

# **Confronti tra le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzate in ambito GNDT**

*Carlo Meletti<sup>1</sup>, Dario Slejko<sup>2</sup> e Franco Vaccari<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa (e-mail: meletti@dst.unipi.it)*

<sup>2</sup> *Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste*

<sup>3</sup> *GNDT, c/o Dip. Scienze della Terra, Università di Trieste*

## **1 Introduzione**

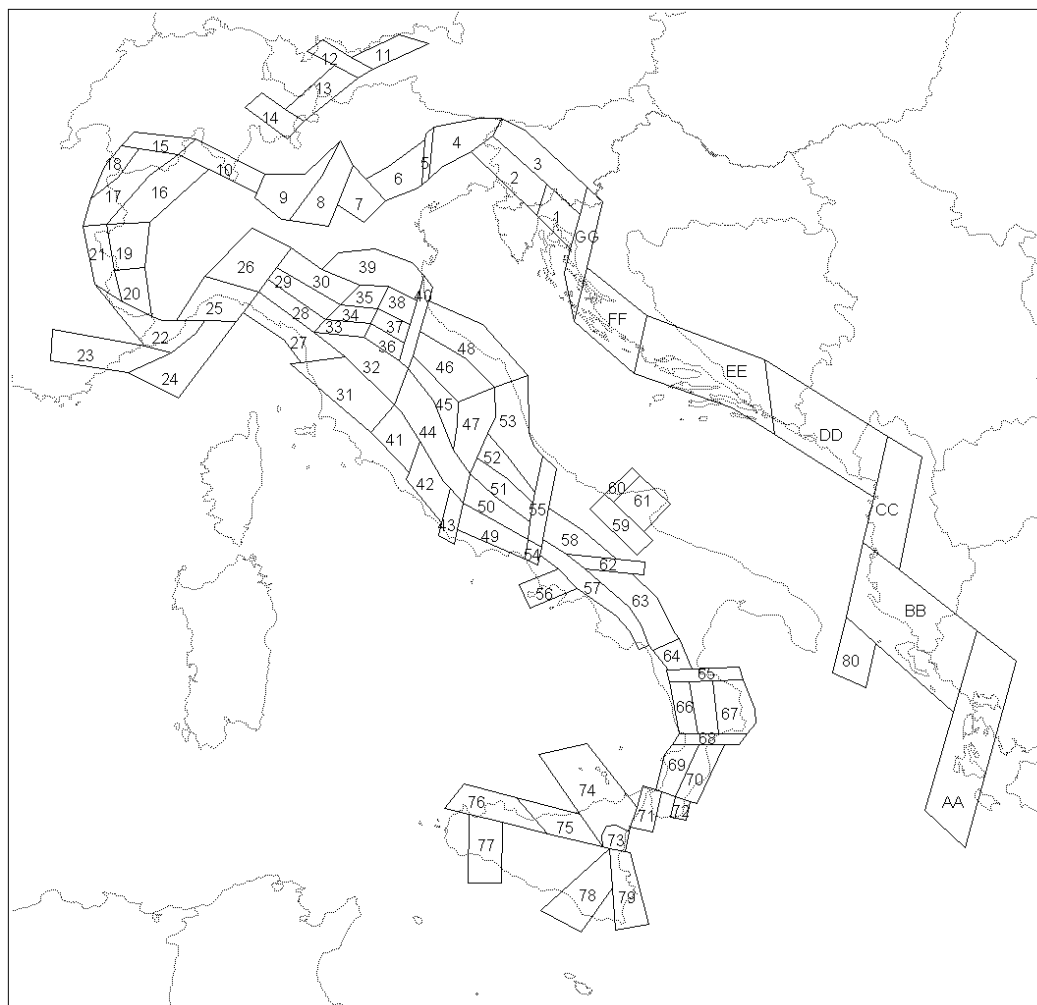
Uno degli obiettivi perseguiti dal GNDT negli ultimi anni è stato la realizzazione della carta di pericolosità sismica del territorio nazionale a fini di riclassificazione, che è stata ufficialmente consegnata al Dipartimento della Protezione Civile nel 1996, quale prodotto finale del Progetto Triennale 1993-1995. Per la realizzazione di tale prodotto era stato deciso, dopo ampia discussione scientifica, di seguire un metodo probabilistico consolidato a livello internazionale (metodo di Cornell, 1968: MC) che fornisce le stime di pericolosità contemplate anche dal codice sismico europeo EC8. Inoltre, l'utilizzo di questo metodo consente di procedere a confronti immediati tra le pericolosità di diversi nazioni ed è stato adottato anche nell'ambito del progetto di cooperazione internazionale GSHAP (Giardini, 1999).

Tale metodo probabilistico si basa su una buona conoscenza della sismicità e delle caratteristiche geologiche della regione studiata. Per tale motivo il progetto complessivo del GNDT ha avuto uno sviluppo articolato che ha portato alla preparazione di un nuovo catalogo di terremoti (Camassi e Stucchi, 1996), alla definizione di un modello sismotettonico per l'Italia e le regioni adiacenti (Fig. 1, Scandone et al., 1992; Meletti et al., 2000) ed al calcolo della pericolosità sismica in termini di picco di accelerazione orizzontale (PGA) e di intensità macrosismica (Slejko et al., 1998). In seguito le stime di pericolosità sono state realizzate anche in termini spettrali (Rebez et al., 1999).

Parallelamente alla realizzazione delle carte di pericolosità sismica d'Italia secondo l'MC, scelta dal GNDT quale stima "ufficiale" della pericolosità per la riclassificazione sismica nazionale, sono stati sviluppati, sempre nell'ambito delle attività del GNDT, due nuovi metodi che hanno portato alla realizzazione di ulteriori stime della pericolosità sismica dell'intero territorio nazionale e che seguono rispettivamente un approccio di tipo misto (Grandori et al., 1984) ed uno di tipo deterministico (Costa et al., 1993). I risultati ottenuti con questi approcci alternativi sono stati utilizzati per un controllo delle stime "ufficiali" calcolate con l'MC.

Nell'ambito del successivo Progetto Triennale 1996-1998 del GNDT era prevista l'analisi delle differenze mostrate dalle differenti carte di pericolosità per ipotizzare quali possano essere i margini di incertezza delle stime calcolate o al limite individuare per quali tipi di analisi potesse risultare più adeguato un approccio rispetto ad un altro.

Scopo del presente lavoro è riassumere i risultati ottenuti da questo confronto eseguito fra i diversi risultati di pericolosità. E' bene sottolineare come solo da un'approfondita analisi delle diverse carte, soprattutto poste in relazione con i diversi elementi di input che possono influire sulle stime, sia stato possibile condurre questo tipo di confronto e come nel presente lavoro sarà possibile riportare solo una minima parte degli elaborati prodotti nel corso dello studio.



*Fig. 1 – Carta delle zone sismogenetiche.*

## **2 Metodi per il calcolo della pericolosità sismica**

Come abbiamo detto precedentemente, nell'ambito del GNDT sono stati utilizzati tre differenti approcci per stimare la pericolosità sismica del territorio nazionale: l'MC, l'approccio deterministico ed il metodo misto.

