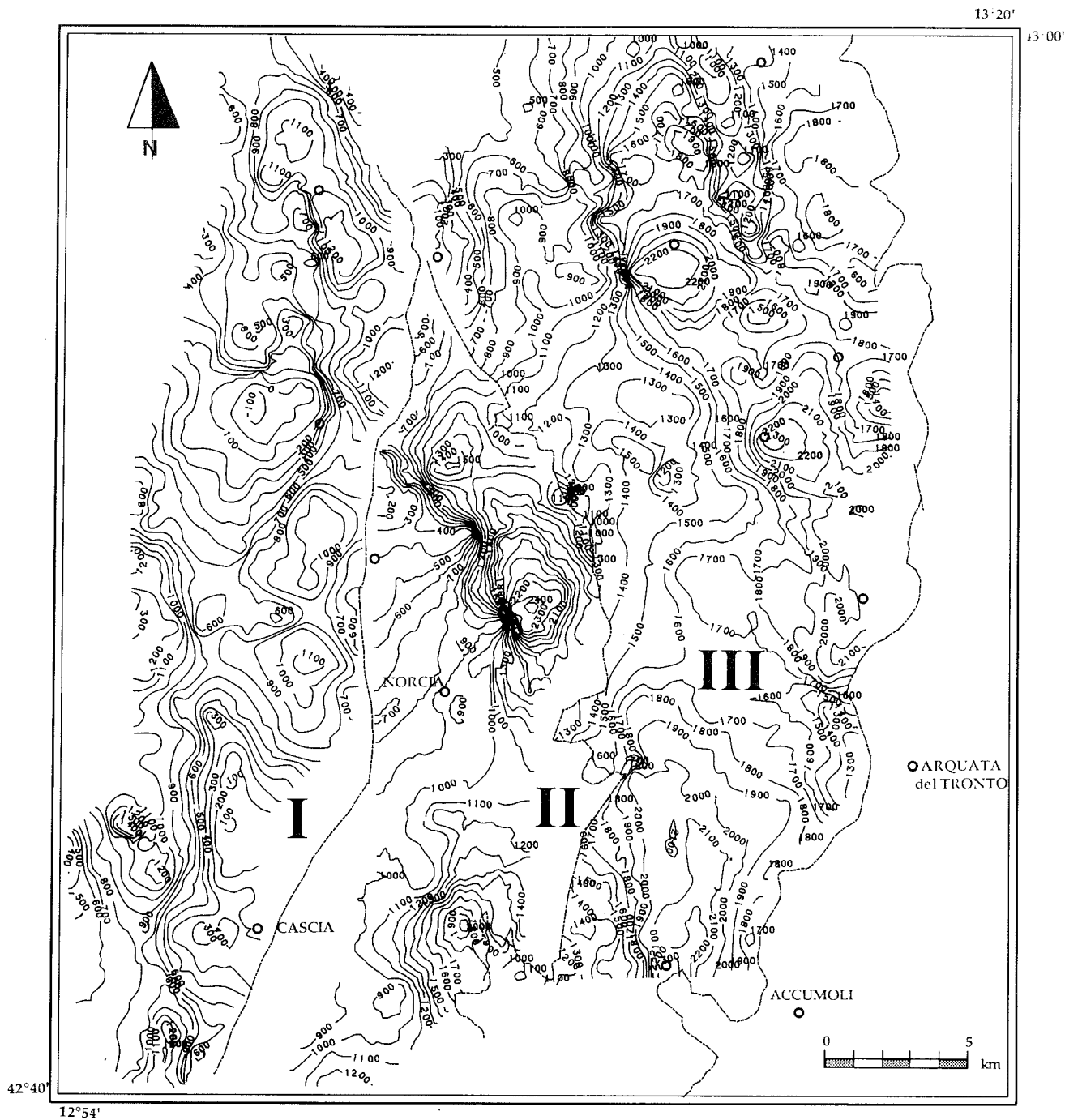


Fig. 4 - Ricostruzione delle isobate del tetto della Maiolica per le unità cinematiche esterne. I-Unità del M.Fema; II-Unità di Norcia; III-Unità dei M.Sibillini.

