

SCUOTIBILITÀ SISMICA
DELL'AREA DI MONTIGNOSO - PIETRASANTA

Paolo Scandone

Professore Ordinario di Geologia Regionale

e-mail: scandone@dst.unipi.it

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Paolo Scandone', with a stylized flourish at the end.

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa

Via Santa Maria 53

56100 Pisa

Pisa, Settembre 2009

Indice

<u>1. Introduzione</u>	pag. 5
<u>2. Inquadramento geologico dell'area della discarica</u>	6
<u>3. Quadro sismotettonico della Versilia</u>	7
<u>3.1. Evidenze geologiche portate a sostegno dell'esistenza di faglie attive lungo il margine orientale del Bacino di Viareggio</u>	8
<u>3.2. Evidenze geologiche che negano l'esistenza di faglie attive lungo il margine orientale del Bacino di Viareggio</u>	9
<u>3.3. Evidenze sismologiche portate a sostegno di una pericolosità sismica elevata nell'area della discarica</u>	12
<u>3.4. Discussione sulle presunte evidenze sismologiche a sostegno di una pericolosità sismica elevata nell'area della discarica</u>	13
<u>4. Lo scuotimento sismico atteso nell'area di Montignoso-Pietrasanta</u>	17
<u>5. Considerazioni conclusive</u>	21
<u>Riferimenti bibliografici</u>	22

Figura 1. Particolare della Carta Geologica del Parco delle Alpi Apuane (CARMIGNANI *et al.* 2000) a cavallo della città di Massa. La discarica ex Cava Viti si trova in corrispondenza dell'estremità sud-orientale dell'area rappresentata in figura, all'interno di rocce carbonatiche del Trias superiore della Falda Toscana indicate nella carta geologica con le sigle "cv" e "cr". 7

Figura 2. Particolare dei Fogli 1 e 3 del Modello Strutturale d'Italia (CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1990, 1992) mostrante lo spessore (isocronopache in tempi doppi) dei depositi plio-quadernari che riempiono il Bacino di Viareggio e le faglie che bordano il bacino stesso.. 8

Figura 3. Particolare della Carta Cinematico-Strutturale d'Italia mostrante il margine orientale del Bacino di Viareggio schematizzato attraverso una faglia normale di età indefinita (CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1991). 9

Figura 4a. Profilo sismico a riflessione muto, presentato da Marroni, Pandolfi & Rosi come prova dell'esistenza di faglie attive in un'area prossima alla discarica ex Cava Viti. In Figura 4b viene presentato lo stesso profilo con un'interpretazione che mostra come le faglie siano suture dai depositi quadernari. 11

Figura 5. Terremoti registrati dalla rete INGV tra il 1981 e il 2002 (fonte dei dati: <http://csi.rm.ingv.it/>). 5a: tutti gli eventi; 5b: eventi con magnitudo maggiore o uguale a 3, con esclusione quindi degli eventi che non hanno raggiunto la soglia di percezione. 13

<p>Figura 6. Terremoti registrati dalla rete INGV tra il 1981 e il 2002 (fonte dei dati: http://csi.rm.ingv.it/). 6a: eventi con magnitudo maggiore o uguale a 4; 6b: eventi con magnitudo maggiore o uguale a 5. E' stato evidenziato il limite comunale di Montignoso come elemento di riferimento. Si tenga presente che magnitudo inferiori a 4.5 di regola non raggiungono la soglia del danno (intensità VI-VII MCS).</p>	14
<p>Figura 7. Terremoti italiani con intensità epicentrale maggiore o uguale al VI-VII grado MCS (fonte dei dati: GRUPPO DI LAVORO CPTI 2004).</p>	14
<p>Figura 8. Piano quotato delle intensità del terremoto della Garfagnana del 7 settembre 1920 (fonte dei dati: BOSCHI <i>et al.</i> 1995).</p>	15
<p>Figura 9. Piani quotati dei principali terremoti della Garfagnana-Lunigiana (dati originali in BOSCHI <i>et al.</i> 1995 e in MONACHESI & STUCCHI 1997). In Figura 9a sono riportati terremoti del 1481, 1545, 1740, 1834, 1837, 1902 e 1903; in Figura 9b sono riportati gli stessi eventi più il terremoto del 1920 che rappresenta il massimo storico nell'area. Per comodità di lettura è stato evidenziato il contorno del comune di Montignoso.</p>	16
<p>Figura 10. Prima zonazione sismica della penisola italiana (da SCANDONE <i>et al.</i> 1992). 1) zone in estensione; 2) zone in compressione; 3) fasce di trasferimento estensione-estensione, estensione-comprensione e compressione-comprensione; 4) zone sismogenetiche delle aree di avampaese del Gargano e degli Iblei e zona sismogenetica della Sicilia occidentale. La Versilia, con la sua bassissima sismicità, con è inclusa tra le zone sismogenetiche.</p>	18
<p>Figura 11. Zonazione sismogenetica SZ4 dell'aprile 1996 (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Unità di Ricerca del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, Responsabile P. Scandone). Le zone sismogenetiche dell'Appennino settentrionale e centrale, indicate in verde, sono legate allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica sotto la catena, con strutture compressive lungo la fascia nord orientale (zone 30, 35, 38, 39, 48 e 53), distensive lungo la zona assiale (zone 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 44, 45, 46, 47, 50, 51 e 52) e trascorrenti lungo le fasce di trasferimento trasversali. La Versilia rientra nelle zone sismogenetiche 27 e 31. In quest'area sono attesi terremoti di magnitudo non superiore a 4.6 e meccanismi focali di tipo <i>dip-slip</i> con assi T orientati SW-NE.</p>	18
<p>Figura 12. Esempio di carta della pericolosità del territorio italiano basata sulla Zonazione ZS4, in un'elaborazione "di consenso" tra il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e il Servizio Sismico Nazionale (da ALBARELLO <i>et al.</i> 2000).</p>	19

Figura 13. Zonazione sismogenetica ZS9 (da MELETTI & VALENSISE 2004).	20
Figura 14. Carta della pericolosità del territorio italiano basata sulla Zonazione ZS9 (da GRUPPO DI LAVORO MPS 2004).	20
Figura 15. Confronto sull'area della discarica tra la carta di Figura 12 e la carta di Figura 14.	21

SCUOTIBILITÀ SISMICA DELL'AREA DI MONTIGNOSO-PIETRASANTA

1. Introduzione

La presente relazione risponde ad una richiesta di collaborazione scientifica da parte della S.p.A. Programma Ambiente Apuane formulata in data 24 agosto 2009, finalizzata alla definizione del quadro sismotettonico della fascia costiera della Versilia e alla prognosi dello scuotimento sismico atteso nell'area di Montignoso-Pietrasanta, con particolare riferimento alla località Porta ove è ubicata la discarica per rifiuti non pericolosi (ex Cava Viti) gestita dalla società che ha richiesto questo parere tecnico-scientifico.

Questo studio fa seguito ad una precedente relazione predisposta dal prof. M. Marroni, dal dr. L. Pandolfi e dal prof. M. Rosi dell'Università di Pisa presentata dal prof. M. Marroni a nome del Dipartimento di Scienze della Terra il 4 giugno 2009, in occasione della seconda seduta dell'Udienza Generale dell'Inchiesta Pubblica sulla discarica. In questa relazione veniva affermato che l'area circostante la discarica è *“caratterizzata dalla presenza di faglie dirette che appartengono al sistema che delimita il bacino di Viareggio e che in base alle evidenze geologiche e sismologiche possono essere considerate appartenenti ad un sistema ancora attivo”*. Il rischio sismico legato alla presenza di faglie attive, e quindi potenzialmente sismogenetiche, sarebbe aggravato, sempre secondo la citata relazione, dalla *“vicinanza di una delle zone sismiche della Toscana a maggiore pericolosità sismica, vale a dire l'area della Lunigiana-Garfagnana dove storicamente si sono verificati terremoti distruttivi che hanno interessato anche Montignoso”*.

Nel corso del Contraddittorio tra tecnici svoltosi nell'Udienza Tecnica del 26 giugno 2009 il dr. C. Turba presentava una dettagliata relazione tecnica in risposta alle affermazioni contenute nella presentazione del prof. Marroni. Questa relazione mostrava un quadro della pericolosità sismica dell'area sostanzialmente diverso da quello prospettato nella relazione Marroni, Pandolfi & Rosi, con un forte ridimensionamento della severità dello scuotimento atteso. L'ascolto della registrazione integrale della Seduta dimostra, tuttavia, che nel corso del Contraddittorio è mancato un reale confronto tra tecnici, con la parte avversa alla discarica che si è limitata a riaffermare quanto già sostenuto nella relazione presentata nel corso della seconda seduta dell'Udienza Generale senza controbattere nello specifico le argomentazioni del dr. Turba, e addirittura enfatizzando la situazione di elevata pericolosità sismica legata alle faglie attive che borderebbero il Bacino di Viareggio.

