

TASK 2 – Definizione input atteso

Responsabile Giovanni Iannaccone UR-OV

L’obiettivo di questo task è la definizione, mediante simulazione numerica, di accelerogrammi al bedrock della città di Benevento considerando le possibili sorgenti sismiche dell’area ed includendo l’effetto delle struttura crostale sulla propagazione della radiazione sismica.

Questo obiettivo generale è suddiviso in tre sub-task:

T2.1 Definizione e caratterizzazione delle zone sorgenti sismiche attive

T2.2 Generazione della radiazione accelerometrica

T2.3 Definizione di un modello di velocità a scala regionale

UR coinvolte nel task 2

UR-OV; UniNA-DSF; ING; UniSannio; UniPI-DST

Nel seguito viene descritta l’attività svolta nel corso del primo anno

T2.1 Definizione e caratterizzazione delle zone sorgenti sismiche attive

Obiettivo di questo sub-task è identificare le faglie sismogenetiche relative ai terremoti che in epoca storica hanno causato gravi danni alla città di Benevento e selezionare quelle di maggior interesse ai fini del progetto. Inizialmente sono state definite le possibili zone sorgenti dei terremoti di interesse, ovvero sono state definite la localizzazione, direzione ed inclinazione delle faglie sismogenetiche dell’area del Sannio-Matese. Successivamente, per ciascuna faglia sono stati definiti i parametri caratteristici ai fini delle successive simulazioni accelerometriche previste nel programma di ricerca.

Quale parametro discriminante per la selezione dei terremoti è stata scelta l’intensità locale, il cui valore nella città di Benevento sia stato pari o superiore a VII MCS. Sulla base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Gruppo di Lavoro CPTI, 1999), sono stati selezionati i seguenti terremoti indicati con la loro denominazione usualmente riportata in bibliografia e data di accadimento:

- Sannio, 5.6.1688	$I_0 = XI$	$I_{BN} = IX$
- Beneventano-Irpinia, 14.3.1702	$I_0 = IX-X$	$I_{BN} = IX$
- Irpinia, 29.11.1732	$I_0 = X-XI$	$I_{BN} = VII-VIII$
- Molise, 26.7.1805	$I_0 = X$	$I_{BN} = VI-VII$
- Irpinia-Basilicata, 23.7.1930	$I_0 = X$	$I_{BN} = VIII$
- Irpinia, 21.8.1962	$I_0 = IX$	$I_{BN} = VI-VII$

Le ultime due colonne riportano l’intensità massima I_0 e quella osservata a Benevento, I_{BN} .

E’ stato, inoltre, selezionato il terremoto del 21.8.1962 per l’interesse rivestito dalla complessità del meccanismo di rottura che lo ha caratterizzato e per la vicinanza alla città di Benevento.

Relativamente a questi eventi sono stati analizzati i dati macrosismici, geologici, geomorfologici, paleosismologici, e sismologici ove disponibili, finalizzati alla definizione dei parametri sorgente necessari alla caratterizzazione delle faglie.

Questi sono: posizione, magnitudo, momento sismico, superficie della faglia, dislocazione media, stres-drop.

E’ stata sviluppata una procedura di analisi dei dati e delle informazioni disponibili per ciascuna faglia che permettesse di stimare i parametri di sorgente e di associare ad essi un intervallo di variabilità. In particolare, sono state utilizzate delle classiche relazioni semi-empiriche disponibili in letteratura (ad esempio relazioni magnitudo-dimensioni proposte da Wells e Coppersmith,1994), integrate da considerazioni di sismologia teorica (leggi di scala), nonché da osservazioni sperimentali derivanti dallo studio di terremoti associati a faglie normali avvenuti in Appennino.

Si riportano, come esempio, i dati ottenuti relativi al terremoto del 1688.

