

# **Integrazione di dati geofisici e geologici per la caratterizzazione delle strutture sismogenetiche di Colfiorito e di Gubbio**

*M. Barchi<sup>1</sup>, M. Cardinali<sup>2</sup>, P. Chiraz<sup>1</sup>, C. Collettini<sup>1</sup>, C. Federico<sup>1</sup>, F. Guzzetti<sup>2</sup>, M. B. Magnani<sup>1</sup>, G. Minelli<sup>1</sup>, F. Mirabella<sup>1</sup>, C. Pauselli<sup>1</sup>, G. Pialli<sup>1</sup>, S. Pucci<sup>1</sup>, E. Troiani<sup>1</sup>*

*1 - Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia (e-mail: mbarchi@ege.unipg.it)*

*2 - CNR-IRPI, Perugia*

## **1 Premessa**

Lo scopo del progetto di ricerca svolto dalla UR di Perugia è quello di offrire un contributo alla definizione delle strutture sismogenetiche responsabili del terremoto umbro-marchigiano del 1997-98. La caratteristica principale del lavoro svolto è quella di integrare dati geologici di superficie con l'interpretazione di profili sismici a riflessione (gentilmente messi a disposizione dall'ENI/AGIP Division), allo scopo di ricavare un'immagine in profondità delle strutture potenzialmente sismogenetiche, da confrontare con quella offerta dai dati sismologici.

In particolare, viene qui presentata una sezione geologica trasversale alle strutture, estesa da Assisi a Camerino, basata sul rilevamento geologico di superficie (scala 1:10.000) e sulla interpretazione di un profilo sismico a riflessione. La sezione consente di ricostruire la geometria profonda della struttura sismogenetica ipotizzata (lunghezza in sezione, larghezza, spessore dello strato sismogenetico). Successivamente, nell'ambito dell'attività svolta del gruppo di lavoro sulle faglie attive dell'Appennino Centrale, abbiamo esteso la nostra analisi alla zona interessata dalla faglia di Gubbio, per cui sono disponibili numerose linee sismiche a riflessione di buona qualità.

Dal confronto tra le due situazioni analizzate, abbiamo ricavato alcune considerazioni sui caratteri delle faglie attive nella regione umbro-marchigiana, ed in particolare sulla loro geometria e sulla dinamica del fagliamento.

## **2 Le faglie di Annifo e Colfiorito**

### **2.1 Metodo di lavoro**

Nell'area colpita dal terremoto di Colfiorito (1997-98) sono disponibili due profili sismici a riflessione, la cui traccia è riportata in Figura 1, che attraversano la catena in direzione circa W-E, raggiungendo la profondità di 5 s (twt), che corrispondono a circa 12 km. La qualità dei dati sismici non è particolarmente buona: ciò può essere messo in relazione al metodo di acquisizione dei profili (Vibroseis) ed alla natura delle rocce affioranti (carbonati della serie umbro-marchigiana). Pur con questi limiti, i profili consentono di riconoscere:

- Un sistema di riflessioni profonde, interpretabile come tetto del basamento;
- Alcuni riflettori intermedi, indicativi dell'andamento degli strati;

- La posizione delle principali faglie legate alla tettonica compressiva (sovrascorrimenti) e distensiva (faglie dirette).

Nel presente lavoro vengono esposti i risultati dell'interpretazione del profilo più settentrionale (Assisi-Camerino), che attraversa la struttura del M. Subasio, la