nella parte orientale dell'area studiata, suddivisa in tre blocchi cinematici principali, corrispondenti alle maggiori scaglie sovrascorse. La carta a isolinee è stata ricavata da dati di quota, misurati all'intersezione fra la topografia e l'orizzonte stratigrafico da ricostruire, ed elaborati con tecniche di *map analysis*. Rispetto all'osservazione dell'andamento dei limiti formazionali su una carta geologica tradizionale, questa rappresentazione offre il vantaggio di non risentire degli effetti della topografia e dell'erosione, ed è pertanto particolarmente utile per stabilire correttamente la posizione e la direzione degli assi strutturali, e per quantificare il rigetto verticale delle faglie dirette, e le sue variazioni lungo lo sviluppo longitudinale delle faglie stesse.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il continuo aumento di informazioni disponibili sulla geologia superficiale e profonda di una regione come l'Appennino umbro-marchigiano, studiata con le tecniche più disparate, impone ormai l'uso di sistemi automatici per progettare e realizzare in modo efficace archivi di dati geo-referenziati. Riteniamo che l'adozione di questo tipo di metodologie sia di particolare utilità nell'ambito di un progetto come il CROP, come supporto per la catalogazione, la riorganizzazione e la revisione critica delle conoscenze disponibili.

La metodologia qui proposta, e sperimentata per il campo della geologia strutturale, è facilmente esportabile ad altri campi delle Scienze della Terra. L'interazione di un *data-base* geologico-strutturale con altri *data-bases*, relativi ad esempio a terremoti, frane, modelli digitali del terreno, potrà essere di aiuto per la comprensione dei rapporti fra struttura geologica, topografia ed evoluzione morfologica, che è alla base degli studi di neotettonica: i risultati di un primo esperimento in questa direzione sono esposti in BARCHI *et al.* (1992).

BIBLIOGRAFIA

ARONOFF S. (1989) - *Geographic Information Systems: a management perspective*. WDL Publications, Ottawa, Canada, 294 pp.

BARCHI M., FEDERICO C. & GUZZETTI F. (1991) - *Reconstructing thrust geometry by map analysis techniques: three examples from the Central Apennines (Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**.

BARCHI M., CARDINALI M., GUZZETTI F. & LEMMI M. (1992) - *Relazioni fra fenomeni tettonici e movimenti di versante nell'area del M. Coscerno-M. di Civitella, Valnerina (Umbria)*. Sottoposto per la pubblicazione sul Boll. Soc. Geol. It.

BURROUGH P.A. (1986) - *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford Science Pub., Monographs on Soil and Resources Survey n. 12, 194 pp.

CALAMITA F., DEIANA G. & PAMBIANCHI G. (1981) - *Considerazioni strutturali sull'area compresa fra la conca di Cascia e la valle del Tronto (Appennino umbro-marchigiano meridionale). Problemi di raccorciamento e neotettonica*. Boll. Soc. Geol. It., **100**, 415-422.

CALAMITA F., PIZZI A. & TOSTI A. (1990) - *Le associazioni strutturali di M. Patino e di M. Fema (Appennino umbro-marchigiano): carta geologica e schema tettonico*. Università degli Studi di Camerino.

CHIOCCHINI M., DEIANA G., MORETTI A. & PIERUCCINI U. (1976) - *Geologia dei Monti Sibillini nord-orientali*. Studi Geologici Camerti, **2**, 7-44.

COOPER J.C. & BURBI L. (1986) - *The geology of the central Sibillini Mountains*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 323-347.

DECANDIA (1982) - *Geologia dei monti di Spoleto (provincia di Perugia)*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 291-315.

DEIANA G. & PIERUCCINI U. (1976) - *Geologia e geomorfologia della montagna di Torricchio*. In: La riserva naturale di Torricchio, **1**, 27-76.

KOOPMAN A. (1983) - *Detachment tectonics in the Central Apennines (Italy)*. Geologica Ultraiectina, **30**, 1-155.

LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It. **104**, 161-194.

PIALLI G. (1969) - *Geologia delle formazioni giuresi dei monti ad Est di Foligno (Appennino Umbro)*. Geol. Romana, **9**, 1-30.

WADGE G. & PEARSON E. (1991) - *GIS for geology*. Terra Nova, **3**, 93-98.