Sannio, 5.6.1688 - $M_e = 6.67 \pm 0.12$

Direzione: $304^\circ \pm 15^\circ$

Inclinazione: $55^\circ \pm 15^\circ$

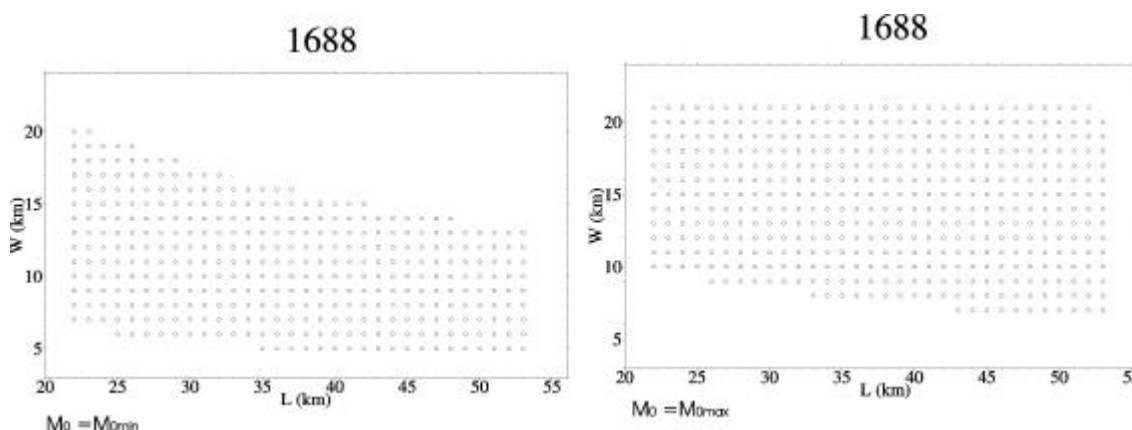
Rake: $270^\circ \pm 15^\circ$

Lunghezza L: 31.3 Km

Larghezza W: 13.3 Km

Profondità del top h_0 : 1.6 Km

Modulo della dislocazione media $\langle \Delta u \rangle$: 1.0 m



Possibili valori di lunghezza e larghezza della faglia compatibili con gli altri parametri determinati per la sorgente del terremoto del 1688.

Studio di dettaglio del terremoto del 23.7.1930

Relativamente all’evento del 23 luglio 1930 è stato completato lo studio di revisione dei parametri sorgente. Sono stati analizzati criticamente i lavori disponibili nella letteratura scientifica, è stato ri-determinato il meccanismo focale e, utilizzando una metodologia originale di analisi che riproduceva la distribuzione del campo accelerometrico prodotto da possibili faglie sismogenetiche, è stato possibile verificare le diverse ipotesi formulate per spiegare il meccanismo dell’evento del 1930.

Studio della sismicità recente

Lo studio su i più forti terremoti avvenuti negli ultimi secoli è stato integrato da quello della sismicità recente. Tale studio è stato effettuato con il duplice obiettivo di estendere la validità del modello di velocità definito da indagini di sismica a riflessione, pozzi per esplorazione petrolifera, gravimetria e geologia di superficie, in particolare nella parte profonda, e contribuire a definire le zone sismogenetiche di interesse per il progetto. A tal fine sono stati utilizzati anche i tempi di arrivo relativi ai profili di sismica crostale effettuati nell’Appennino Campano.

Si è proceduto attraverso i seguenti tre passi:

- Integrazione di dati di diverse reti sismiche

- Sviluppo di software di integrazione ai programmi principali usati per la localizzazione 3D
- Test per l'uso di software di inversione tomografica che risolve il problema accoppiato della localizzazione degli eventi e del modello di velocità tridimensionale.
- Test per l'uso del software di localizzazione

Riguardo l'integrazione di dati di diverse reti sismiche si è proceduto a creare un unico file con le coordinate delle stazioni sismiche della rete nazionale e della rete dell'Osservatorio Vesuviano installate nell'area di studio. Tale area è stata definita in base alla distribuzione della sismicità storica e recente e delle stazioni sismiche. E' stato successivamente creato un file tempi di arrivo relativo agli eventi sismici il cui epicentro rientrava nell'area oggetto di studio. A tal proposito è stato necessario sviluppare un'articolata libreria di programmi che consentisse l'integrazione dei dati relativi a diverse reti e la selezione esclusiva dei tempi di arrivo alle stazioni selezionate eliminando quelli relativi ad eventi esterni. Con un set selezionato di eventi sono stati effettuati i primi test.