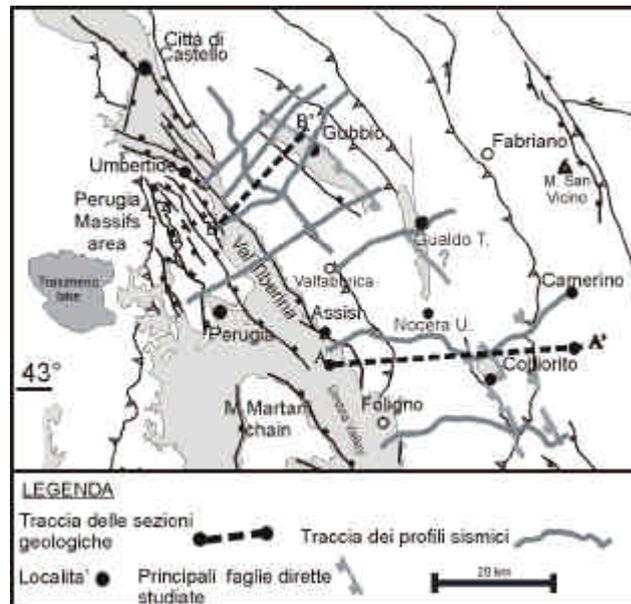


Fig. 1 - Carta strutturale con la localizzazione dei profili sismici, delle sezioni geologiche e di alcune strutture estensionali dell'area di Colfiorito e di Gubbio.

valle del fiume Topino e l'anticlinorio interno dell'Appennino umbro-machigiano, fino al sinclinorio di Camerino. La fascia attraversata dal profilo è stata oggetto di un

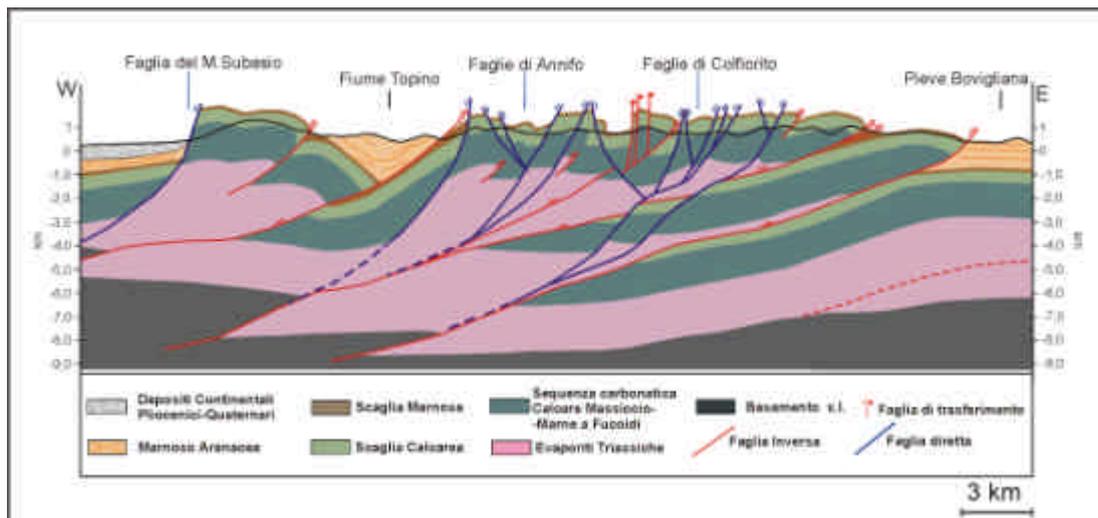


Fig. 2 - Sezione geologica Assisi-Camerino (A-A' in Fig. 1).

rilevamento geologico di dettaglio (scala 1:10.000). Le informazioni geologiche e geofisiche sono state integrate e proiettate lungo una sezione geologica interpretativa, orientata N87°E, proposta in Figura 2.

Data la risoluzione relativamente scarsa delle strutture, per la conversione in profondità del profilo sismico è stato adottato un modello di velocità semplificato, a tre strati: torbiditi: 4000 m/s; carbonati + evaporiti: 5500 m/s; basamento: 5000 m/s. Successivamente, sulla base dell'interpretazione proposta, sarà possibile introdurre modelli di velocità più raffinati, ed eventualmente riprocessare il dato sismico.

## ***2.2 Descrizione della sezione geologica***

Procedendo da W verso E, le **strutture compressive** sono costituite dai sovrascorrimenti principali di Monte Di Massa e di Pieve Bovigliana, che separa la Ruga Interna dalla Ruga Esterna: in base all'interpretazione del profilo sismico, queste strutture principali corrispondono a raddoppi del basamento, localizzati, nel sottosuolo, tra il M. Subasio e il M. di Lello, che costituisce il bordo occidentale della Ruga Interna. Il basamento si trova a profondità che vanno da 5.5 km sotto il M. Subasio fino a 9 km circa sotto M. di Lello, per poi risalire fino a circa 6.5 km di profondità in corrispondenza del sinclinorio di Camerino.