In assenza di un esauriente confronto tecnico-scientifico, la persistenza di una profonda disparità di giudizio sullo stesso oggetto tra esperti appartenenti al mondo universitario ed esperti appartenenti al mondo dei geologi professionisti porta necessariamente ad una situazione di non chiarezza che non può restare irrisolta a fronte di un problema così delicato come il rischio sismico di un'area fortemente antropizzata. Per approfondire il dibattito tecnico-scientifico sul tema, la S.p.A. Programma Ambiente Apuane ha richiesto un nuovo parere "accademico" sulla scuotibilità sismica dell'area.

Tutti i documenti pregressi relativi all'Inchiesta Pubblica sulla discarica per rifiuti non pericolosi ex Cava Viti sita in località Porta, ivi inclusa la registrazione integrale degli interventi, sono disponibili sul sito della Provincia di Massa-Carrara all'indirizzo <http://gisnetwork.provincia.ms.it/VIA/CavaViti/InchiestaPubblicaviti/tabid/158/Default.aspx>. A questi documenti si farà frequentemente riferimento nella presente relazione. Nelle pagine che seguono verranno trattati nell'ordine i seguenti argomenti:

- Inquadramento geologico dell'area della discarica
- Quadro sismotettonico della Versilia
- Scuotimento sismico atteso nell'area di Montignoso-Pietrasanta.

Saranno infine espresse alcune osservazioni di carattere generale sul problema rischio sismico.

2. Inquadramento geologico dell'area della discarica

L'ex Cava Viti, attualmente adibita a discarica per rifiuti non pericolosi, è ubicata nei Calcari a *Rhaetavicula contorta* del Trias superiore (Retico) che in corrispondenza dell'attuale piano di cava passano inferiormente con gradualità alla Formazione del "Calcare Cavernoso" anch'essa del Trias superiore (Norico superiore-Retico). I Calcari a *Rhaetavicula contorta* e il "Calcare Cavernoso" costituiscono i termini più bassi della Falda Toscana e nell'area di studio affiorano in una stretta fascia ad andamento NW-SE compresa tra i terreni metamorfici dell'Unità di Massa (allineamento Monte Brugiana-Monte Belvedere) e i depositi quaternari della fascia costiera versiliese (Figura 1). I terreni dell'Unità di Massa, tettonicamente sottostanti la Falda Toscana, sono stati raggiunti da un sondaggio in cava (Porta 10) a modesta profondità. A nord di Massa è esposta una faglia d'importanza regionale, nota come Faglia della Foce (linea rossa spessa in Figura 1), che disloca l'intero margine sud-occidentale delle Alpi Apuane e ribassa verso mare i termini più alti della successione toscana non metamorfica (Formazione del Macigno, di età oligo-miocenica indicato in carta con la sigla "mg") con al di sopra lembi di terreni riferibili alle

unità liguri. La Faglia della Foce fa parte del sistema di faglie dirette che limita ad oriente il ben noto Bacino di Viareggio (CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1990, 1992; PASCUCCI 2005) sul quale torneremo più volte nelle prossime pagine.

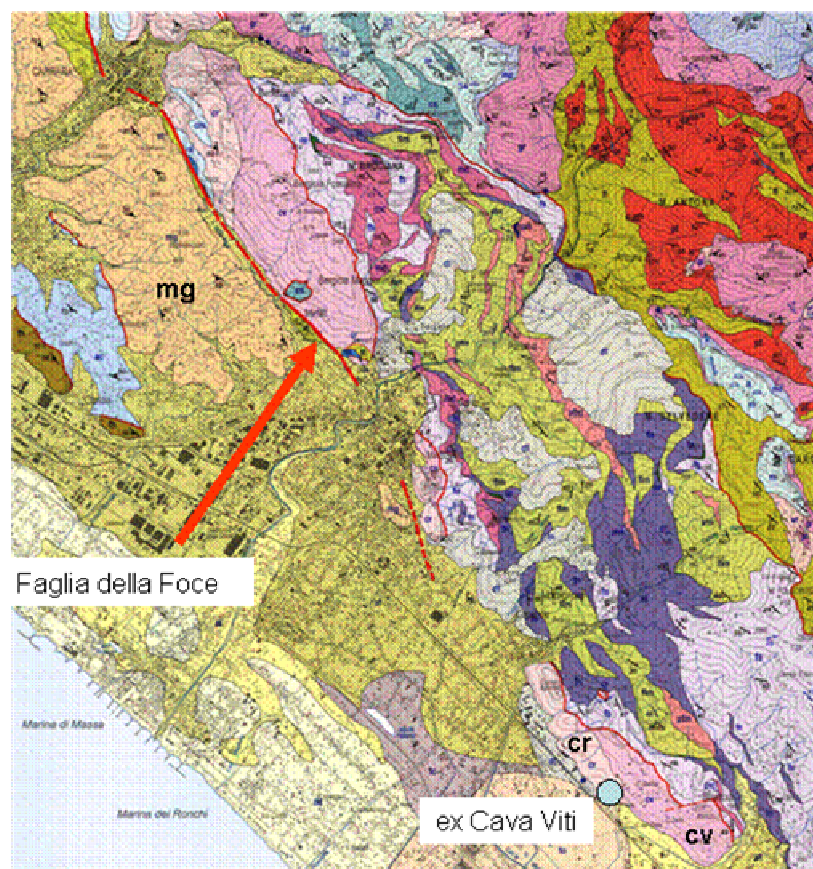


Figura 1. Particolare della Carta Geologica del Parco delle Alpi Apuane (CARMIGNANI *et al.* 2000) a cavallo della città di Massa. La discarica ex Cava Viti si trova in corrispondenza dell'estremità sud-orientale dell'area rappresentata in figura, all'interno di rocce carbonatiche del Trias superiore della Falda Toscana indicate nella carta geologica con le sigle "cv" e "cr".

3. Quadro sismotettonico della Versilia

La fascia costiera della Versilia corrisponde alla terminazione orientale del Bacino di Viareggio, un bacino neogenico-quadernario di tipo "half Graben" limitato ad oriente da un sistema listrico di faglie dirette che si estende dall'*off-shore* di Marina di Massa al margine settentrionale delle Secche della Meloria (*off-shore* livornese) per una lunghezza di circa 60 chilometri e una larghezza di 40 (Figura 2). Nella sua porzione più subsidente il Bacino di Viareggio è stato riempito da alcune centinaia di metri di sabbie ed argille messiniane e da oltre 2000 metri di sedimenti clastici plio-quadernari.

Nella relazione di Marroni, Pandolfi & Rosi viene affermato che sulla base di evidenze geologiche e sismologiche le faglie bordiere del Bacino di Viareggio possono essere considerate appartenenti ad un sistema ancora attivo.

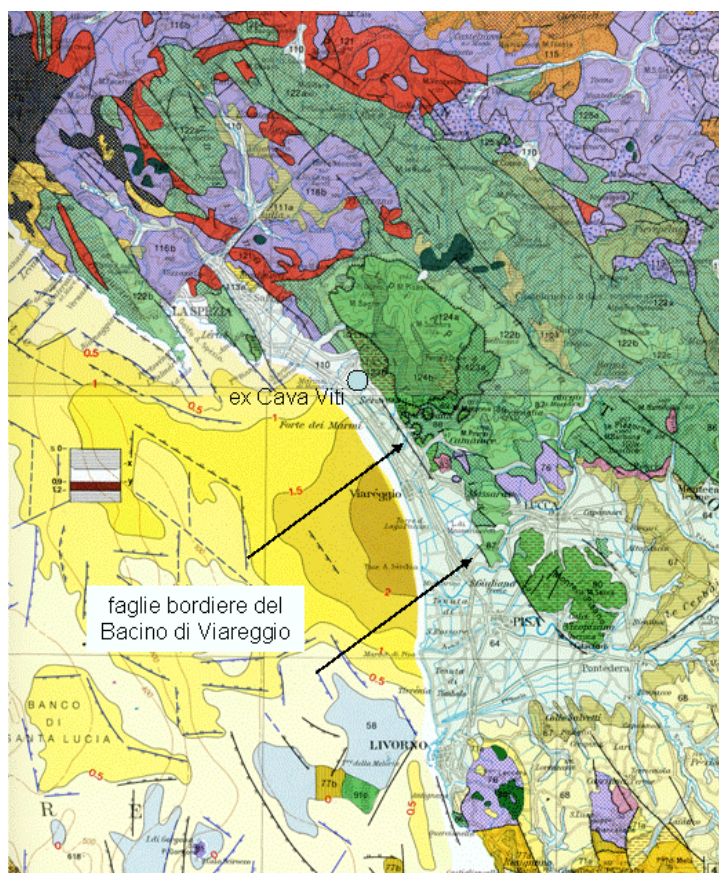


Figura 2. Particolare dei Fogli 1 e 3 del Modello Strutturale d'Italia (CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1990, 1992) mostrandone lo spessore (isocronopache in tempi doppi) dei depositi plio-quaternari che riempiono il Bacino di Viareggio e le faglie che bordano il bacino stesso.