Il codice usato per la tomografia sismica è SIMULPS14; una nuova versione del programma di inversione di Thurber (Thurber, 1993, Eberhart-Phillips, 1993). Tale codice utilizza un metodo di inversione matriciale ai minimi quadrati con smorzamento, in cui le equazioni che legano i tempi di arrivo delle onde sismiche ai parametri del modello di velocità sono linearizzate. La nuova versione inverte i tempi di arrivo delle onde P (t_P) per determinare il modello di velocità V_P ed i tempi ($t_S - t_P$) per ottenere il modello V_P/V_S . In aggiunta alle versioni precedenti il codice contiene un veloce ed accurato tracciamento del raggio sismico in mezzi eterogenei basato sull'uso dei raggi parassiali e sulla teoria perturbativa. Il programma richiede una serie di applicazioni per determinare i valori di alcuni parametri che dipendono dal particolare set di dati utilizzato. In questa fase preliminare l'inversione è effettuata partendo da un modello di velocità iniziale a strati piani e paralleli disponibile nell'ambito del Progetto. Questi test hanno permesso di determinare i migliori parametri di input da usare poi nell'inversione che utilizzerà come modello iniziale il modello di velocità 3D fornito dall'unità di ricerca di Pisa.

T2.2 - Generazione della radiazione accelerometrica

Sono stati effettuati dei test preliminari relativi alle simulazioni dell'accelerazione di picco attesa alla città di Benevento prodotta da una delle faglie precedentemente definite considerando dei valori di prova dei parametri sorgente. Come specificato nel programma di ricerca è stato utilizzato un metodo statistico-deterministico proposto da Zollo et al. (1997) già descritto nei paragrafi precedenti. E' stato considerato l'evento del 1688 e relativamente ad i parametri sorgente sono stati considerati i valori medi precedentemente definiti.

Complessivamente sono stati simulati 100 differenti processi di rottura. La superficie di faglia è stata discretizzata mediante sub-faglie di 50 m di lato la cui funzione sorgente è di tipo rampa lineare. La velocità di propagazione della rottura sul piano di faglia è assunta costante e subsonica. Linee sismiche commerciali, profili di sismica a rifrazione crostale e dati di sottosuolo (Improta et al., 2000) sono stati utilizzati per definire un modello di velocità 1-D nell'area epicentrale per il calcolo delle funzioni di Green in approssimazione asintotica.

Gli accelerogrammi sintetici per ciascun processo di rottura sono stati calcolati ad i 100 nodi di una griglia regolare di 5 km centrata sulla proiezione in superficie della faglia. Le mappe del valore medio dell'accelerazione di picco al suolo (PGA) (fig.1A) e del corrispondente coefficiente di variazione (COV) (fig.1B) per le 100 simulazioni sono state costruite interpolando i valori di picco degli accelerogrammi filtrati nelle bande di frequenze 0.5-5 Hz.

Analogamente a quanto fatto per il terremoto del 1930, i valori di PGA simulati sono stati convertiti in intensità macrosismiche mediante la già citata relazione di Trifunac e Brady (1975).

Il confronto tra gli andamenti delle isosiste (fig.1A) con la mappa di PGA medio (convertita in intensità macrosismiche) indica che:

a) per quel che concerne la direzione, immersione ed inclinazione della sorgente dell’evento del 1688, il modello proposto nell’ambito del progetto è compatibile con il dato storico. Infatti, la distribuzione areale dei valori medi di PGA è in buon accordo con la prevalente direzione NW-SE delle isosiste, con il maggiore danneggiamento nel settore NW rispetto al settore SE dell’area epicentrale, e con la larghezza dell’area di risentimento massimo ($I \geq X$).

b) maggiori incertezze risiedono nella ubicazione del modello di sorgente. Infatti, le aree di danneggiamento $I \geq X$ e con un valore di PGA medio maggiore di 0.5 g sono chiaramente traslate l’una rispetto all’altra. L’accordo tra il dato storico e simulato migliora sensibilmente se la sorgente viene tralata verso Est di circa 8 km (fig.1C).