Sinteticamente, l'MC ha le seguenti assunzioni di base: 1) il numero di eventi per classe di magnitudo segue una distribuzione esponenziale (legge di Gutenberg-Richter); 2) il numero di terremoti in un intervallo di tempo forma un processo di

Poisson (processo stazionario formato da eventi indipendenti e non contemporanei). Per semplicità di calcolo vengono definite delle zone sismogenetiche (ZS) e si considera che i terremoti siano uniformemente distribuiti al loro interno. Per il calcolo della pericolosità del territorio nazionale, l'MC è stato applicato sia in termini di PGA sia di intensità macrosismica e le stime rappresentano il valore calcolato per un periodo di ritorno di 475 anni, che corrisponde al valore non superato con probabilità 90% in 50 anni, criterio adottato nella progettazione antisismica dell'edilizia civile. Volendo essere precisi bisogna segnalare che il codice di calcolo usato dal GNDT per il calcolo della pericolosità (Bender e Perkins, 1987) non richiede che la magnitudo sia distribuita esponenzialmente poiché opera in forma numerica e non analitica.

L'approccio misto (Grandori et al., 1984) alla stima della pericolosità sismica non assume a priori alcuna funzione di distribuzione né per le dimensioni (magnitudo o intensità) dei terremoti né per gli intertempi di occorrenza, ma calcola queste distribuzioni sito per sito a partire dai dati disponibili. Come nell'MC, la pericolosità risulta dalla combinazione delle due distribuzioni. Per ogni ZS viene calcolata la distribuzione probabilistica delle intensità epicentrali che viene poi riportata al sito con opportune relazioni di attenuazione per ottenere la distribuzione delle intensità al sito. La distribuzione degli intertempi viene valutata sulla base dei risentimenti maggiori di un dato valore di soglia calcolati riportando al sito i valori epicentrali del catalogo di riferimento con le leggi di attenuazione adottate in precedenza; queste leggi sono differenziate territorialmente sulla base di considerazioni di carattere sismotettonico. L'ipotesi dell'MC che la sismicità sia distribuita uniformemente all'interno della ZS viene, dunque, utilizzata nel metodo misto solo per il calcolo della distribuzione delle intensità e non per quella degli intertempi, perché i risentimenti al sito vengono calcolati a partire dagli epicentri del catalogo. Fra le varie distribuzioni ammissibili per gli intertempi figurano sia quella esponenziale (processo stocastico) sia quelle che contemplano la memoria dell'ultimo evento occorso (Gamma, lognormale, Weibull); nell'applicazione qui considerata è stata utilizzata la sola distribuzione esponenziale degli intertempi per avere un risultato simile concettualmente a quello ottenuto con l'MC. Il metodo consente di rappresentare la pericolosità con diversi indicatori: probabilità di eccedere una data intensità o accelerazione in un fissato periodo di tempo, intensità attesa per un periodo di ritorno scelto, ecc. In questo confronto è stata stimata l'intensità attesa in 475 anni. Nell'ambito del GNDT le stime di pericolosità realizzate con questo approccio sono state calcolate per tutti i capoluoghi comunali.

L'approccio deterministico alla stima della pericolosità sismica sviluppato in ambito GNDT si basa sulla modellazione del moto del suolo attraverso la costruzione di sismogrammi sintetici (Costa et al., 1993; Panza et al., 1996, 1999). In questo tipo di approccio non viene analizzata la distribuzione della sismicità in termini probabilistici, bensì si considerano gli eventi massimi riportati in catalogo, che risultano i più pericolosi. Il metodo si basa, quindi, sulla discretizzazione della magnitudo di questi eventi massimi in celle di 0,2 gradi di lato e su una successiva lisciatura con finestre spaziali di 3 celle di raggio (vale a dire che si "spalma" su tutte

le celle della finestra di scansione la magnitudo della cella centrale, se questa è maggiore a quella delle altre celle). Al centro di ogni cella viene posta una sorgente sismica caratterizzata dalla magnitudo appena valutata e da un meccanismo di rottura calcolato come media di tutti i meccanismi focali disponibili per la ZS a cui appartiene la cella in esame; i vertici delle celle costituiscono i nodi della griglia di ricevitori. La propagazione delle onde viene calcolata in un modello crostale medio per macroregioni (circa una decina per tutta Italia). I sismogrammi sintetici vengono costruiti fino ad una distanza di 90 km dalla sorgente su una griglia avente, come detto, lato di 0,2 gradi. Per ciascun nodo della griglia di ricevitori viene preso in considerazione il massimo fra i valori di picco ottenuti a partire dalle diverse sorgenti. Si possono ottenere così mappe di spostamento, di velocità o di accelerazione di progetto (DGA), ottenuta calcolando lo spettro di risposta sintetico cui viene raccordata, per periodi compresi tra 1 e 5 secondi e scelti in funzione della magnitudo della sorgente, la forma spettrale dell'EC8. I risultati ottenuti con questo metodo non sono legati, pertanto, ad un periodo di ritorno ma rappresentano i massimi valori attesi, partendo dal presupposto che la massima magnitudo del catalogo rappresenti i massimi terremoti possibili.

### **3 Confronti fra le carte di pericolosità**

Le carte delle stime di pericolosità ottenute con le tre metodologie sopra descritte sono state confrontate al fine di individuare e motivare le differenze più importanti. In particolare sono stati condotti due confronti: il primo ha riguardato la carta ufficiale GNDT espressa in termini di PGA con quella di DGA ottenuta col metodo deterministico; il secondo ha riguardato la carta ufficiale GNDT espressa in termini di intensità con quella, sempre in intensità, ottenuta col metodo misto.

I confronti sono stati condotti cercando di individuare prima quale quantità descrivesse meglio le discrepanze tra le carte (differenza algebrica, differenza rapportata ad una delle due grandezze, rapporto tra le grandezze, ecc.). Dopo alcuni test speditivi si è deciso di analizzare in dettaglio la differenza algebrica tra le carte, punto per punto; scegliendo opportunamente le classi in cui raggruppare tali differenze, infatti, è stato possibile individuare punti per i quali le differenze potevano essere considerate trascurabili, punti per i quali le differenze erano lievi e punti per i quali le differenze erano elevate, a prescindere dal valore assoluto che gli stessi punti assumevano.

#### ***3.1 Confronto fra le stime di PGA e quelle di DGA***

Il primo confronto che viene proposto è quello fra i valori di PGA ottenuti con l'MC e quelli di DGA calcolati con il metodo deterministico. Per prima cosa bisogna puntualizzare come le due grandezze rappresentino accelerazioni diverse: PGA è, infatti, l'accelerazione orizzontale di picco con periodo di ritorno 475 anni calcolata trattando in termini probabilistici la sismicità delle varie ZS e tenendo conto della dispersione dei dati su cui è calibrata la relazione di attenuazione; DGA, invece, è l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di progetto EC8, estrapolata dal valore a 1 Hz calcolato tramite modellazione dello scuotimento provocato dal terremoto