Nell'area compresa tra i bacini di Annifo e di Colfiorito, si individua anche un'importante zona di taglio trascorrente, con direzione circa N20° e movimento destro. È possibile che questa zona di taglio sia stata riattivata come faglia di trasferimento sinistra durante l'evoluzione tettonica recente dell'area.

La **tettonica estensionale** comprende tre sistemi principali di faglie dirette, immergenti verso W. Il sistema più occidentale è costituito dalla faglia bordiera del M. Subasio, che delimita verso E il bacino della media Valle Umbra. Nel settore orientale della sezione, presso la culminazione della Ruga interna, sono stati individuati gli altri due sistemi principali di faglie dirette, che delimitano rispettivamente i bacini di Annifo e di Colfiorito.

Il settore compreso tra la faglia del M. Subasio e quella di Annifo costituisce una zona relativamente indeformata, per quanto riguarda la tettonica estensionale. Questa osservazione è confermata anche dai rilevamenti di superficie: in questo settore sono infatti presenti estese paleosuperfici, che si sviluppano ad una quota piuttosto regolare, compresa tra 850 m e 950 m e non appaiono dislocate in maniera significativa.

I sistemi estensionali di Annifo e Colfiorito sono costituiti da una faglia principale W-immergente, al cui tetto sono presenti numerose faglie minori, sintetiche ed antitetiche. In affioramento, le faglie principali mostrano inclinazioni generalmente comprese tra 60° e 80°; le strie mostrano un rake di 70°-80°, con debole componente di transtensione sinistra; il rigetto massimo, nel tratto rilevato, non supera i 500 m. Nella sezione di Figura 2, i piani di faglia principali sono caratterizzati da un tratto superficiale ad alto angolo (fino a circa 2 km

di profondità) ed una traiettoria profonda con inclinazione sensibilmente minore (circa 40°). Le faglie raggiungono il basamento in corrispondenza delle zone di raddoppio, a profondità di circa 6 km per la faglia di Annifo e di circa 8 km per la faglia di Colfiorito. Limitatamente al tratto più profondo, in prossimità del basamento, è possibile ipotizzare che le faglie riattivino pre-esistenti piani di sovrascorrimento.

### 2.3 Considerazioni sulla sismicità dell'area

Allo stato attuale del lavoro, l'integrazione tra la sezione geologica sopradescritta e i dati sismologici non è stata ancora effettuata, soprattutto perché i dati stessi non sono facilmente disponibili. Per ora, dal semplice confronto con i dati sismologici disponibili in letteratura, è possibile esporre alcune considerazioni preliminari.

- I meccanismi focali delle scosse principali della crisi sismica del 1997-98 (Ekström et al., 1998) mostrano un piano nodale immergente verso SW con inclinazione di circa 40°: questa geometria corrisponde con quella dei piani di faglia di Annifo e di Colfiorito, individuati nella sezione presentata.
- Per quanto riguarda la localizzazione degli ipocentri delle repliche, i dati pubblicati (per es. Amato et al., 1998; Basili, 1999) indicano che gli aftershocks della sequenza sono compresi tra 2 e 9 km di profondità. Nella nostra sezione, la sequenza sismica è confinata all'interno di un insieme di scaglie tettoniche, costituite da carbonati ed evaporiti; la base della sequenza sismica (9 km) corrisponde alla posizione del tetto del basamento.