3.1. Evidenze geologiche portate a sostegno dell'esistenza di faglie attive lungo il margine orientale del Bacino di Viareggio

Nella relazione Marroni, Pandolfi & Rosi viene posto l'accento sul fatto che il sistema di faglie dirette ad andamento NNW-SSE che delimitano il Bacino di Viareggio viene segnalato in un documento ufficiale della cartografia geologica Italiana che è la Carta Cinematico-Strutturale d'Italia del CNR (Synthetic Structural-Kinematic Map of Italy, v. CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1991) un particolare della quale è mostrato in Figura 3. Queste faglie dirette sono per la maggior parte riconoscibili solo in sottosuolo e questa è la ragione per la quale non vengono rappresentate nelle carte geologiche correnti tuttavia, come ad esempio nella Carta Geologica del Parco delle Alpi Apuane. A sostegno di una tettonica attiva nell'area dell'ex Cava Viti nella citata relazione

viene riprodotto un profilo sismico a riflessione (Linea PI-301, Figura 4a) che nella presentazione orale (v. documento in formato .ppt e in formato .pdf scaricabile dal sito della Provincia di Massa-Carrara) viene localizzato “*immediatamente ad est della cava*”. In questo profilo sarebbero visibili depositi quaternari dislocati da una faglia diretta “*a poca distanza dalla zona della discarica*”. Nel dibattito orale (v. registrazione sul sito della Provincia) l’ubicazione di questo profilo viene spostata a sud della cava, verso Viareggio. Per l’esattezza, la linea PI-301-80 è ubicata nella zona della Macchia di Migliarino, ad una distanza di circa 22 chilometri dall’ex Cava Viti (vedi Figura 3).

3.2. Evidenze geologiche che negano l’esistenza di faglie attive lungo il margine orientale del Bacino di Viareggio

La Carta Cinematico-Strutturale d’Italia del CNR è un documento di sintesi alla scala 1: 2.000.000 e come tale va letto, senza forzature. Il sistema di faglie che limita il Bacino di Viareggio, ad esempio, è rappresentato da un’unica faglia normale della lunghezza di una quarantina di chilometri (Figura 3).

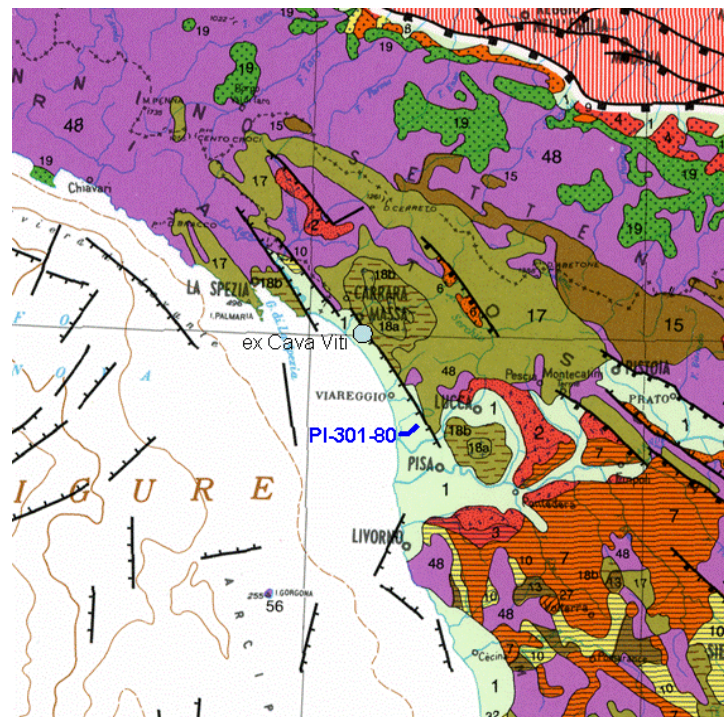


Figura 3. Particolare della Carta Cinematico-Strutturale d’Italia. Il sistema di faglie che borda ad oriente il Bacino di Viareggio individuato in sottosuolo è stato schematizzato attraverso una faglia normale di età indefinita (CNR-PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA 1991).

Questa rappresentazione è ovviamente la schematizzazione di una struttura molto più complessa e articolata, schematizzazione che è accettabile alla scala della carta ma

non trasferibile a una scala locale. L'età dell'attività di questo sistema di faglie non è specificata nella legenda della Carta Cinematico-Strutturale d'Italia che parla genericamente di faglie normali di età indefinita. Nelle carte geologiche correnti l'unico elemento rappresentato del sistema di faglie marginali del Bacino di Viareggio è la Faglia della Foce (vedi Figura 1), questo per la semplice ragione che le altre faglie non affiorano in superficie. Il sistema di faglie bordiere, pertanto, deve essere indagato nel suo insieme con strumenti che sono quelli della geologia di sottosuolo e non della geologia di superficie. Lo strumento principe è ovviamente quello della sismica a riflessione che permette di riconoscere le relazioni tra tettonica e sedimentazione e di datare i movimenti. Cosa ci dice la sismica a riflessione sull'attività delle faglie che bordano il Bacino di Viareggio? Una risposta a questo quesito viene dalla pubblicazione di PASCUCCI 2005, che è il lavoro più completo ed esaustivo sul Bacino di Viareggio, basato sull'analisi di numerose linee sismiche a riflessione in terra e a mare tarate in *off-shore* sul pozzo Maria 1 e a terra sui pozzi San Cataldo 1, Tombolo 1, Tombolo 2 Dir, Poggio 1 e Zannone 1. Vengono qui riportate testualmente le conclusioni di questo studio sull'attività tettonica del margine orientale del Bacino di Viareggio:

“The graben is bounded to the NE by a southwestward-dipping listric master fault that flattens at depth of 4.0 sec (TWT). This fault was mainly active during the early Pliocene and part of the middle Pliocene, whereas post-rift conditions existed during Quaternary. Reduced fault activity is recorded during middle-late Pliocene”. Tradotto in italiano, questo passaggio suona: *“Il graben è limitato verso nord-est da una faglia listrica immergente verso sud-ovest che si appiattisce alla profondità di 4 secondi (tempi doppi). Questa faglia fu attiva soprattutto durante il Pliocene inferiore e durante una parte del Pliocene medio, mentre durante il Quaternario esistevano condizioni di post-rift. Nel Pliocene medio-superiore viene registrata una ridotta attività della faglia”.*

Nella pubblicazione più recente e completa sul Bacino di Viareggio, dunque, non solo non si parla di faglie attive, ma viene addirittura detto esplicitamente che i processi di estensione attiva hanno preceduto il Quaternario (*“durante il Quaternario esistevano condizioni di post-rift”*) e che l'attività della faglia maestra che limita il semi-graben si è esaurita nel Pliocene medio-superiore, vale a dire circa due milioni di anni fa.

Anche la Faglia della Foce, che rappresenta l'unico elemento di superficie del sistema delle faglie bordiere del Bacino di Viareggio, viene giudicata probabilmente attiva nella relazione Marroni, Pandolfi & Rosi. Una faglia viene definita attiva se lungo la sua superficie sono stati riconosciuti fenomeni di dislocazione avvenuti in tempi storici o

preistorici, di solito negli ultimi 40.000 anni e questo non è certo il caso della Faglia della Foce. Faglie attive o indiziate come faglie attive, inoltre, presentano evidenze geologico-morfologiche molto caratteristiche (es. faccette triangolari, “nastrini” con scarsa alterazione della roccia corrispondenti a porzioni della superficie di faglia dislocate ed esposte in superficie in tempi recenti). La Faglia della Foce, viceversa, non soltanto non presenta alcun carattere geologico-morfologico che suggerisca una sua attività in tempi recenti, ma appare addirittura suturata da megabrecce continentali di versante alimentate dai rilievi orientali che si sono deposte sui Calcarei a *Rhaetavacula contorta* e sulle arenarie del Macigno dopo l’incisione del Canale della Foce. Queste megabrecce non mostrano alcuna traccia di dislocazione ad opera di faglie dirette di direzione appenninica.

Veniamo ora all’ultimo elemento geologico portato a favore dell’esistenza di faglie attive nell’area, che sarebbe il profilo sismico PI-301-80 ubicato, come già detto, nella zona di Migliarino (Figura 4).