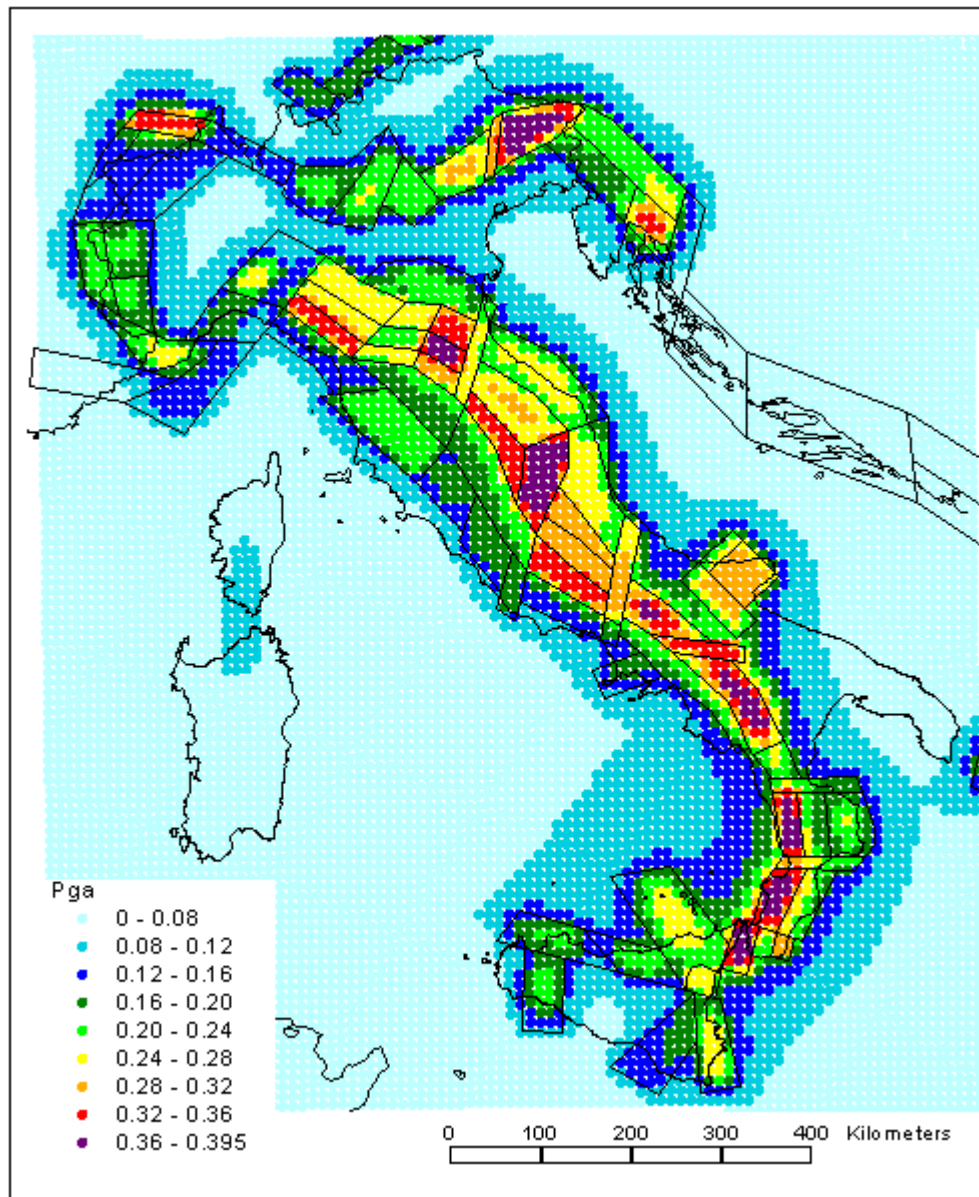


Fig. 2 - PGA con periodo di ritorno 475 anni (da Slejko et al., 1998) calcolata con il metodo di Cornell.

massimo in ogni ZS. Questo comporta che nel calcolo di PGA tutti i terremoti contribuiscono al risultato finale, mentre DGA è calcolato solo sulla base dell'evento massimo.

La Fig. 2 (da Slejko et al., 1998) mostra i valori di PGA ottenuti per l'intero territorio nazionale. E' la rappresentazione esatta del dato che esce dal codice di calcolo utilizzato per tale stima. La griglia di nodi ha un passo di campionamento di 0,1 gradi sia in latitudine sia in longitudine. I valori più alti di PGA, superiori a 0,36 g, sono riscontrabili nell'Appennino meridionale, in quello centrale ed in Friuli.

Tutta la catena appenninica è, comunque, caratterizzata da accelerazioni superiori a 0,24 g. L'influenza della geometria delle ZS sui risultati di pericolosità è chiaramente visibile.

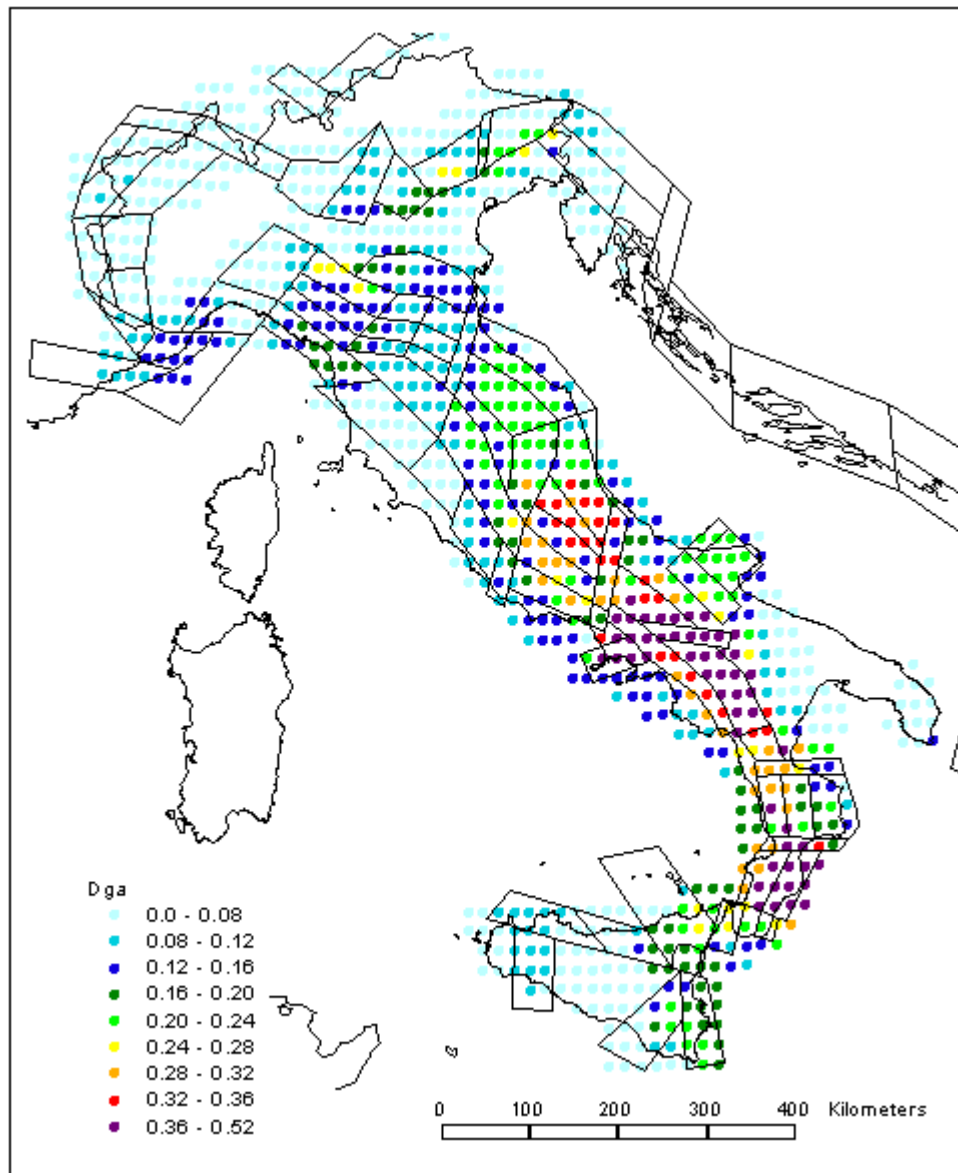


Fig. 3 - DGA calcolata col metodo deterministico (da Panza et al., 1999).