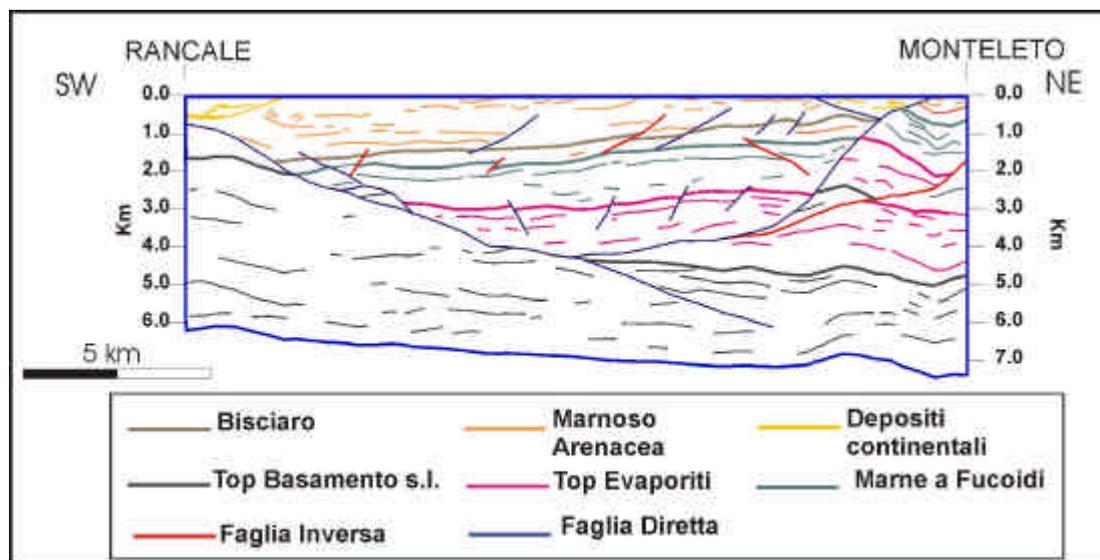


Fig. 3 - Sezione geologica (B-B' in fig. 1) tra il Bacino Altotiberino ed il Bacino di Gubbio.

### 3 La Faglia di Gubbio

Per ricostruire la geometria profonda della faglia di Gubbio (GuF), si sono utilizzate

le informazioni provenienti da sei profili sismici a riflessione, che interessano una porzione, di circa 30 km<sup>2</sup>, del Pre-Appennino Umbro, compresa tra il Bacino Altotiberino e l'anticlinale di Gubbio (Fig. 1).

La buona qualità dei profili sismici utilizzati ha permesso l'individuazione dei riflettori marker più significativi (dal basso verso l'alto: top Verrucano, basamento s.l., top evaporiti triassiche, Marne a Fucoidi, top Bisciario, base dei depositi continentali) che, tarati sulla base delle perforazioni profonde effettuate in questa zona, hanno consentito un'efficace descrizione delle principali strutture compressive e distensive presenti nel sottosuolo. Le sezioni sismiche interpretate sono state convertite in profondità, utilizzando i dati di velocità intervallari disponibili in letteratura (Barchi et al., 1998): una delle sezioni geologiche così ottenute è riportata in Figura 3. Successivamente, i dati lungo le sezioni sono stati campionati e interpolati con un programma di contouring, per ottenere una carta delle isobate della **GuF** (Fig. 4).

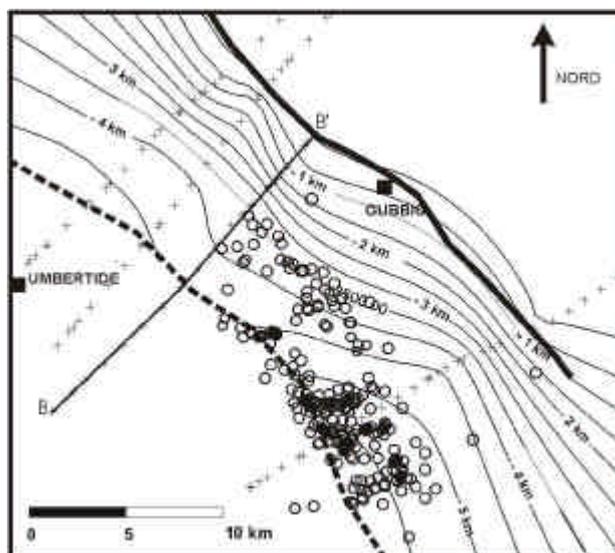


Fig. 4 - Carta delle isobate della faglia di gubbio con riportata la distribuzione della sismicità legata alla crisi sismica del 1984.