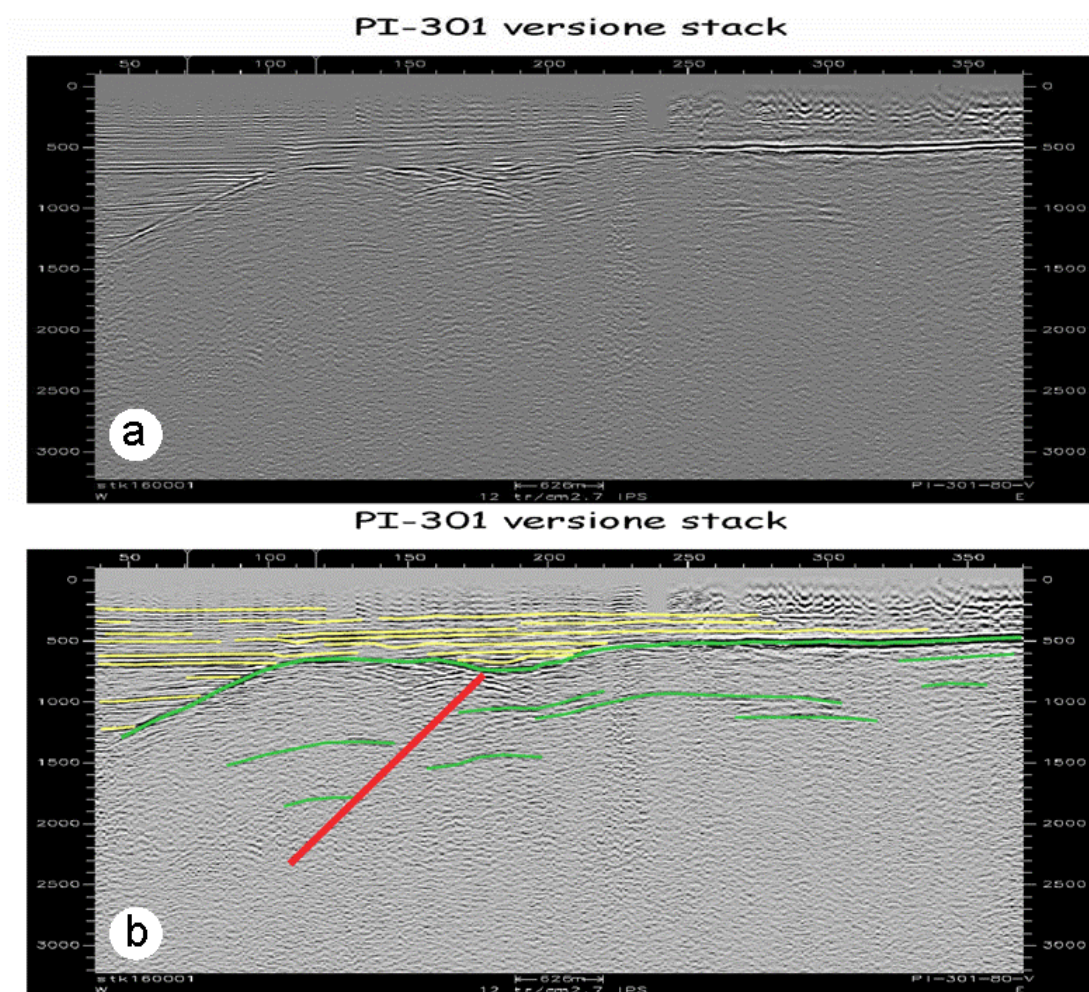


Figura 4a. Profilo sismico a riflessione muto, presentato da Marroni, Pandolfi & Rosi come prova dell’esistenza di faglie attive in un’area prossima alla discarica ex Cava Viti. In Figura 4b viene presentato lo stesso profilo con un’interpretazione che mostra come le faglie siano suturate dai depositi quaternari.

Secondo Marroni, Pandolfi & Rosi questo profilo mostra *“una faglia diretta che disloca i depositi quaternari”* e questo fatto autorizzerebbe *“a pensare che la faglia appartenga ad un sistema ancora attivo, come potrebbero indicare gli epicentri di alcuni terremoti”*. Il profilo sismico in questione, in realtà, mostra un’evidente deformazione e fagliazione del substrato pre-pliocenico, ma non documenta alcuna dislocazione nei depositi quaternari che ricoprono in disconformità questo substrato cicatrizzandolo. Le deboli concavità che si notano nei riflettori testimoniano soltanto modesti fenomeni di canalizzazione all’interno dei depositi terrigeni quaternari.

In conclusione, nella relazione Marroni, Pandolfi & Rosi non viene portata alcuna evidenza geologica di superficie o di sottosuolo che giustifichi l’affermazione che il sistema di faglie a direzione NW-SE/NNW-SSE che limita il Bacino di Viareggio sia ancora attivo e quindi potenzialmente sismogenico.

3.3. Evidenze sismologiche portate a sostegno di una pericolosità sismica elevata nell’area della discarica

La relazione Marroni, Pandolfi & Rosi e gli interventi orali dei prof. Marroni e del prof. Rosi contengono una serie di affermazioni sui terremoti che possono essere riassunte in cinque punti:

1. nel Bacino di Viareggio sono segnalati epicentri di terremoti *“legati a faglie dirette attive come quelle segnalate dai profili sismici a poca distanza dall’area della discarica dell’ex Cava Viti”*;
2. i terremoti hanno periodi di ritorno che possono superare il record del catalogo e pertanto non si può escludere lungo la fascia costiera della Versilia il verificarsi di terremoti più severi di quelli attesi.
3. il paese di Montignoso ha avuto, in occasione del terremoto della Garfagnana-Lunigiana del 1920, un risentimento dell’VIII grado;
4. la discarica è posta in vicinanza di una delle zone sismiche della Toscana a maggiore pericolosità sismica che è quella della Lunigiana-Garfagnana;
5. le rocce che formano il substrato della discarica presentano pessime caratteristiche geomeccaniche dovute alla presenza di numerose superfici tettoniche che costituiscono importanti linee di debolezza capaci di essere riattivate da shock sismici.

3.4. Discussione sulle presunte evidenze sismologiche a sostegno di una pericolosità sismica elevata nell'area della discarica

In questo paragrafo sarà esaminata l'attendibilità delle prime quattro affermazioni (la quinta affermazione sarà esaminata nel paragrafo 4) cominciando con il punto 1 relativo alla sismicità del Bacino di Viareggio. La Figura 5 fornisce un'immagine dei terremoti registrati dalla rete dell'INGV tra il 1981 e il 2002.

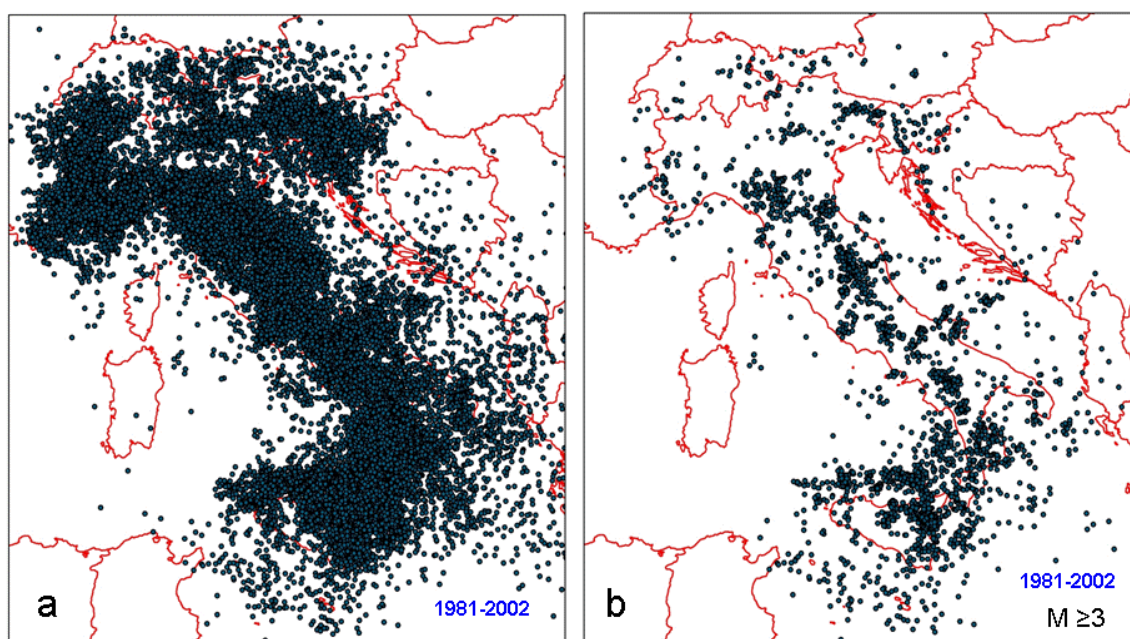


Figura 5. Terremoti registrati dalla rete INGV tra il 1981 e il 2002 (fonte dei dati: <http://csi.rm.ingv.it/>). 5a: tutti gli eventi; 5b: eventi con magnitudo maggiore o uguale a 3, con esclusione quindi degli eventi che non hanno raggiunto la soglia di percezione.