La Fig.3, invece, rappresenta i valori di DGA, stimati con il metodo deterministico, nei nodi della griglia con passo di 0,2 gradi (da Panza et al., 1999). I valori più alti di DGA, superiori a 0,36 g, sono visibili nell'Appennino meridionale ed in Calabria, in corrispondenza delle localizzazioni dei più forti terremoti italiani. Si vede la differenza evidente fra la pericolosità medio bassa, inferiore a 0,24 g, dell'Italia centro-settentrionale, a nord dell'Umbria, da quella alta, superiore a 0,28 g,

dell'Italia meridionale. In ambedue le carte, la Sicilia è caratterizzata da valori relativamente modesti, fatta eccezione per la zona dello stretto di Messina.

Poiché i risultati di PGA e DGA sono stati calcolati su grigliati geografici diversi, è stato necessario ricampionare la matrice di PGA sugli stessi nodi della griglia di DGA: è stata così ottenuta una matrice costituita da 1011, nodi per ognuno dei quali sono disponibili i valori sia di DGA che di PGA.

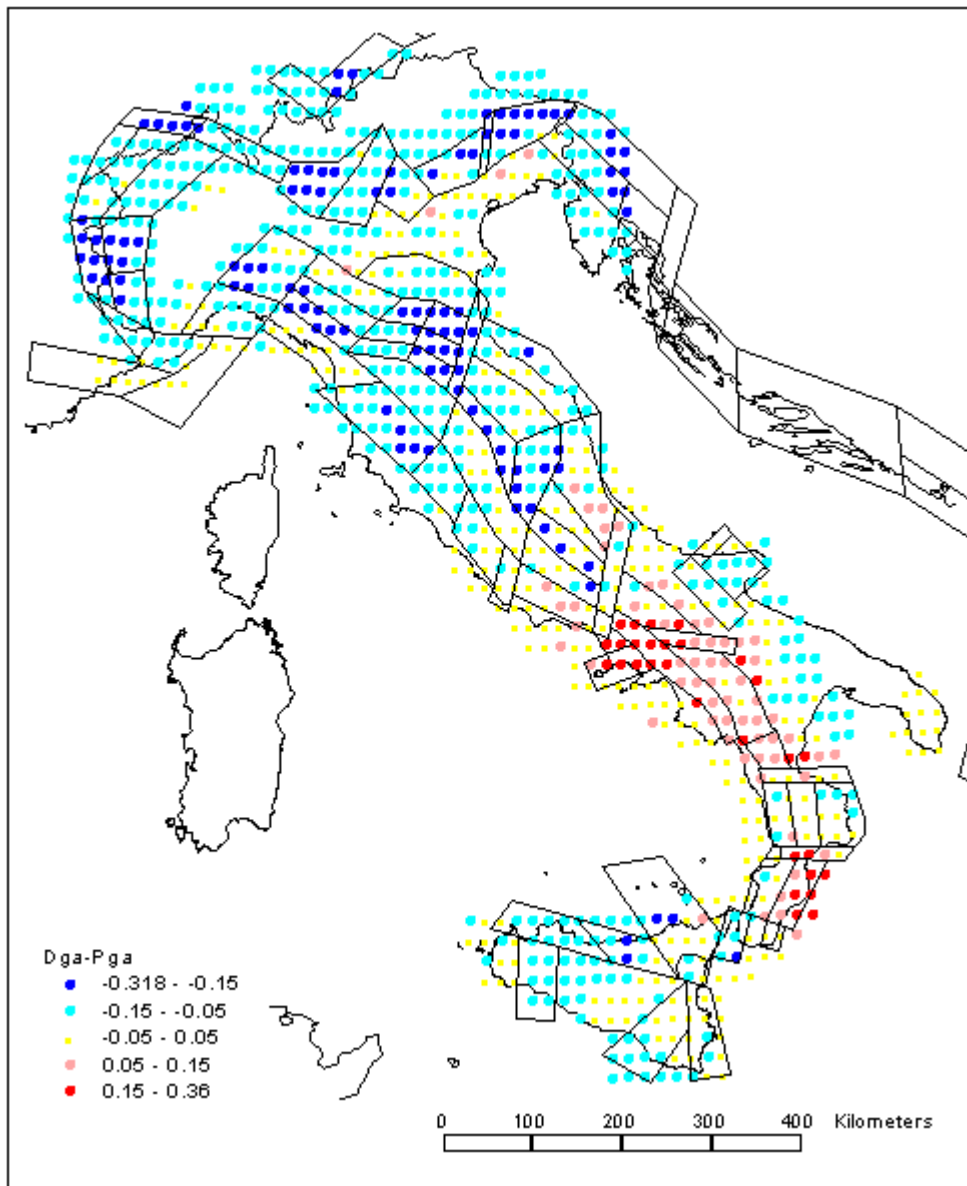


Fig. 4 - Differenza dei valori di DGA e di PGA per il territorio nazionale.

Nella Fig. 4 sono rappresentati i nodi della griglia con colori che indicano le differenze tra le due stime di accelerazione (DGA-PGA, espresse in g); tali differenze sono state raggruppate in 5 classi di colori. Le differenze comprese tra

-0,05 e +0,05 (nodi della griglia colorati in giallo) rappresentano i punti in cui le due stime possono essere considerate equivalenti e pertanto non sono stati oggetto di alcuna analisi dettagliata (statisticamente rappresentano un terzo dei nodi dell'intera griglia). Tutte le altre differenze sono stati raggruppate in 2 classi per i valori negativi ed altre 2 classi, simmetriche, per quelli positivi, secondo la scansione riportata nella legenda della figura. Le due classi estreme di questa classificazione (vale a dire le differenze maggiori di 0,15 g, in valore assoluto) rappresentano differenze molto significative per qualunque valore assoluto di accelerazione e sono state oggetto di un'analisi dettagliata.

### *3.1.1 Punti nei quali DGA è molto maggiore di PGA*

Si tratta dei punti di colore rosso in Fig. 4: sono concentrati nell'Italia meridionale e in particolare in ZS a bassa pericolosità (ad esempio le ZS 56, 57 e 70) oppure sul bordo esterno di ZS ad elevata pericolosità (come nel caso della ZS 63). E' interessante, inoltre, notare come nelle ZS 57, 63 e 64, la differenza tra le due stime sia maggiore subito al di fuori delle zone che non all'interno delle stesse.

La spiegazione che ci sembra di poter proporre da queste osservazioni è che le forti differenze tra le due carte, localizzate poco al di fuori di ZS ad alta pericolosità, derivino dai diversi valori di sismicità che sono stati considerati nei due metodi. Infatti, nella carta di PGA la sismicità viene considerata zona per zona e il tasso di sismicità viene calcolato individualmente per ogni ZS e poi attribuito uniformemente ("spalmato") a tutta la ZS (tenendo conto opportunamente dello spessore dei bordi di zona, vedi Slejko et al., 1998). Nella carta DGA, invece, ad ogni sorgente viene assegnata la magnitudo massima che ricade nel raggio di 3 celle attorno al nodo in esame, vale a dire nel raggio di 0,6 gradi (si leggano maggiori dettagli in Costa et al., 1993; Panza et al., 1996, 1999). In questo modo può avvenire che una magnitudo elevata sia attribuita anche a celle al di fuori della ZS in cui ricade l'epicentro del relativo terremoto e, di conseguenza, si possono generare forti accelerazioni su nodi della griglia distanti, per i quali la carta di PGA, invece, stima valori molto più bassi in quanto esterni alla ZS ad alta sismicità.