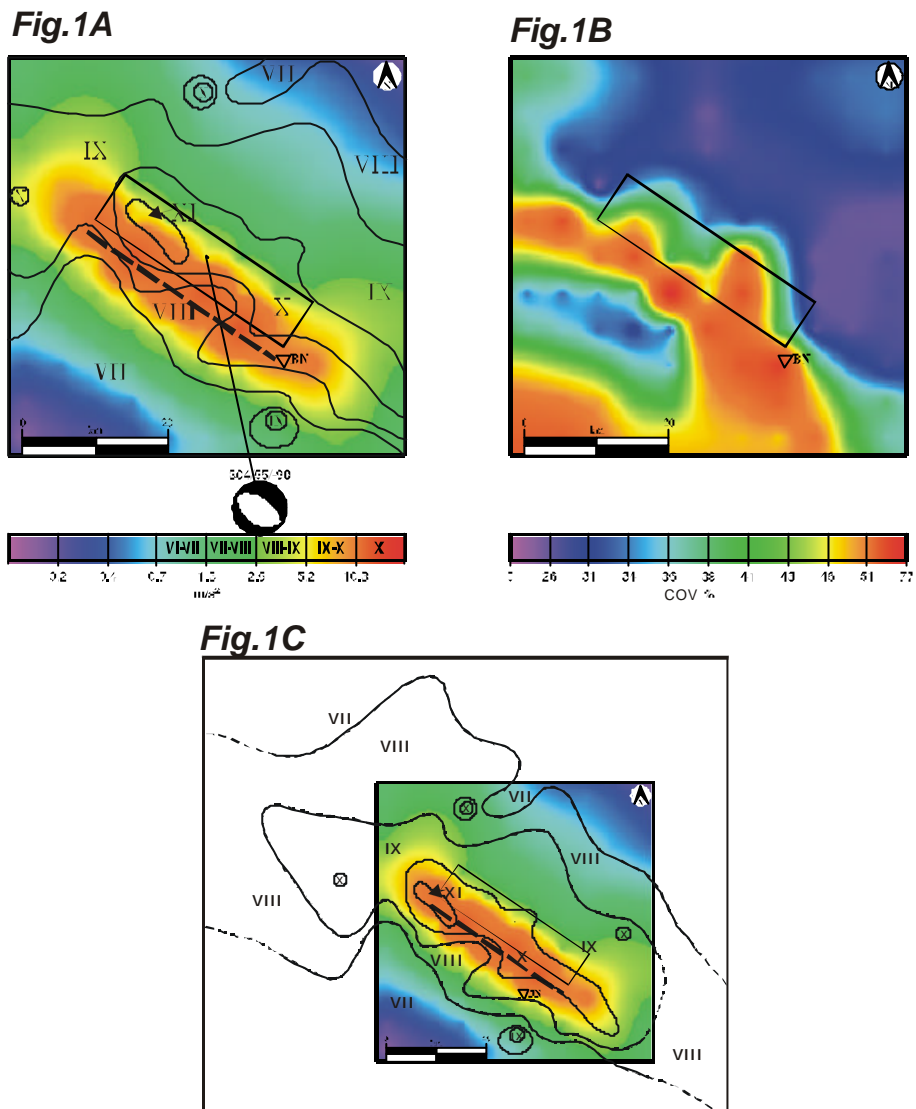


Fig. 1 – Mappe di PGA per le simulazioni dell’evento del 1688. (A) Valori medi di PGA e confronto con data macrosismico, (B) covarianza, (C) confronto per una sorgente spostata Est.

c) il campo macrosismico mostra che la larghezza dell’area con $I \geq X$ è sensibilmente maggiore nel settore NW rispetto al settore SE, caratteristica questa che non appare nella mappa di PGA. L’accordo tra la larghezza dell’area con $I \geq X$ e con un valore di PGA medio maggiore di 0.5 g migliora sensibilmente se il confronto è limitato ad i risultati delle simulazioni (19) effettuate con un punto di enucleazione della rottura ubicato nel settore meridionale del piano di faglia (fig.2A-C). Infatti, queste simulazioni sono caratterizzate da una direttività del processo di rottura in direzione NW che produce un incremento dei valori di PGA medi nel settore NW, dove è stato osservato il massimo danneggiamento ($I=XI$), ed un decremento nel settore SE, con conseguente allargamento dell’area con un valore di PGA medio maggiore di 0.5 g nel settore NW. Pertanto, la distribuzione del danneggiamento potrebbe essere spiegata anche in termini di effetti di direttività. Tuttavia, nelle simulazioni con il modello di sorgente direttivo la lunghezza complessiva dell’area di massima accelerazione si riduce e risulta sottostimata (fig.2C). Ciò consente di ipotizzare che il modello di sorgente potrebbe essere caratterizzato, oltre che da una evidente differente posizione, anche da una maggiore lunghezza.