L'insieme dei profili utilizzati mostra che la faglia di Gubbio disloca il fianco occidentale dell'anticlinale omonima immergendo verso SW, con direzione di 120°N ed inclinazione che varia tra i 50° e i 70°. Il rigetto complessivo massimo, desumibile dalla dislocazione dell'orizzonte delle Marne a Fucoidi, è pari a circa 1500 m. La geometria listrica della GuF è ben riconoscibile nei diversi profili: in profondità la faglia riattiva un preesistente piano di sovrascorrimento, invertendone il movimento (Fig. 3).

La **GuF** è antitetica ad una faglia a basso angolo immergente verso E, nota in letteratura come Faglia Altotiberina (**ATF**, Boncio et al., 1998). L'intersezione tra la **GuF** e

la **ATF** si trova ad una profondità di circa 6 km nella parte meridionale, risale fino a 4.5 km procedendo verso N, dopo di che si approfondisce nuovamente fino a circa 5 km.

I profili sismici non permettono di ricostruire con precisione la geometria del bacino di Gubbio. Lo spessore dei depositi continentali di riempimento del bacino è di circa 500 m, valore compatibile con quello indicato da Menichetti (1992).

Un ulteriore elemento ricavabile dai profili sismici è la profondità del tetto del basamento, che si trova a circa 5 km, al letto della **GuF**.

Sulla carta delle isobate della **GuF** (Fig. 4) sono state riportate l'intersezione del piano di faglia con la topografia e l'intersezione in profondità con la **ATF**. La carta conferma le caratteristiche geometriche del piano di faglia, ed in particolare il suo andamento listrico.

La traccia della faglia in superficie mostra un bend sinistro, più o meno in corrispondenza della città di Gubbio: il segmento posto a NW di Gubbio appare spostato verso W. L'andamento delle isobate della faglia coincide con quello della traccia superficiale, indicando che la curvatura potrebbe interessare anche la parte profonda del piano di faglia. Ciò fa pensare che la **GuF** possa essere divisa in due distinti segmenti.

La geometria profonda della **GuF**, così ricostruita, è stata confrontata con la distribuzione degli ipocentri della crisi sismica di Gubbio del 29-04-1984 (Haessler et al., 1988), riportati in Figura 4. Si nota che:

- gli ipocentri sono localizzati nella fascia compresa tra la traccia della faglia in superficie e l'intersezione con l'**ATF**; le profondità ipocentrali raggiungono i 7 km, di poco superiori a quelle da noi ricavate per l'intersezione tra **GuF** e **ATF**;
- la sismicità appare in relazione al segmento meridionale della **GuF**.

In conclusione, il nostro studio consente di definire in dettaglio la geometria della **GuF** ed i suoi rapporti con la **ATF**. Consente inoltre di ipotizzare una possibile segmentazione della **GuF**. La presenza di una zona incurvata ostacolerebbe la propagazione della rottura lungo il piano di faglia, individuando due segmenti, attivabili separatamente. Il segmento meridionale, attivato durante il terremoto del 1984, avrebbe una continuità di circa 15 km.

## 4 Spunti di discussione

### 4.1 Geometria delle strutture sismogenetiche

Dal punto di vista metodologico, il nostro studio mette in evidenza l'importanza

	<b>Gubbio</b>	<b>Colfiorito</b>
<b>L</b> (Lunghezza in pianta)	15 km (2 segmenti)	8 km
<b>RW</b> Lunghezza in sezione	11.5 km	15 km
<b>Ws</b> (Larghezza in pianta)	10 km	11 km

<b>D</b> Spessore dello strato sismogenetico	5.5 km	8.5 km
----------------------------------------------	--------	--------

Tab. 1 – Informazioni sulla geometria delle faglie di Gubbio e Colfiorito

dell'utilizzo delle linee sismiche a riflessione nella definizione della geometria profonda di faglie potenzialmente sismogenetiche. In particolare, nel nostro caso è stato possibile definire i parametri geometrici delle faglie di Gubbio (per cui è stata anche proposta un'ipotesi di segmentazione) e di Colfiorito. Le informazioni geometriche ricostruite sono riassunte nella tabella 1.