### *3.1.2 Punti nei quali PGA è molto maggiore di DGA*

I punti della griglia per i quali i valori di PGA sono molto più elevati di quelli di DGA (punti di colore blu in Fig. 4) sono riscontrabili nell'Italia centro-settentrionale e un settore limitato della Sicilia. Le differenze sono da imputare al fatto che, mentre nella carta di PGA tutta la sismicità contribuisce alla stima di pericolosità, l'approccio deterministico non tiene conto né dei terremoti medio-piccoli né della frequenza del terremoto massimo. In alcuni casi le differenze sono riscontrabili in prossimità dei bordi delle ZS: questo è un chiaro indizio della 'spalmatura' dei tassi di sismicità sulla ZS nell'MC.

Un esempio canonico è dato dalla ZS 04 (Friuli). Essa è caratterizzata da una massima magnitudo osservata medio-alta (6,4) dalla quale è stata stimata una magnitudo massima possibile di 6,7. I tassi di sismicità di tutte le magnitudo considerate nel calcolo di PGA sono, inoltre, piuttosto elevati (vedi Slejko et al.,



1998). La somma dei contributi di tutte le classi di magnitudo porta, pertanto, a superare il valore di DGA calcolato solo considerando la massima magnitudo riportata dal catalogo. Come conseguenza, all'interno di questa ZS si registra la differenza massima tra le due carte ( $DGA-PGA = -0,318$  g).

Casi simili di tassi vivaci di sismicità, però con magnitudo massima osservata media, competono anche alle ZS 03 (in parte), 15, 19, 21, 28, 35, 40, 45 con conseguenti differenze piuttosto sensibili fra le due carte.

Patologie simili (tassi di sismicità vivaci senza elevate magnitudo massime) che però non portano a differenze molto forti fra i risultati di PGA e DGA sono rappresentate dalle ZS 39, 43, 44, 53, 67, 75, 76. In queste ZS le massime magnitudo attribuite dai due diversi metodi sono sensibilmente differenti e portano ad una compensazione delle differenze. A titolo di esempio si fa notare come nella ZS 53 la massima magnitudo usata per la costruzione della carta di PGA sia 5,8, mentre per la carta di DGA è stato usato un valore di 7,3 (terremoto del 1915), importato in questa ZS dalla vicina ZS 51 del Fucino. In alcune di queste zone, in particolare, si può osservare come le due diverse tendenze (alta DGA, provocata da una forte magnitudo in ZS limitrofa, ed alta PGA, causata da tassi di sismicità elevati) si mescolino in maniera tale che all'interno di una stessa ZS si passi da valori maggiori di DGA (laddove si è più vicini al forte terremoto) e valori più o meno simili, fino a valori decisamente maggiori di PGA. Questo fenomeno è molto evidente nella ZS 53 e in misura minore nella ZS 67.

Un'ultima situazione particolare, con conseguenti differenze sensibili fra le due carte, riguarda le ZS 36, 37 e 38. Sono queste 3 zone di dimensioni ridotte e confinanti tra loro. In questo caso gli alti valori presenti nella carta di PGA derivano da un effetto di 'cumulo' tra le 3 zone. Ciò significa in altre parole che la pericolosità di queste ZS risente contemporaneamente dei contributi di sismicità di tutte e tre le zone. Va a questo riguardo ricordato che nella carta di PGA (Fig. 2) questi stessi punti risultano tra quelli con i valori più elevati di tutta Italia.

### *3.1.3 Considerazioni*

Le differenze tra le due stime di pericolosità sono ricondotte in gran parte alle diversità insite nei due metodi di calcolo, sia in termini di approccio, sia in termini di scelte di parametri di input che stanno alla base dei metodi. Le differenze sono, perciò, principalmente da imputare al fatto che, mentre nell'MC tutta la sismicità della ZS contribuisce alla stima della sua pericolosità, l'approccio deterministico non tiene conto della frequenza dei terremoti. Bisogna, ancora, ricordare che nell'approccio deterministico la magnitudo massima usata per calcolare lo scuotimento viene distribuita intorno al suo epicentro a prescindere dalle ZS e quindi anche al di fuori della ZS di pertinenza di un certo evento.

### **3.2 Confronto fra le stime di intensità ottenute con l'approccio di Cornell e quelle calcolate col metodo misto**

Il secondo confronto proposto riguarda i risultati in intensità ottenuti rispettivamente con l'MC e con il metodo misto. Dal punto di vista formale possiamo

dire che i due metodi differiscono solo per il diverso modo di rappresentare gli intertempi fra i terremoti al sito: il metodo misto (Grandori et al., 1984) non li considera necessariamente distribuiti poissonianamente ma calcola la funzione di distribuzione direttamente dalle osservazioni.

Dal punto di vista operativo, nel calcolo degli intertempi le intensità al sito non sono calcolate a partire dalla sismicità distribuita uniformemente sulla ZS ma vengono considerati gli epicentri quali sorgenti sismiche e le intensità minori del 5 MCS sono state fissate a 5 (Petrini, 1995). In ambedue le carte prodotte i risultati del calcolo sono riferiti ai comuni ed i gradi intermedi di intensità sono stati approssimati al grado intero più vicino. Sono significativi, dunque, solo i valori maggiori di 5 MCS. Prendendo in considerazione le località per cui l'intensità è maggiore di 5, si ottengono le stime per 6961 comuni; per essi sono disponibili anche le stime ottenute con l'MC in cui pure i gradi intermedi di intensità sono stati approssimati al grado intero.

La Fig. 5 mostra i risultati (da Slejko et al., 1998) ottenuti secondo l'MC: la pericolosità maggiore rimane localizzata in Umbria, nell'Appennino meridionale e lungo l'Arco Calabro ed in una piccola porzione del Friuli occidentale con valori superiori al 9 MCS.

La Fig. 6 illustra i risultati ottenuti con il metodo misto (Petrini, comunicazione personale). Alcuni comuni dell'Italia centrale, dell'Irpinia, della Calabria e della Sicilia orientale sono caratterizzati dai valori più alti (superiori al 9 MCS). E' interessante segnalare che solo in questa stima valori alti di pericolosità rimangono associati a comuni siciliani lontani dallo stretto di Messina.

Per soli 750 comuni la differenza fra le due stime è superiore ad un grado MCS (Fig. 7). Più precisamente, il metodo misto fornisce valori maggiori in 291 comuni e valori minori in 459 comuni. Le differenze maggiori di 2 gradi MCS si riferiscono a 26 comuni. Queste differenze maggiori sono state analizzate in dettaglio.

### *3.2.1 Punti nei quali il metodo misto fornisce le stime maggiori*

Per i comuni di Ustica, Pantelleria, Lampedusa, Ponza ed Albano Laziale le stime del metodo misto (con valori tra 7 e 8 MCS, salvo Albano Laziale dove l'intensità è 9,66 MCS) sono risultate maggiori di oltre 2 gradi alle stime secondo l'MC.