Nella Figura 5a non è stato applicato alcun filtro e, come si può vedere, gli epicentri dei terremoti coprono quasi per intero la penisola italiana. E' sufficiente, tuttavia, applicare un primo filtro, in questo caso un valore di magnitudo maggiore o uguale a 3, perché gli epicentri si diradino sensibilmente (Figura 5b). Applicando un ulteriore filtro, magnitudo superiore o uguale a 4 (Figura 6a), si può vedere che non esiste alcun epicentro nel Bacino di Viareggio, se non in corrispondenza del suo margine meridionale (Meloria-Colline Livornesi) dove è nota e ben documentata una debole-moderata sismicità lungo una struttura tettonica di direzione antiappenninica ("Linea Livorno-Sillaro" della letteratura geologica). Gli epicentri dei due terremoti più vicini a Montignoso, il primo di magnitudo 4.6 (localizzato nella zona di Fosdinovo) e il secondo di magnitudo 4.2 (ubicato nella media Valle del Serchio) distano dal confine del comune di Montignoso tra 16 e 17 chilometri. Se infine usiamo come filtro una magnitudo maggiore o uguale a 5 (Figura 6b) vediamo che il

terremoto più vicino ha il suo epicentro ben al di là del crinale appenninico, ad una distanza di 68 chilometri dal confine del comune di Montignoso.

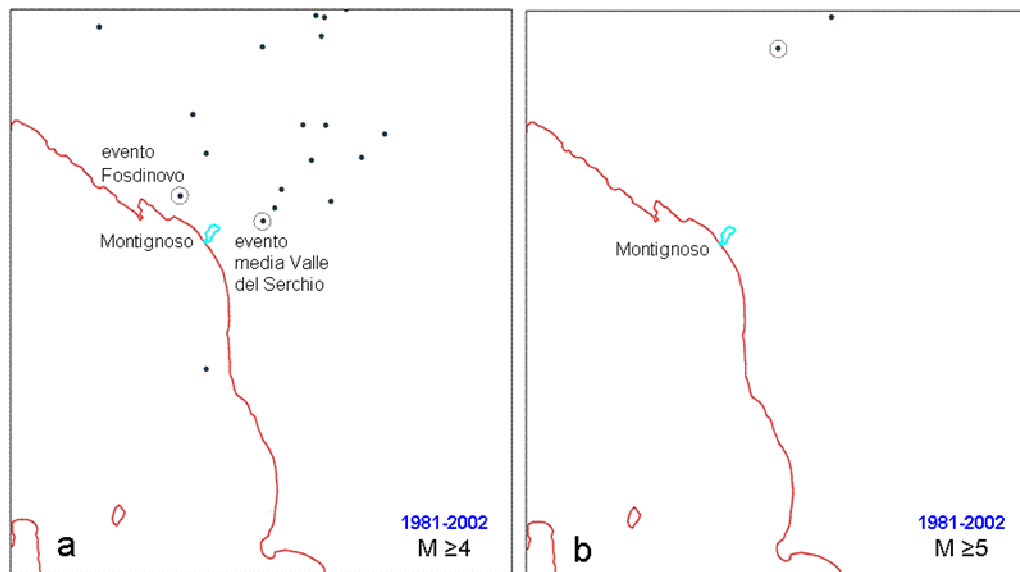


Figura 6. Terremoti registrati dalla rete INGV tra il 1981 e il 2002 (fonte dei dati: <http://csi.rm.ingv.it/>). 6a: eventi con magnitudo maggiore o uguale a 4; 6b: eventi con magnitudo maggiore o uguale a 5. E' stato evidenziato il limite comunale di Montignoso come elemento di riferimento. Si tenga presente che magnitudo inferiori a 4.5 di regola non raggiungono la soglia del danno (intensità VI-VII MCS).

L'affermazione, quindi, che nel Bacino di Viareggio sono presenti epicentri di terremoti *"legati a faglie dirette attive"* non trova conferma nel catalogo strumentale. Poiché il catalogo strumentale copre un periodo molto breve, di una ventina d'anni (1981-2002), faremo riferimento al catalogo storico CPTI (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani) che copre con discreta completezza l'arco temporale compreso tra l'anno 1000 e il 1991. In Figura 7 sono indicati gli epicentri di tutti i terremoti che hanno raggiunto o superato la soglia del danno (intensità epicentrale maggiore o uguale al VI-VII grado MCS).

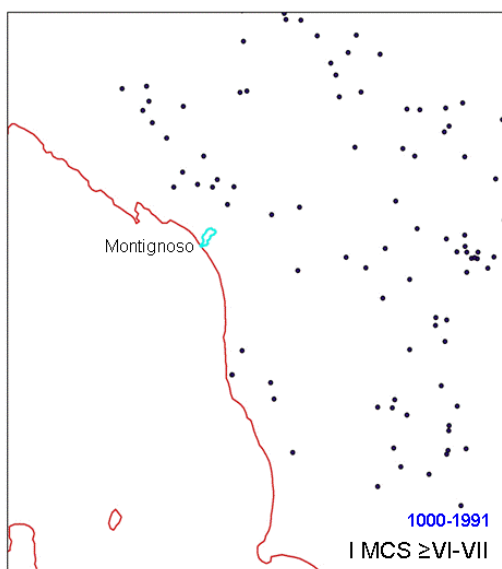


Figura 7. Terremoti italiani con intensità epicentrale maggiore o uguale al VI-VII grado MCS (fonte dei dati: GRUPPO DI LAVORO CPTI 2004).

Come si può vedere da questa figura, non è segnalato dal catalogo alcun terremoto nel Bacino di Viareggio e il terremoto più vicino è quello di Vagli del 1939, che dista in linea d'aria 10-11 chilometri dal limite comunale di Montignoso e che nell'area epicentrale ha appena raggiunto la soglia del danno.

In conclusione, nel catalogo strumentale non esiste alcuna documentazione di terremoti del Bacino di Viareggio che abbiano raggiunto almeno una magnitudo 4 e nel catalogo storico non sono stati segnalati eventi localizzati in mare o nella fascia costiera che abbiano provocato danni in Versilia. Si è obiettato che il catalogo storico dei terremoti potrebbe non essere rappresentativo della reale sismicità della fascia costiera della Versilia perchè terremoti di elevata energia hanno di norma lunghi periodi di ritorno e potrebbero pertanto non avere un record storico. E' certamente un dato di fatto che periodi di ritorno dell'ordine di qualche migliaio di anni, che rappresenta il tempo necessario per il ricaricamento di una faglia della lunghezza di alcune decine di chilometri dopo un rilascio sismico, sono la norma. Proprio per questo si fanno studi di archeosismicità e di paleosismicità. Tuttavia faglie sismogenetiche di queste dimensioni hanno forti evidenze geologico-morfologiche in superficie e sono ben espresse in sottosuolo da dislocazioni dei riflettori e da strati di crescita. Sia nel caso della Faglia della Foce sia nel caso del Bacino di Viareggio (vedi PASCUCCI 2005) non soltanto queste evidenze non sono state riconosciute ma sono stati addirittura riconosciuti elementi contrari ad un'attività tettonica recente. Pertanto le affermazioni contenute a punto 2 del paragrafo 3.3 sono prive di fondamento scientifico quando vengano applicate alla fascia costiera della Versilia. Per quanto riguarda l'affermazione al punto 3, è storicamente documentato che Montignoso ha risposto al terremoto della Garfagnana del 7 settembre 1920 con danni dell'VIII grado (vedi Figura 8).

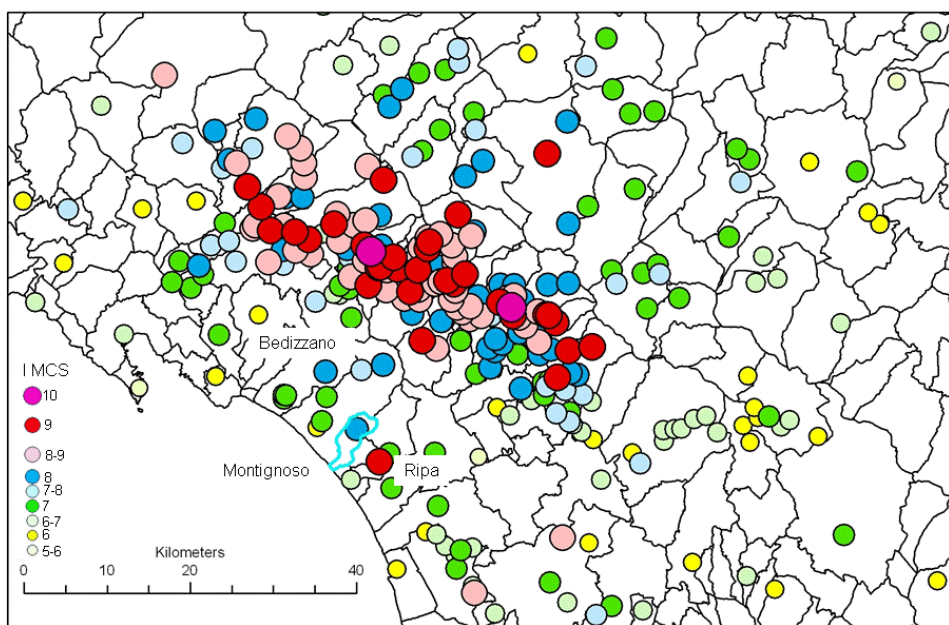


Figura 8. Piano
quotato
delle intensità
del terremoto
della Garfagnana del
7 settembre 1920
(fonte dei dati:
BOSCHI *et al.* 1995).