#### **4.2 Riattivazioni**

I piani di faglia studiati sembrano riattivare in profondità pre-esistenti piani di sovrascorrimento. Il fenomeno di riattivazione, nel caso della faglia di Gubbio, si evince chiaramente dalle sezioni sismiche. Nel caso di Colfiorito, la riattivazione può essere ipotizzata solo per la parte profonda, in prossimità del tetto del basamento: al di sopra di tale zona, l'inclinazione dei sovrascorrimenti ( $<20^\circ$ ) è sensibilmente minore di quella delle faglie dirette ( $40^\circ$ ). L'inversione tettonica, almeno in questo caso, sembra guidata dalle anisotropie laterali ("gradini" del basamento) piuttosto che dai piani di faglia preesistenti.

#### **4.3 Meccanica del fagliamento**

Le inclinazioni delle strutture estensionali di Colfiorito (al di sotto dei 2 km di profondità), descritte nel profilo sismico (circa  $40^\circ$ ), coincidono con quelle dei piani di rottura individuati dai meccanismi focali dei tre eventi principali (Ekström et al., 1998). Nell'ipotesi di un  $\sigma_1$  verticale e per valori di Byerlee (1978) del coefficiente di frizione statica ( $0.6 < \mu_\sigma < 0.85$ ), si deve considerare un meccanismo di rottura che sfrutta discontinuità preesistenti, in presenza di valori di pressione dei fluidi  $P_f$  vicini al valore del  $\sigma_3$ .

#### **4.4 Possibile prosecuzione della ATF**

Come abbiamo visto, la faglia di Gubbio risulta antitetica rispetto ad una *master fault* est-immersa (Faglia Altotiberina, ATF). Lo studio dei profili sismici ha consentito di accertare la presenza della ATF in tutto il settore compreso tra S.Sepolcro e Perugia (Barchi et al., 1998). Da un punto di vista geologico, è logico ipotizzare che anche le faglie di Annifo e Colfiorito siano antitetiche ad una *master fault* est-immersa. Tuttavia, la qualità dei profili sismici studiati nel settore occidentale non permette al momento di confermare questa ipotesi.

#### **Bibliografia**

Amato A., Azzara R., Chiarabba C., Cimini G. B., Cocco M., Di Bona M., Margheriti L., Mazza S., Mele F., Selvaggi G., Basili A., Boschi E., Courboux F., Deschamps A., Gaffet S., Bittarelli G., Chiaraluce L., Piccinini D., and Ripepe M (1998): The 1997

- Umbria-Marche, Italy, earthquake sequence: a first look at the main shocks and aftershocks. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 2861-2864.
- Barchi M.R., De Feyter A., Magnani M.B., Minelli G., Piali G., Sotera B.M. (1998): The deformed foreland of the Northern Apennines and its structural style. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **52**, 557-578.
- Basili R (1999): La componente verticale della tettonica plio-quadernaria nell'Appennino centrale. *Tesi di Dottorato, Università "La Sapienza", Roma*.
- Boncio P., Ponziani F., Brozzetti F., Barchi M., Lavecchia G., Piali G. (1998): Seismicity and extensional tectonics in the northern Umbria-Marche Apennines *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **52**, 539-556.
- Byerlee J. D. (1978): Friction of rocks. *Pure and Applied Geophysics*, **116**, 615-626.
- Ekström G., Morelli A., Dziewonski A.M., Boschi E. (1998): Moment tensor analysis of the Umbria-Marche earthquake sequence of September-October 1997. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1971-1974.
- Haessler H., Gaulon R., Rivera L., Console R., Frogneux M., Gasparini G., Martel L., Patau G., Siciliano M., Cisternas A. (1988): The Perugia (Italy) earthquake of 29 April 1984: a microearthquake survey. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **78**, 1948-1964.
- Menichetti M. (1992): Evoluzione tettonico-sedimentaria della Valle di Gubbio. *Studi Geol. Camerti*, Vol. Spec. **1992/1**, 155-163.