#### *3.2.1.1 Albano Laziale ed in generale ZS43*

La forte differenza ad Albano Laziale (l'intensità stimata col metodo misto è 9,7 mentre con l'MC solo 7,3) non sembra dipendere dalla diversa relazione di attenuazione usata perché quella considerata nel metodo misto attenua persino più velocemente con la distanza rispetto a quella utilizzata nell'MC (Fig. 8) e, comunque, le differenze sono riscontrate all'interno della ZS. Non è d'altronde comprensibile una così alta valutazione dell'intensità attesa col metodo misto poiché il massimo terremoto della ZS ha intensità epicentrale ( $I_0$ ) 7,5 MCS e terremoti con  $I_0$  maggiore o uguale a quella attesa nella località di Albano Laziale (e che quindi riportati al sito possano produrre un'intensità tale, anche senza considerare la

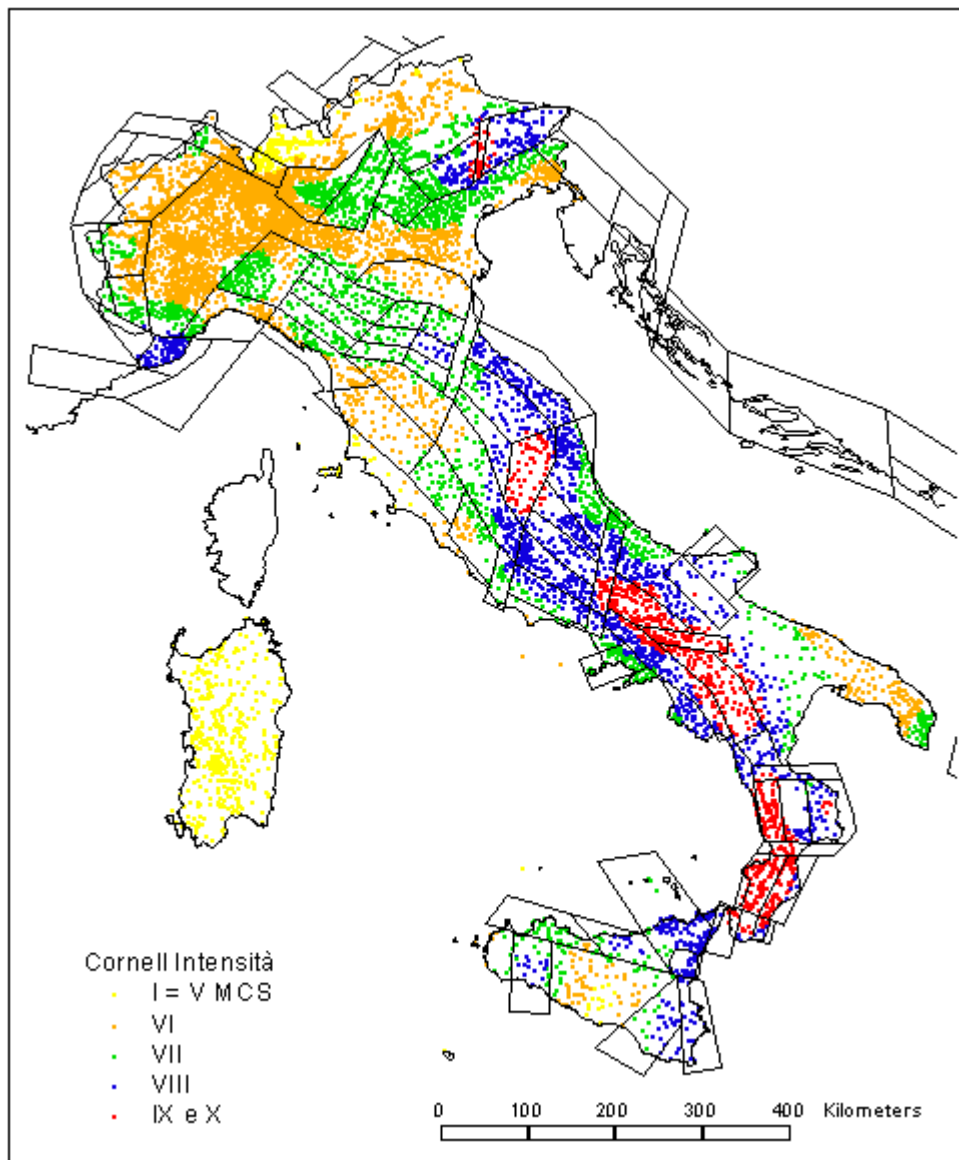


Fig. 5 – Intensità attesa con periodo di ritorno 475 anni (da Slejko et al., 1998) calcolata con il metodo di Cornell.

probabilità di occorrenza) sono a distanze intorno ai 70 km. E' il caso del terremoto del 1915 con  $I_0$  uguale a 11 MCS e del terremoto del 1349 con  $I_0$  pari a 9-10 MCS. I tassi di sismicità considerati sono, però, profondamente diversi. Infatti, il metodo misto considera 12 eventi in 100 anni per  $5,5 \leq I_0 \leq 7,0$  mentre nell'MC vengono considerati soltanto 10 eventi in 100 anni per l'intervallo più ampio  $4,5 \leq I_0 \leq 7,0$ .

### 3.2.1.2 Ponza e le altre isole

Nel caso delle isole distanti dalla terra ferma si hanno elevate valutazioni dell'intensità attesa col metodo misto rispetto alle stime dell'MC. Va però osservato

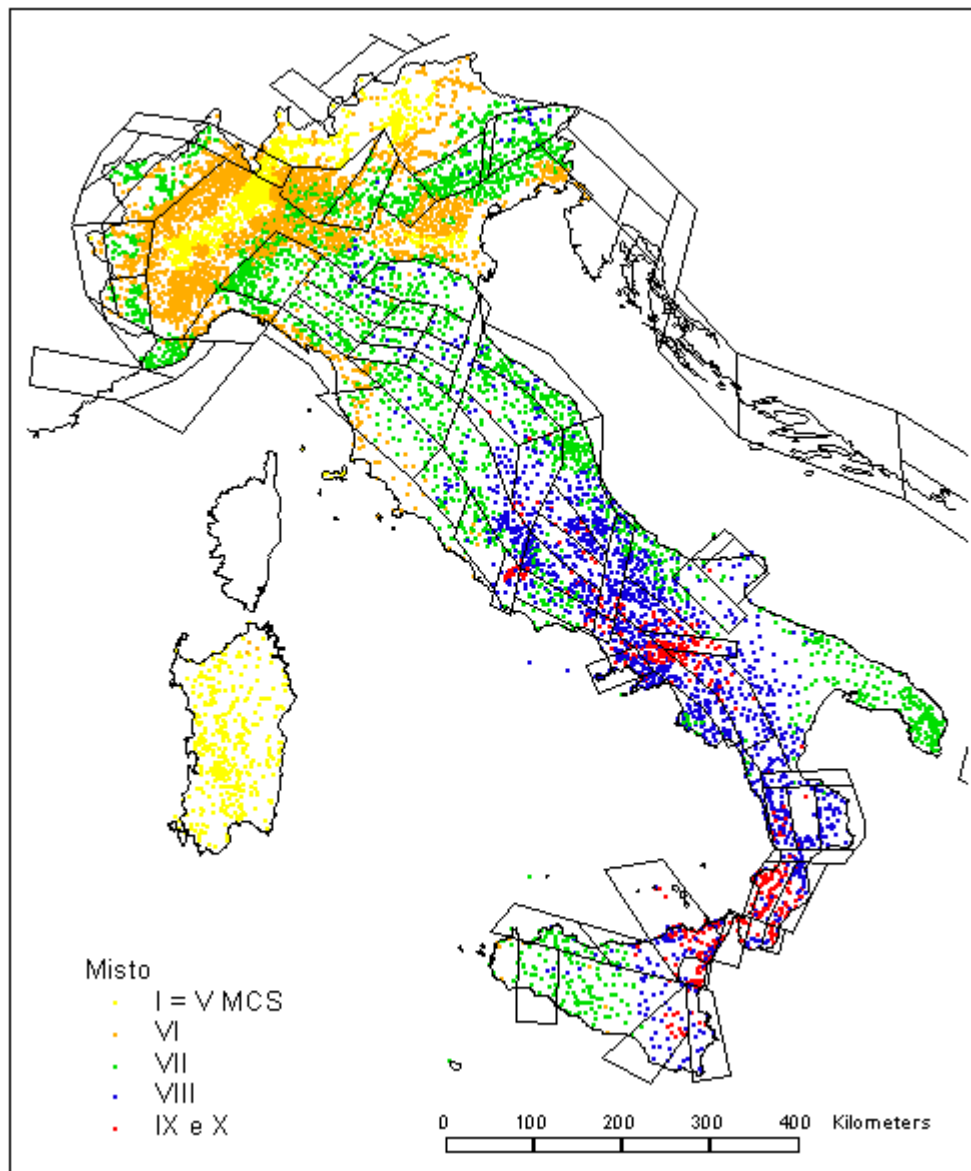


Fig. 6 - Intensità attesa con periodo di ritorno 475 anni (Petrini, comunicazione personale) calcolata con il metodo misto (Grandori et al., 1984).