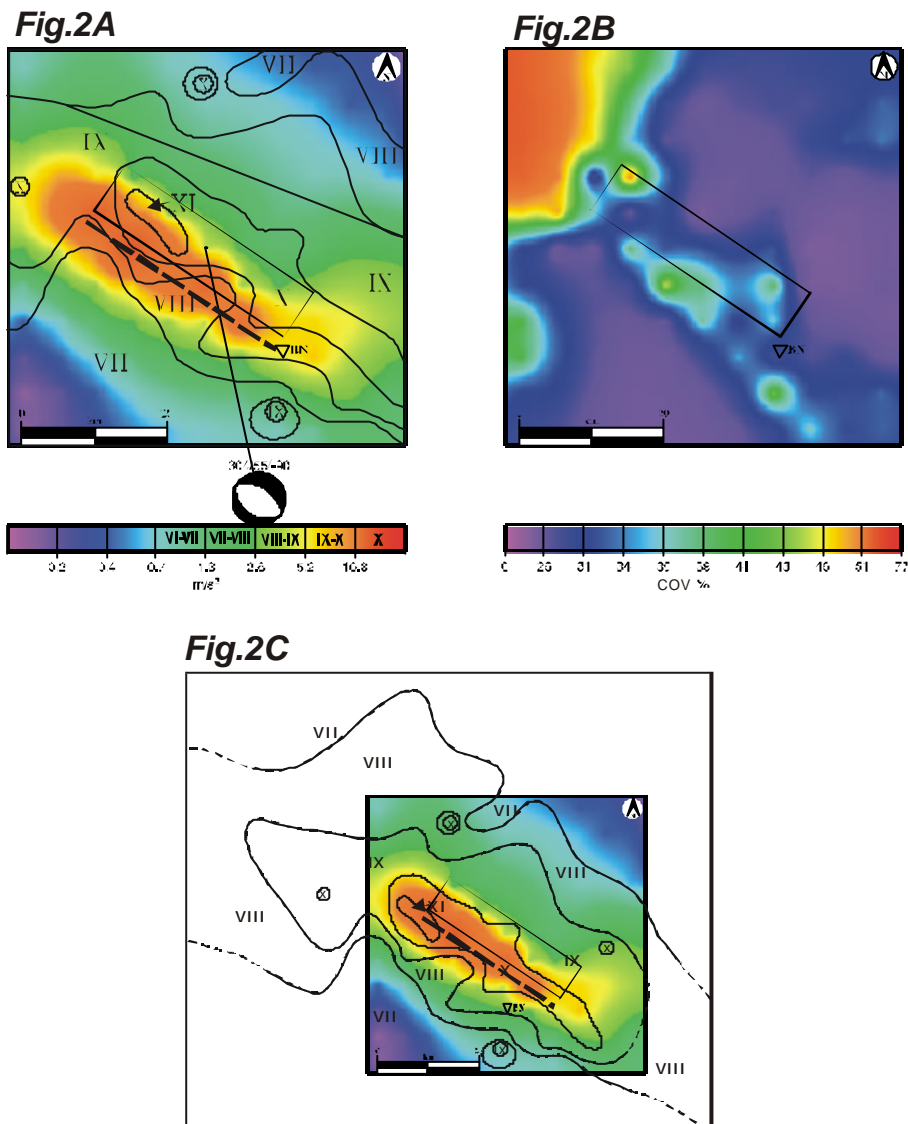


Fig. 2 – Mappe di PGA relative a 19 simulazioni con punti di enucleazione della rottura nelle regione meridionale del piano di faglia.