Tuttavia è molto probabile che si sia trattato, a Montignoso come a Bedizzano (VIII) e ancor più a Ripa (IX), di anomalie legate alla vulnerabilità del patrimonio edilizio e/o ad amplificazioni dello scuotimento dovute a condizioni geologiche locali all'interno di un'area che ha sofferto mediamente un danno del VII grado MCS (cerchietti verdi).

Circa l'affermazione al punto 4, vale a dire che la vicinanza della discarica alle aree sismogenetiche della Lunigiana e della Garfagnana è un elemento di pericolo, occorre precisare che il termine "vicinanza" è un termine piuttosto soggettivo che si presta a opinioni diverse. Ci è parso quindi opportuno fornire un'idea della distanza delle sorgenti sismiche dal sito della discarica attraverso il plottaggio dei piani quotati delle intensità dei più forti terremoti della Lunigiana e della Garfagnana dal 1481 ad oggi (1481 Garfagnana, 1545 Borgo Val di Taro, 1740 Garfagnana, 1834 Alta Lunigiana, 1837 Garfagnana, 1902 Garfagnana, 1903 Lunigiana e 1920 Garfagnana-Lunigiana). La Figura 9a mostra i piani quotati dei citati terremoti senza l'evento del 1920 che rappresenta il massimo storico nell'area. Il piano quotato di questo terremoto è stato aggiunto nella Figura 9b.

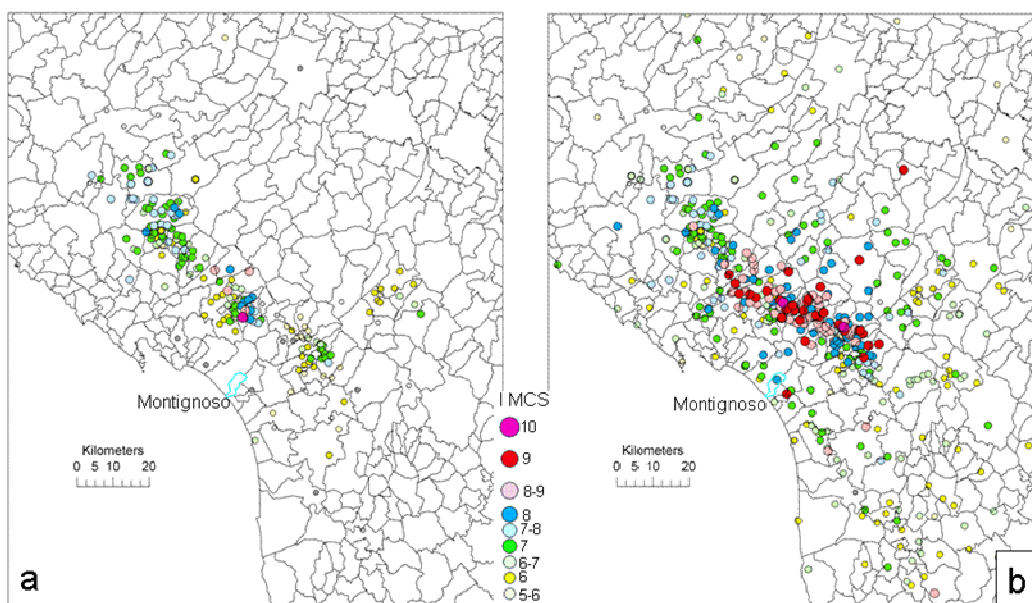


Figura 9. Piani quotati dei principali terremoti della Garfagnana-Lunigiana (dati originali in BOSCHI *et al.* 1995 e in MONACHESI & STUCCHI 1997). In Figura 9a terremoti del 1481, 1545, 1740, 1834, 1837, 1902 e 1903; in Figura 9b gli stessi più il terremoto del 1920 che rappresenta il massimo storico nell'area. Per comodità di lettura è stato evidenziato il contorno del comune di Montignoso.

Come si può ben vedere, le aree di massima intensità distano non meno di 20 chilometri dal sito e per tutti gli eventi si ha una rapida attenuazione dell'intensità spostandosi dal crinale appenninico alla fascia costiera della Versilia, dove di norma non viene superato il limite inferiore del danneggiamento (VI-VII grado MCS). Ricordiamo che le anomalie

positive delle intensità osservate sono imputabili alla vulnerabilità dell'edificio e/o a condizioni geologico-morfologiche locali sfavorevoli (sottili copertura colluviali su *bedrock*, pendii molto ripidi, situazioni di cresta ecc.).

4. Lo scuotimento sismico atteso nell'area di Montignoso-Pietrasanta

Quando si parla di scuotimento ci si riferisce ovviamente alle vibrazioni generate da un evento sismico e in particolare ai valori di accelerazione al *bedrock* espressi in frazioni di g (accelerazione di gravità). Escludendo scenari deterministici di scuotimento atteso a seguito di un ben preciso terremoto, la scuotibilità di un sito viene espressa in termini probabilistici (hazard sismico o pericolosità sismica), nel senso che nelle diverse aree di un territorio viene stimata la probabilità di eccedenza di un certo valore di g in un determinato intervallo di tempo. L'hazard sismico non va confuso con il rischio sismico, nella valutazione del quale vanno considerati non solo la scuotibilità ma anche l'esposizione, la vulnerabilità e il valore del patrimonio edilizio. Esistono vari metodi per il calcolo dell'hazard che si differenziano tra loro per gli algoritmi di calcolo usati. Questi metodi utilizzano come elementi di *input* la zonazione sismica (vale a dire la ripartizione del territorio in zone omogenee dal punto di vista sismogenetico), il catalogo dei terremoti con grandezze dei terremoti espresse in magnitudo (magnitudo strumentale per i terremoti recenti, magnitudo equivalente alla precedente ma ricavata da dati macrosismici per i terremoti storici) e la legge di attenuazione dalla sorgente (singoli epicentri o bordo della zona sismogenetica) al sito. La prima zonazione sismica d'Italia, limitata all'Appennino e alla Sicilia fu presentata nel 1990 al Convegno Annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (SCANDONE *et al.* 1992, vedi Figura 10) e la Versilia fu considerata fuori dalle zone sismogenetiche di un qualche rilievo. Dopo alcuni anni di ricerche, si arrivò nel 1996 ad una zonazione dell'intero territorio nazionale (Zonazione Sismogenetica ZS4, vedi Figura 11) che costituì la base per le prime valutazioni dell'hazard sismico del territorio italiano con il metodo Cornell (ROMEO & PUGLIESE 1998; SLEJKO *et al.* 1998; ALBARELLO *et al.* 2000, vedi Figura 12). La Zonazione ZS4 è descritta in MELETTI *et al.* 2000 e in SCANDONE & STUCCHI 2000.

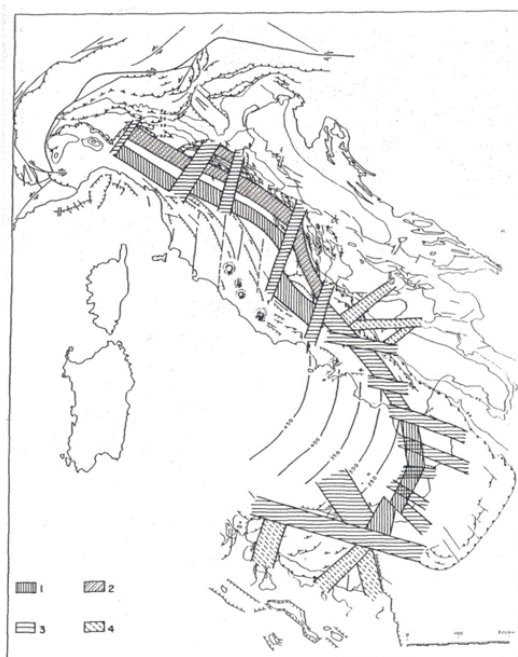


Figura 10. Prima zonazione sismica della penisola italiana (da SCANDONE *et al.* 1992).

- 1) zone in estensione; 2) zone in compressione;
- 3) fasce di trasferimento estensione-estensione, estensione-comprensione e compressione-comprensione;
- 4) zone sismogenetiche delle aree di avampaese del Gargano e degli Iblei e zona sismogenetica della Sicilia occidentale.

La Versilia, con la sua bassissima sismicità, con è inclusa tra le zone sismogenetiche.