come nell'approccio misto la distribuzione degli intertempi venga calcolata dal riporto al sito di tutti i dati epicentrali contenuti in catalogo tramite opportune relazioni di attenuazione. Osservando il catalogo NT (Camassi e Stucchi, 1996) si nota come in corrispondenza di queste isole siano localizzati dei terremoti, ma di intensità epicentrale sempre minore delle stime di pericolosità. Nella tabella che segue sono state comparate le intensità stimate con i due approcci in queste località e le intensità epicentrali degli eventi localizzati in loro prossimità.

<b>Comune</b>	<b>I misto</b>	<b>I MC</b>	<b>Io NT 4.1.1</b>
Ponza	7,8	5,6	6
Ustica	7,5	5,3	6,5
Pantelleria	7,0	4,3	6
Lampedusa	6,4	4,1	--

Non sembra quindi di poter affermare che queste intensità derivino dal riporto al sito di eventi localizzati negli stessi comuni. Le forti differenze di valutazione per queste località sono, dunque, di difficile spiegazione perché sono di difficile comprensione gli alti valori ottenuti col metodo misto: per esempio il 7 MCS a Pantelleria, distante circa 100 km dalla ZS77 che ha intensità massima pure 7. Nel caso di Ponza è stato verificato se tale intensità non potesse derivare dalle ZS più prossime a questa località: nella ZS56 la località Forio d'Ischia ha intensità 8,0, mentre nella ZS49 Minturno ha intensità di 8,5. Entrambe le intensità, riportate a Ponza con le relazioni di attenuazione proprie delle rispettive ZS e considerando le distanze da Ponza (rispettivamente 76 e 78 km), avrebbero avuto un decremento superiore a 5 gradi nel primo caso e di 3,7 gradi nel secondo.

### *3.2.1.3 Salento*

In Salento si osservano una ventina di comuni per i quali la differenza di intensità tra le due stime è superiore a 1 grado MCS. Mediamente l'intensità attesa è di 7 MCS secondo l'approccio misto e di 6 MCS con l'MC. In questa area sono presenti in catalogo due eventi con intensità epicentrale uguale a 6,5. Anche ammettendo che nel codice di calcolo del metodo misto le intensità intermedie vengano approssimate al grado superiore, non si riesce a spiegare un'intensità al sito superiore a quella epicentrale. Neanche in questo caso le differenze possono essere spiegate dai contributi di ZS circostanti. Infatti, le leggi di attenuazione utilizzate in ambedue gli approcci sono molto simili per tutte le ZS influenti. Nel caso della ZS63, addirittura, l'attenuazione usata nel metodo misto è più rapida. Se si considera la ZS80 ionica come possibile sorgente di queste elevate intensità, si nota come località distanti da questa zona fino a 180 km abbiano in Fig. 6 la stessa intensità, mentre dalla legge di attenuazione ci si aspetterebbe un decremento non inferiore a 2 gradi. D'altra parte, considerando l'evento massimo della ZS80, quello del 1743 (Io = 10,5), le località costiere della Puglia dovrebbero avere delle intensità molto più elevate.

Si può, quindi, ipotizzare un'influenza su queste stime delle ZS appenniniche, anche se non è ben chiaro attraverso quali meccanismi.

### *3.2.2 Punti nei quali il metodo misto fornisce le stime minori*

Passiamo ora ad analizzare quelle aree in cui le stime ottenute con l'MC sono maggiori almeno di 1 grado MCS rispetto ai risultati del metodo misto. Per 21 comuni della ZS5 (Bellunese-Cansiglio, fra questi Vittorio Veneto e Longarone), in particolare, questa differenza è superiore a 2 gradi MCS: per essi l'intensità stimata con l'MC è intorno a 9 MCS mentre col metodo misto si ottengono valori intorno a 7.

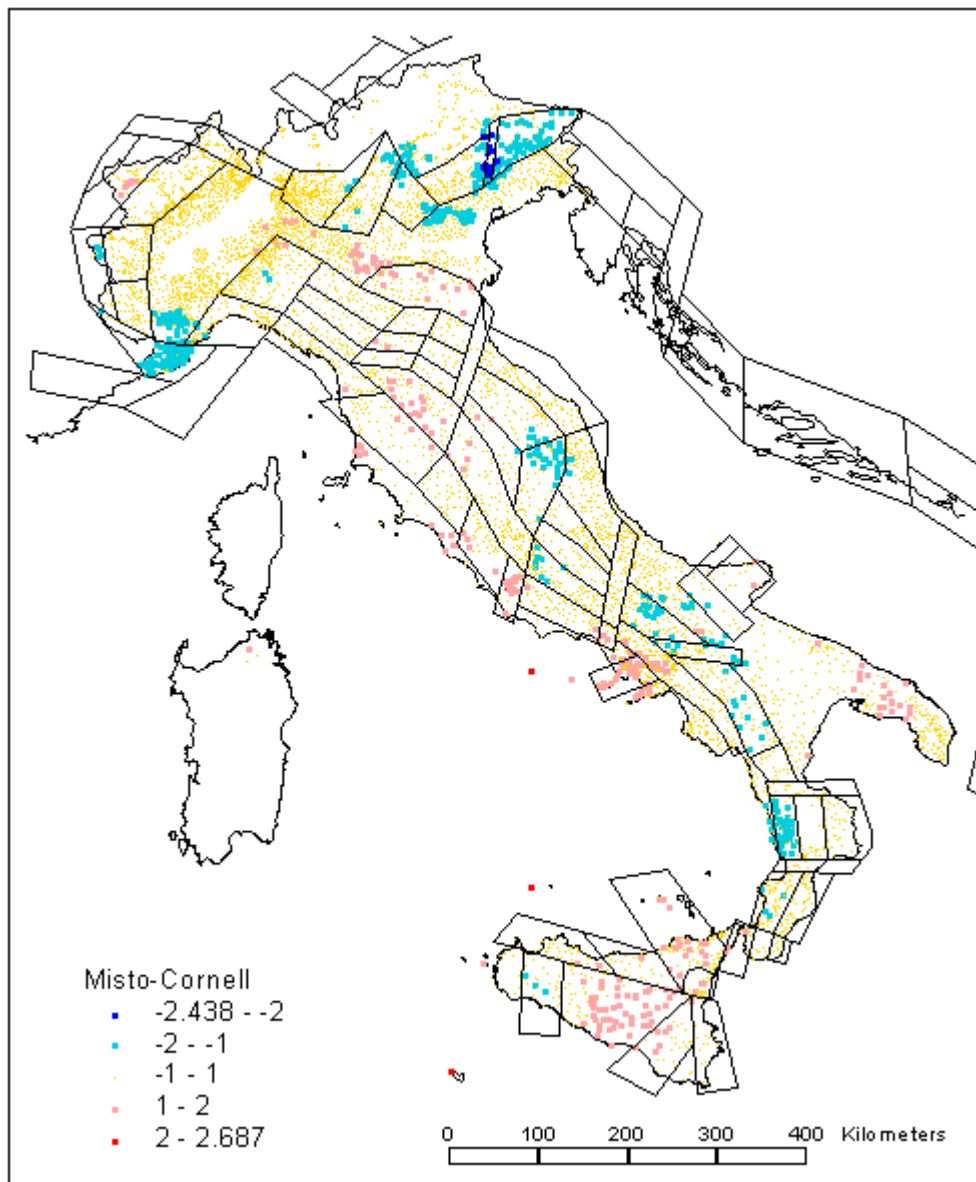


Fig. 7 - Differenza fra le intensità calcolate col metodo misto e con il metodo di Cornell.