Nel corso del secondo anno di attività saranno effettuati altri test con i valori delle grandezze caratterizzanti la sorgente sismica precedentemente definiti al fine di stimare i parametri strong motion al bedrock di Benevento d’interesse ingegneristico (PGA, PGV, PGD, spettri di pseudo-accelerazione, accelerogrammi sintetici).

Parallelamente un analogo studio sarà effettuato per la simulazione della radiazione accelerometrica generata dalla sorgente del terremoto Irpino del 1930, che è stato selezionato nell’ambito del progetto in quanto rappresentativo di un possibile evento con risentimento moderato a Benevento ($I_{BN}=VIII$).

T2.3 Definizione di un modello di velocità a scala regionale

L’area di studio, estesa dall’Alto Molise all’Irpinia, comprende i fogli IGM alla scala 1:100.000 153, 161-163, 172-175 e 185-187 (fig. 1). L’area di ciascun foglio è stata suddivisa in quadrati di un chilometro di lato disegnati secondo il reticolato chilometrico UTM. Utilizzando questa maglia sono stati definiti per ciascun foglio undici e in taluni casi dodici strati di celle cubiche, ciascuna di 1 km di lato, univocamente definite in termini di latitudine, longitudine e profondità. Questi strati sono rappresentativi delle formazioni rocciose che si estendono con geometrie più o meno complesse dalla superficie fino alla profondità di 10 km al di sotto del livello del mare. Ciascuno dei dieci strati compresi fra 0 e 10 chilometri include circa 1600 celle. Utilizzando la geologia di superficie, numerose linee sismiche commerciali, i dati di pozzi profondi perforati per ricerche di idrocarburi e un modello geologico-strutturale 3D a scala regionale, è stato possibile assegnare a ciascuna cella un valore corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde P nelle formazioni rocciose presenti. La figura 2 offre un esempio di rappresentazione grafica della distribuzione 3D dei valori di velocità di propagazione delle onde sismiche nel foglio 173 Benevento tra 0 e 10 chilometri di profondità. Si notino i forti contrasti laterali di velocità nei primi cinque chilometri dovuti alla complessa geometria del sistema e alle forti differenze di composizione tra le varie unità della catena al di sopra del duplex di carbonati apuli sepolti.

Allo stato attuale sono stati completati, per tutti gli strati da 0 a 10 km, i fogli 162 Campobasso, 173 Benevento e 174 Ariano Irpino. Le informazioni relative ai fogli 161, 162 e 173 sono state anche digitalizzate. Sono in via di completamento i fogli 153 Agnone (parte meridionale) e 172 Caserta (parte orientale). E’ stato infine avviato il lavoro di taratura e interpretazione delle linee sismiche e di costruzione dei relativi profili geologici nei fogli 175 Cerignola, 186 Sant’Angelo dei Lombardi e 187 Melfi.

Nel secondo anno di attività è previsto il completamento delle analisi e la digitalizzazione del modello di velocità relativamente a tutta l’area definita in programma.

Si prevede che il terzo anno di attività sia dedicato all’affinamento del modello di velocità attraverso il bilanciamento delle numerose sezioni geologiche costruite nei primi due anni, l’integrazione di eventuali nuovi dati analitici e l’incrocio tra modello geologico-strutturale e anomalie di gravità.

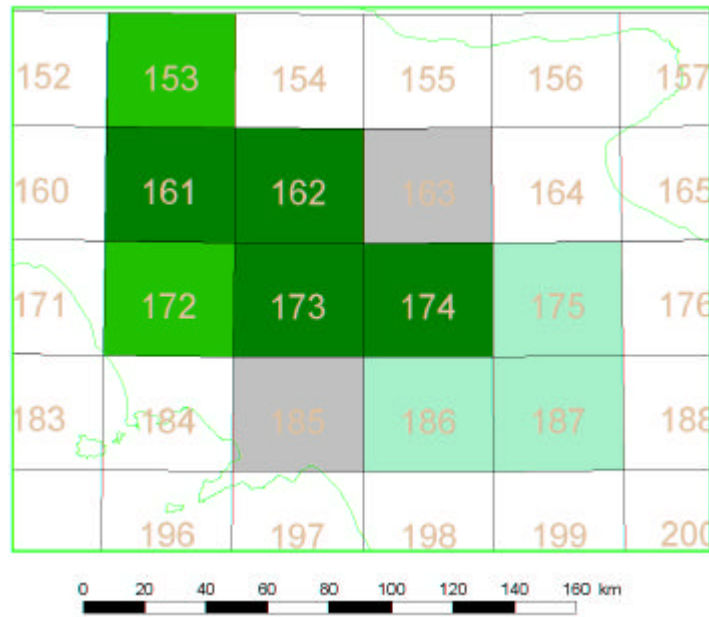


Figura 1 - Area di studio. L'intensità dei colori è proporzionale allo stato di avanzamento della ricerca.