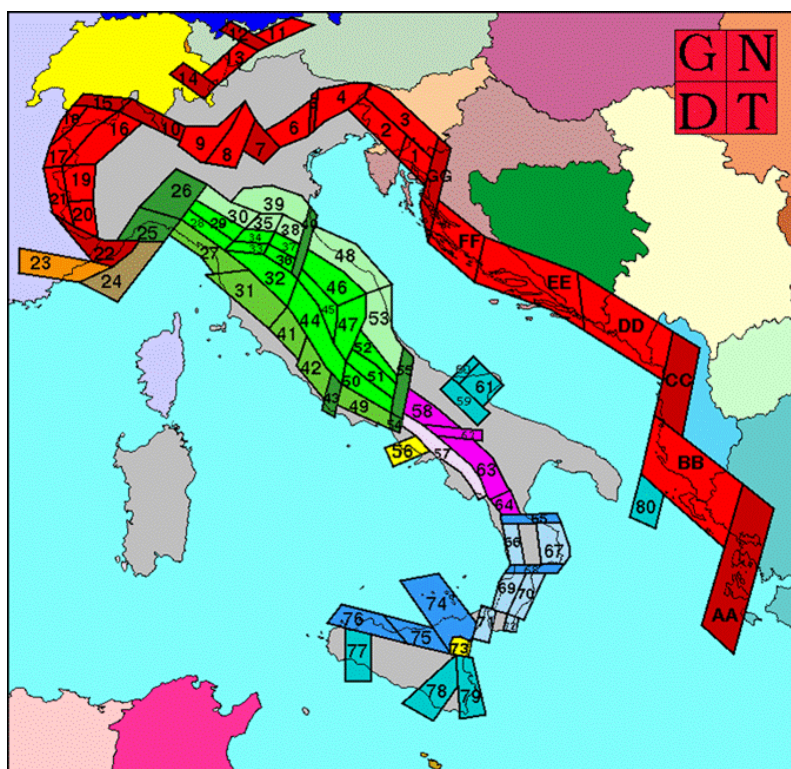


Figura 11. Zonazione sismogenetica SZ4 dell'aprile 1996 (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Unità di Ricerca del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, Responsabile P. Scandone).

Le zone sismogenetiche dell'Appennino settentrionale e centrale, indicate in verde, sono legate allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica sotto la catena, con strutture compressive lungo la fascia nord orientale (zone 30, 35, 38, 39, 48 e 53), distensive lungo la zona assiale (zone 28, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 44, 45, 46, 47, 50, 51 e 52) e trascorrenti lungo le fasce di trasferimento trasversali.

La Versilia rientra nelle zone sismogenetiche 27 e 31. In quest'area sono attesi terremoti di magnitudo non superiore a 4.6 e meccanismi focali di tipo *dip-slip* con assi T orientati SW-NE.

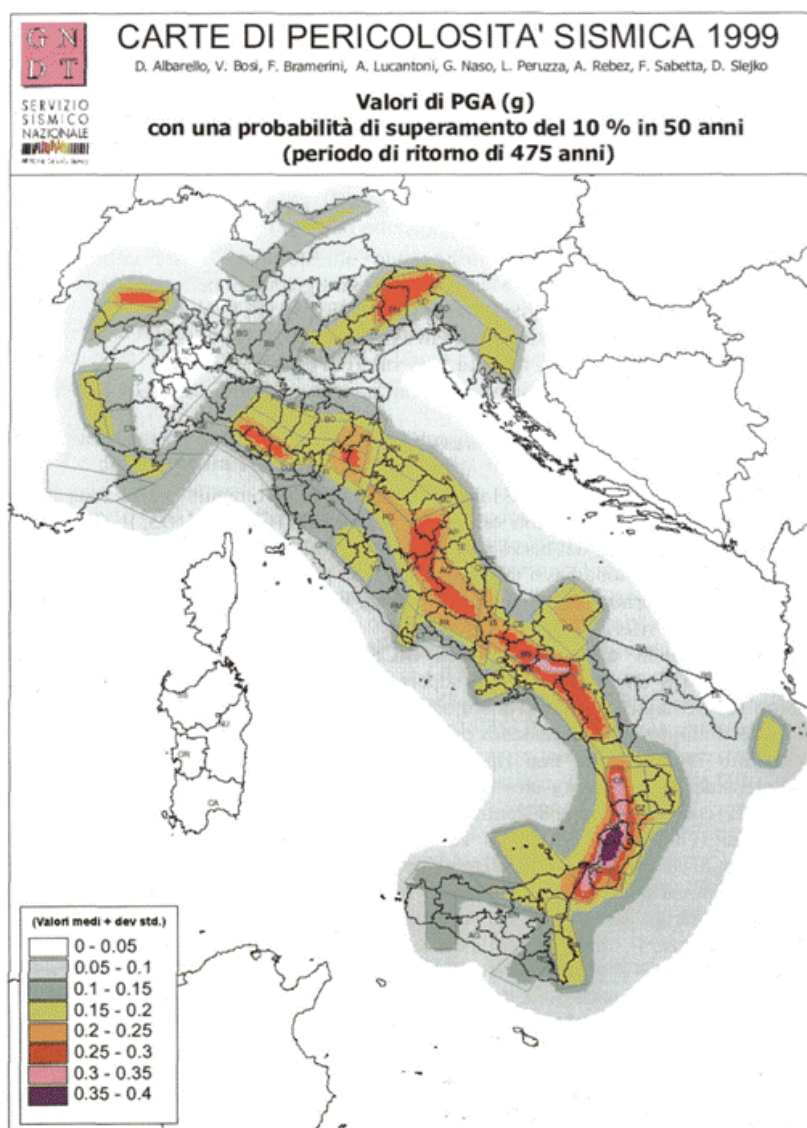


Figura 12. Esempio di carta della pericolosità del territorio italiano basata sulla Zonazione ZS4, in un'elaborazione "di consenso" tra il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e il Servizio Sismico Nazionale (da ALBARELLO *et al.* 2000).

Il documento ufficiale più recente in termini di zonazione è la zonazione sismogenetica ZS9 (MELETTI & VALENSISE 2004). In questo elaborato è stato ridotto il numero di zone sismogenetiche ma è stato mantenuto sostanzialmente inalterato il modello concettuale di partenza, tranne che per l'area apulo-lucana dove sono state introdotte significative modifiche (vedi Figura 13). Per quanto riguarda l'area della discarica, questa cade nella Zona Sismogenetica 916 che riunisce, con piccole modifiche, le Zone 27 e 32 della zonazione ZS4. Non sono dunque emersi, tra il 1966 e il 2004, elementi di novità che suggerissero una modifica dell'inquadramento sismotettonico di quest'area. Sulla zonazione ZS9 si fonda la nuova carta di pericolosità del territorio nazionale (GRUPPO DI LAVORO MPS 2004, vedi Figura 14).

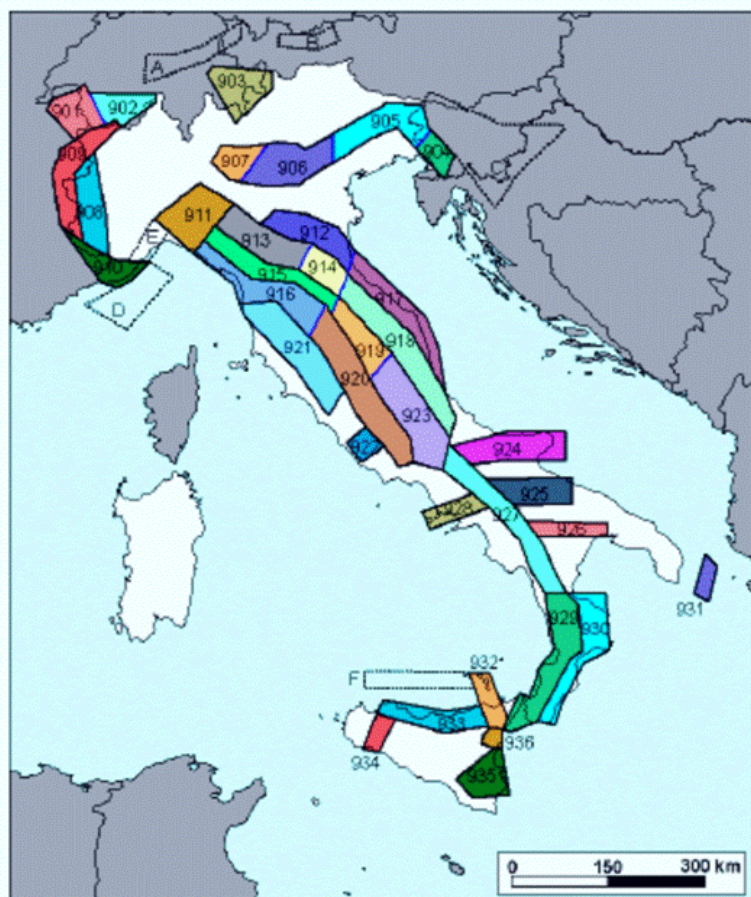


Figura 13. Zonazione sismogenetica ZS9 (da MELETTI & VALENSISE 2004).

In questa zonazione è stato ridotto il numero di zone rispetto alla zonazione ZS4, ma è stato mantenuto sostanzialmente inalterato il modello cinematico di partenza, tranne che per l'area apulo-lucana dove sono state identificate tre zone orientate W-E caratterizzate da strutture trascorrenti.