### 3.2.2.1 Consiglio (ZS5)

All'interno di questa ZS i comuni hanno un'intensità attesa intorno a 7 MCS secondo l'approccio misto e di poco superiore a 9 secondo l'MC. Le differenze riscontrate paiono derivare prevalentemente dai tassi di sismicità molto diversi usati nelle due elaborazioni.

Nelle stime col metodo misto il numero di eventi in 100 anni con  $I_0 \geq 9$  è, infatti, 0,047 mentre è 1,1 nell'MC (vedi Fig. 12b in Slejko et al., 1998). Considerando la fascia inferiore di intensità si hanno, invece, 4,8 eventi in 100 anni con  $5,5 \leq I_0 \leq 7$  per il metodo misto e 9 eventi con  $4,5 \leq I_0 \leq 7$  nello stesso periodo di

tempo per l'MC (Fig. 12a di Slejko et al., 1998). Considerando che entrambi gli approcci utilizzano lo stesso catalogo e la stessa zonazione pensiamo che queste differenze derivino dal fatto che nell'approccio misto viene considerato completo il catalogo a partire dall'anno 1000 per  $I_o \geq 9$ , mentre per Slejko et al. (1998) i tassi sono maggiormente cautelativi. Risulta pertanto importante la presenza nel catalogo di forti terremoti recenti che possono modificare sostanzialmente il tasso di sismicità assunto.

A questo proposito va osservato come la sismicità all'interno di questa ZS sia caratterizzata da eventi tutti successivi al 1850 e con ben 2 eventi di  $I_o \geq 9$  MCS (1873 con  $I_o = 9-10$ , 1936 con  $I_o = 9$ ) negli ultimi 120 anni su un totale di 7 eventi.

#### 3.2.2.2 Imperia (ZS22)

In questa ZS molti comuni presentano un'intensità compresa tra 6 e 6,5 secondo il metodo misto (Fig. 6) che è inferiore di 1-2 gradi rispetto alle stime dell'MC (Fig. 5). Vale anche qui lo stesso tipo di considerazioni fatte per il Cansiglio; in questo caso il numero di eventi in 100 anni con  $I_o \geq 9$  utilizzato è 0,12 nell'approccio misto contro 0,4 nell'MC.

Anche questa ZS è caratterizzata da un unico forte evento che si è verificato negli ultimi 100 anni, vale a dire il terremoto del 1887 con  $I_o = 9-10$  MCS.

#### 3.2.2.3 Calabria (ZS66)

Come nel caso precedente, le intensità sono diverse di più di un grado MCS. Ciò deriva dal numero di eventi in 100 anni con  $I_o \geq 9$  che è significativamente differente: 0,52 e 1,3 rispettivamente per Petrini (comunicazione personale) e Slejko et al. (1998).

In questa ZS la sismicità è caratterizzata dal forte evento del 1638 ( $I_o = 11$  MCS) e da 3 eventi con  $I_o = 9-10$  MCS (1184, 1854, 1870) di cui due relativamente recenti.

#### 3.2.2.4 Friuli (ZS4)

I comuni di questa ZS hanno un'intensità stimata intorno a valori di 7 per il metodo misto (Fig. 6) e superiori a 8 per l'MC (Fig. 5), derivanti dai tassi di sismicità associati per  $I_o \geq 9$  rispettivamente di 0,37 e 0,6. Anche considerando la classe di intensità successiva ( $I_o = 8-9$  MCS) il numero di terremoti considerati nel metodo misto risulta inferiore e deriva dalla diversa valutazione dei periodi di completezza.

### 3.2.3 Considerazioni

A conclusione delle precedenti analisi si osserva come le differenze maggiori siano localizzate o al di fuori delle ZS, cioè si trovino nel cosiddetto background, o in ZS a bassa sismicità quando le intensità calcolate col metodo misto sono superiori a quelle dell'MC e la spiegazione risulta ancora oscura. Quando le stime dall'MC sono maggiori, la spiegazione è individuabile nella differente valutazione di

completezza del catalogo che determina i tassi di sismicità, valutazioni sensibilmente diverse soprattutto per le intensità maggiori.

#### 4 Conclusioni

I risultati di pericolosità ottenuti seguendo diversi approcci sono, tutto sommato, abbastanza simili e le differenze sono ampiamente giustificate dalle diversità metodologiche. Piace segnalare la similitudine fra i risultati in intensità, motivata dall'aver applicato due metodologie che presentano diversi punti comuni. Le differenze più evidenti fra le due carte di accelerazione (MC e approccio deterministico) sembrano derivare sia dall'aver considerato grandezze diverse (PGA e DGA) sia dal fatto che l'approccio deterministico fornisce una sommatoria di scenari di scuotimento piuttosto che una carta di pericolosità sismica nell'accezione canonica del termine.

#### Bibliografia

- Bender B. and Perkins D.M.; (1987): Seisrisk III: a computer program for seismic hazard estimation. *U.S. Geological Survey Bulletin* 1772, 48 pp.
- Camassi R. and Stucchi M.; (1996): NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. *Rapporto interno GNDT*, Milano, 86 pp.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**, 1583-1606.
- Costa G., Panza G.F., Suhadolc P. e Vaccari F., (1993): Zoning of the Italian territory in terms of expected peak ground acceleration derived from complete synthetic seismograms. *J. Appl. Geophys.*, **30**, 149-160.
- Giardini D.; (1999): The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) - 1992/1999. *Annali di Geofisica*, **42**, 957-974.
- Grandori G., Guagenti E., Petrini V., (1984): On the Use of Renewal Processes in Seismic Hazard Analysis. *Proc. 8th World conf. on Earthquake Engineering*, **1**, 287-294.
- Meletti C., Patacca E., Scandone P., (2000): Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pageoph*, **157**, 11-35.
- Panza G.F., Vaccari F., Costa G., Suhadolc P. e Fäh D., (1996): Seismic input modelling for zoning and microzoning. *Earthquake Spectra*, **12**, 529-566.
- Panza G.F., Vaccari F. e Cazzaro R., (1999): Deterministic seismic hazard assessment. In F. Wenzel et al. (Eds), *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, *Kluwer Academic Publishers*, The Netherlands, 269-286.
- Petrini V., (1995): Pericolosità sismica e prime valutazioni di rischio in Toscana. *CNR Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico / Regione Toscana - Dipartimento Ambiente*.
- Rebez A, Peruzza L. and Slejko D.; (1999): Spectral probabilistic seismic hazard assessment for Italy. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, **40**, 31 - 51.
- Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N., Santini U., (1992): Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. *Atti del Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Pisa, 25-27 giugno 1990)*, **1**, Ed. Ambiente - Bologna 1992, 119-135.
- Slejko D., Peruzza L. and Rebez A.; (1998): Seismic hazard maps of Italy. *Annali di Geofisica*, **41**, 183 - 214.