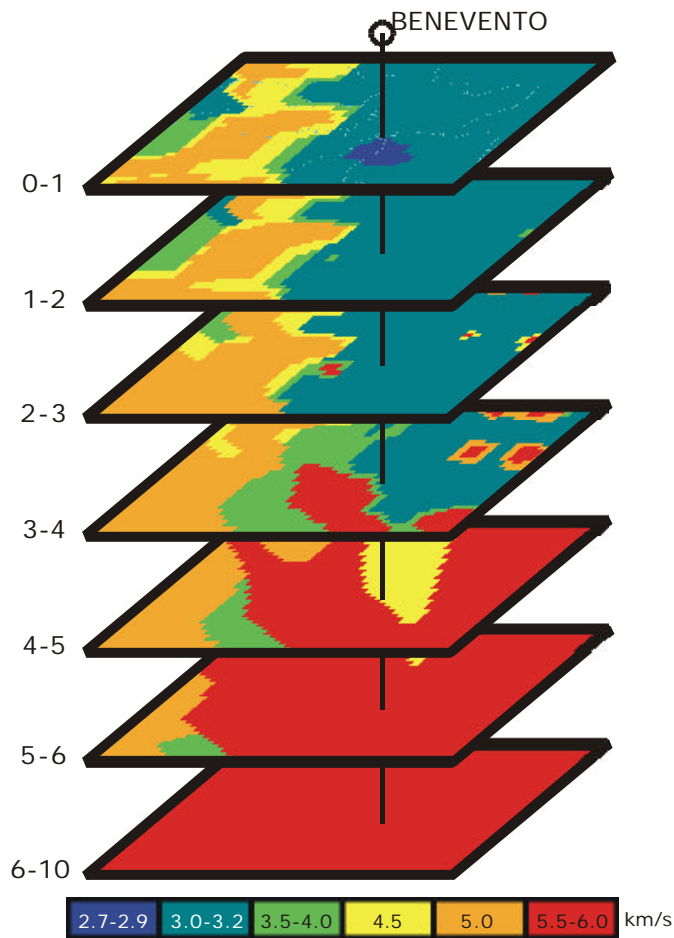


Figura 2 - Esempio di rappresentazione grafica del modello di velocità nel Foglio 173 Benevento.

Bibliografia

- Eberhart-Phillips, D., (1993). Local earthquake tomography: earthquake source region, in *Seismic Tomography: Theory and Practice*, eds Iyer, H.M. & Hirahara, K., Chapman & Hall, London.
- Gruppo di Lavoro CPTI (1999). *Catálogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 1999, 92 pp.
- Improta L., Iannaccone G., Capuano P., Zollo A., Scandone P. (2000). *Inferences on upper crustal structure of the Southern Apennines (Italy) from seismic refraction investigations and subsurface data*. *Tectonophysics*, 317, 275-298
- Thurber C.H. (1993). Local earthquake tomography: velocities and Vp/Vs theory, in *Seismic Tomography*, eds Iyer, H.M. & Hirahara, K., Chapman & Hall, London.
- Trifunac, M. D. & Brady A. G. (1975). On the correlation of seismic intensity data in California and western Nevada. *Bull. Seism. Soc. Am.* **65**, 1223-1238.
- Wells, D. L. & Coppersmith K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.* **84**, 974-1002.
- Zollo A., Bobbio A., Emolo A., Herrero A., De Natale G. (1997). *Modelling of ground acceleration in the near source range: the case of 1976 Friuli earthquake (M=6.5) Northern Italy*. *J. Seismology* 1, 305-319.