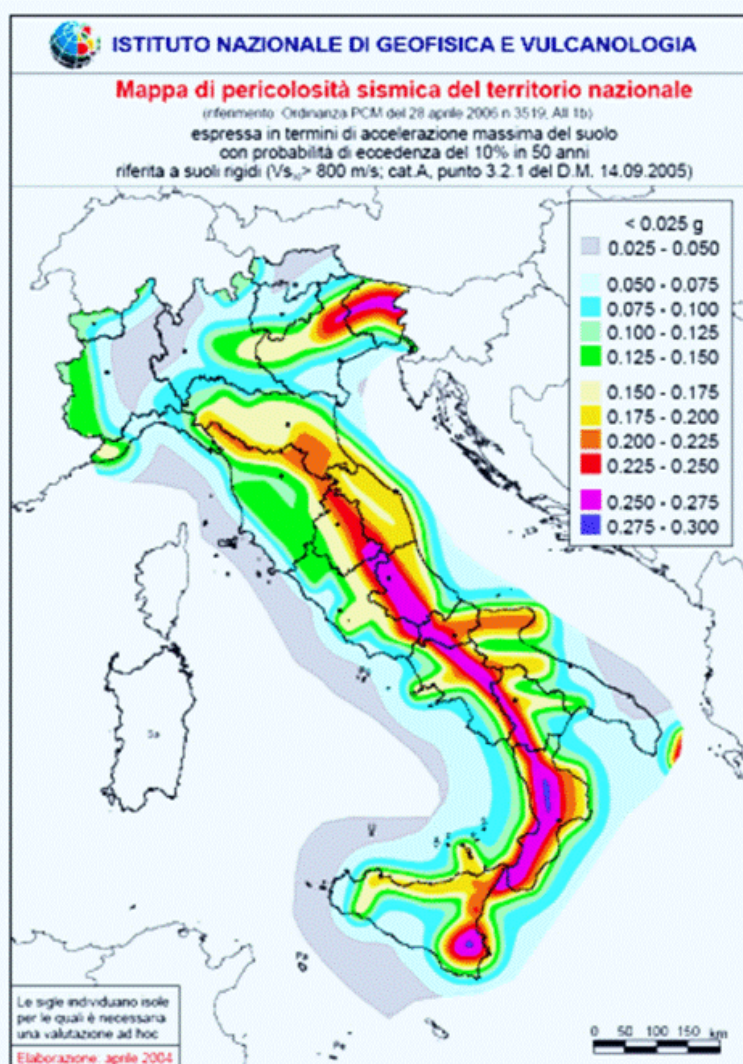


Figura 14. Carta della pericolosità del territorio italiano basata sulla Zonazione ZS9 (da GRUPPO DI LAVORO MPS 2004).

Nella Figura 15 sono messe a confronto, per l'area della discarica, la nuova carta della pericolosità sismica e la carta di ALBARELLO *et al.* 2000. Entrambe sono espresse in PGA (Peak Ground Acceleration) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) e i risultati sono perfettamente confrontabili.

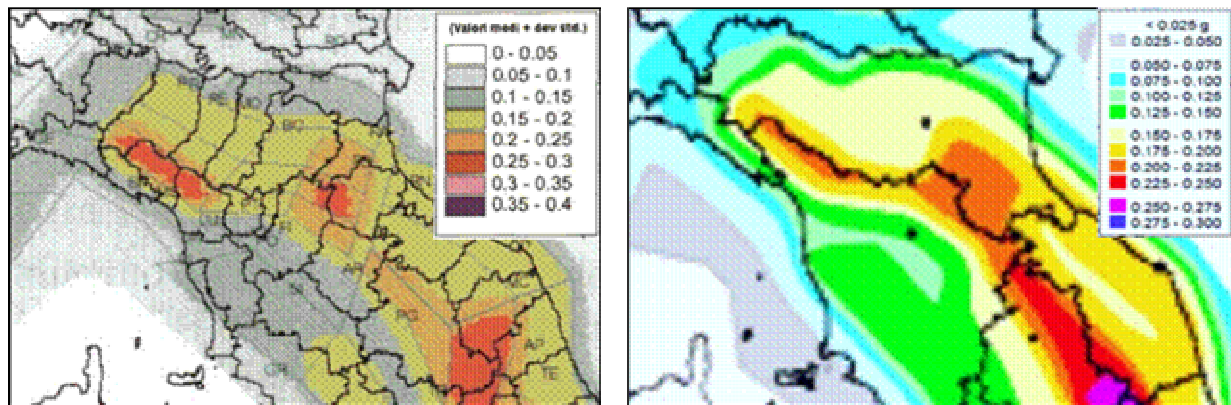


Figura 15. Confronto tra la carta di Figura 12 e la carta di Figura 14. In queste valutazioni, come in tutte le altre valutazioni disponibili, il massimo scuotimento atteso nell'area della discarica e, più in generale, nella fascia costiera nord-tirrenica non supera il 20% di g.

In definitiva, possiamo affermare, che tutte le stime di scuotimento atteso disponibili in letteratura convergono su valori inferiori al 20% di g. Tornando pertanto alla relazione Marroni, Pandolfi & Rosi nella quale si afferma che le rocce che formano il substrato della discarica presentano pessime caratteristiche geomeccaniche dovute alla presenza di numerose discontinuità tettoniche che costituiscono importanti linee di debolezza capaci di essere riattivate da shock sismici (vedi punto 5 a pag. 8 di questa relazione), è evidente che quanto paventato non possa verificarsi a seguito di uno shock sismico con PGA inferiore a 0.2.

5. Considerazioni conclusive

Numerose argomentazioni a dimostrazione della bassa pericolosità sismica dell'area della discarica ex Cava Viti contenute in questa relazione sono già state espresse dal dr. C. Turba nel corso del Contraddittorio tra tecnici svoltosi nell'Udienza Tecnica del 26 giugno 2009 in una presentazione con la quale concordo pienamente.

Mi sembra di poter concludere che in Versilia non ci siano i benché minimi indizi geologici e/o sismologici per parlare di una tettonica attiva che porterebbe ad una valutazione del rischio sismico sensibilmente diversa da quella espressa fino ad oggi dagli

esperti che si sono occupati del problema. A questa conclusione vorrei però aggiungere una considerazione: se gli autori della relazione geologica contraria alla discarica erano veramente convinti di trovarsi in Versilia di fronte a faglie attive, una delle quali attraverserebbe l'intera città di Massa, perché non hanno sentito il dovere di portare a conoscenza delle autorità e delle istituzioni competenti le implicazioni che una simile scoperta comportano in un'area densamente popolata?

Riferimenti bibliografici

ALBARELLO D., BOSI V., BRAMERINI F., LUCANTONI A., NASO G., PERUZZA L., REBEZ A., SABETTA F. & SLEJKO D., 1990. *Pericolosità sismica del territorio nazionale: carte di consenso GNDT e SSN*. In: F. GALADINI, C. MELETTI & A. REBEZ, (Eds.): "Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)". CNR-GNDT, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 265-273.

BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMRIGLIO G. & VALENSISE G., 1995. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, Bologna, 973 pp.

CARMIGNANI L., CONTI P., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., GIGLIA G. & MECCHERI M., 2000. *Carta Geologica del Parco delle Alpi Apuane. Scala 1: 50.000*. SELCA Firenze.

CNR – PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA, 1990. *Structural Model of Italy, Sheet N. 1*. In "Structural Model of Italy 1:500.000 and Gravity Map", Quad. Ric. Sci., **3**, n.114, S.EL.CA., Firenze.

CNR – PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA, 1991. *Synthetic Structural-Kinematic Map of Italy*. In "Structural Model of Italy 1:500.000 and Gravity Map", Quad. Ric. Sci., **3**, n.114, S.EL.CA., Firenze.

CNR – PROGETTO FINALIZZATO GEODINAMICA, 1992. *Structural Model of Italy, Sheet N. 3*. In "Structural Model of Italy 1:500.000 and Gravity Map", Quad. Ric. Sci., **3**, n.114, S.EL.CA., Firenze.

GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>

GRUPPO DI LAVORO MPS, 2004. *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

- MELETTI C., PATACCA E. & SCANDONE P., 2000. *Construction of a seismotectonic model: the case of Italy*. Pageoph, **157**, 11-35.
- MELETTI C. & VALENSISE G., 2004. *Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo del Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20-03-2003 n. 3274)*. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>
- MONACHESI G. & STUCCHI M., 1997. *DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. <http://emidius.mi.ingv.it/DOM/>
- PASCUCCI V., 2005. *Neogene evolution of the Viareggio Basin, Northern Tuscany (Italy)*. Geol. Acta, **4**, 123-138.
- ROMEO R. & PUGLIESE A., 1998. *A global earthquake hazard assessment of Italy*. Proc. 11th Europ. Conference on Earth. Engineering, Paris, Balkema.
- 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.
- SCANDONE P. & STUCCHI M., 2000. *La zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica*. In: F. GALADINI, C. MELETTI & A. REBEZ, (Eds.): "Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)". CNR-GNDT, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 3-14.
- SLEJKO D., PERUZZA L. & REBEZ A., 1988. *Seismic hazard maps of Italy*. Ann. Geofisica, **41**, 183-214.