

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78**

**S.G.C. GROSSETO - FANO**

Adeguamento a 4 Corsie nel Tratto Grosseto - Siena

(S.S. 223 "DI PAGANICO") dal Km 27+200 al Km 30+038 - Lotto 4

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI13**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Davide Carlaccini  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A1245

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**Il R.U.P.**

Dott. Ing.  
Antonio Scalamandrè

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott.Ing. N.Granieri  
Dott.Arch. N.Kamenicky  
Dott.Ing. V.Truffini  
Dott.Arch. A.Bracchini  
Dott.Ing. F.Durastanti  
Dott.Geol. G.Cerquiglini  
Geom. S.Scopetta  
Dott.Ing. L.Sbrenna  
Dott.Ing. E.Sellari  
Dott.Ing. L.Stoppini  
Dott.Ing. L.Dinelli  
Dott.Ing. L.Nani  
Dott.Ing. F.Pambianco  
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini  
Dott. Ing. S.Sacconi  
Dott. Ing. G.Cordua  
Dott. Ing. V.De Gori

Dott. Ing. V.Rotisciani  
Dott. Ing. F.Macchioni  
Dott. Ing. M.Sorbelli  
Dott. Ing. V.Piunno  
Dott. Ing. G.Pulli



**GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDROGEOLOGIA  
CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO  
Relazione sismica**

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.  
**L0702B E 1701**

NOME FILE

T00-GE02-GE0-RE00-A

CODICE ELAB.

**T00GE02GE0RE00**

REVISIONE

**A**

SCALA:

-

**A**

Emissione

16/10/2017

S.Sacconi

D.Carlaccini

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

**INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA ANTISISMICA DELLA REGIONE TOSCANA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....</b>	<b>6</b>
3.1 ASPETTI GEOLOGICO-STRUTTURALI E LITOLOGICI.....	6
3.2 ELEMENTI DI TETTONICA.....	13
3.3 ASPETTI MORFOLOGICI .....	15
<b>4. INDAGINI ESEGUITE.....</b>	<b>16</b>
4.1 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 1999.....	16
4.2 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2006 .....	17
<b>5. INQUADRAMENTO STORICO SISMOLOGICO .....</b>	<b>20</b>
<b>6. NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA .....</b>	<b>26</b>
<b>7. PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA INTERESSATA DAL TRACCIATO E DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO .....</b>	<b>34</b>
7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	34
7.2 PARAMETRI SISMICI ADOTTATI PER LE OPERE .....	36

## 1. PREMESSA

La presente relazione è finalizzata a definire gli elementi sismici per il Progetto Esecutivo dell'Itinerario Internazionale E78 S. G. C. Grosseto-Fano – Adeguamento a 4 corsie nel tratto Grosseto-Siena (S.S. 223 "di Paganico") dal km 27+200 al km 30+038 – Lotto 4.

In particolare si è proceduto ad illustrare la sismicità dell'area ed a fornire una caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione interessati dal tracciato con le seguenti finalità:

- macrozonazione sismica dell'area attraverso l'individuazione delle zone sismiche dei comuni attraversati dalla nuova infrastruttura autostradale ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 come recepita dalla DGR Regione Toscana n. 604 del 16.06.2003 e dalla successiva DGR n. 431 del 19.06.2006 che approva la nuova riclassificazione sismica del territorio regionale;
- definire la categoria del suolo di fondazione lungo il tracciato ottenuta considerando i dati relativi alle indagini eseguite in questa fase progettuale;
- caratterizzare la pericolosità sismica dell'area mediante l'individuazione dei parametri  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del terreno) e dell'Intensità macrosismica  $I_{max}$ ;
- definire per ogni comune i parametri spettrali che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione  $S_e(T)$ , dai quali viene poi ricavato dal progettista lo spettro di progetto  $S_d(T)$  caratteristico del tipo d'opera seguendo le modalità riportate nel D.M. 14 gennaio 2008.

La prima fase ha pertanto comportato una ricerca bibliografica per l'acquisizione della documentazione scientifica e tecnica relativa all'area, la consultazione dei documenti ed elaborati prodotti dai Servizi Tecnici della Regione Toscana, la raccolta dati e le informazioni provenienti dagli studi geologici allegati al Progetto Definitivo e, per quanto riguarda la pericolosità sismica dell'area, si è fatto riferimento alle mappe ed ai dati pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV e dal CNR Istituto Nazionale di Geofisica.

## 2.EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA ANTISISMICA DELLA REGIONE TOSCANA

- O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003: Il riordino della normativa antisismica in Italia inizia con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 2003 che fornisce i primi elementi in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. E' in questa Ordinanza che viene introdotta la classificazione dei terreni in base ai parametri  $V_{s30}$ ,  $N_{spt}$ ,  $C_u$ .
- DGR Toscana n. 604 del 16.06.2003: Indirizzi generali e prime disposizioni sulla riclassificazione sismica della Regione Toscana, in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica". La delibera di GRT n.604 del 16.6.2003, che recepisce la riclassificazione sismica preliminare contenuta nell'All.1 all'Ordinanza PCM 3274/03, assegna ai comuni toscani la corrispondente zona sismica ovvero: in zona 2 n.186 Comuni; in zona 3 n.77 Comuni; e in zona 4 n.24 Comuni.
- DGR Toscana n. 751 del 28.07.2003: Modifiche e integrazioni alla Delibera di Giunta Regionale n. 604 del 16.06.2003 – "Indirizzi generali e prime disposizioni sulla riclassificazione sismica della Regione Toscana, in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003".
- DM 14.09.2005: "Norme Tecniche per le Costruzioni" del Ministero delle Infrastrutture che di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile ha emanato un nuovo corpo normativo che assorbe anche quello adottato con l'Ordinanza 3274/03, pervenendo alla suddivisione delle zone sismiche 1, 2 e 3 anche in sottozone caratterizzate da valori dell'accelerazione intermedi rispetto ai valori di soglia;
- OPCM n. 3519 del 28.04.2006: Sono stati emanati ulteriori "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", ad integrazione della citata OPCM n° 3274/03, tenuto conto che in tale Ordinanza contestualmente si dà atto della provvisorietà dei suddetti criteri, in attesa del completamento delle attività del Gruppo di Lavoro istituito con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici finalizzato alla revisione dei Criteri. Tale Ordinanza ha adottato la mappa di pericolosità sismica  $MPS_{04}$  (vedi Figura 1) quale riferimento ufficiale.
- Proposta di riclassificazione sismica del territorio regionale - Attuazione del D.M. 14.09.2005 ed Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28 Aprile 2006 pubblicata sulla G.U. 11.05.2006 - Proposta di aggiornamento della classificazione sismica dei comuni toscani
- Deliberazione di G.R. 12.06.2006 n. 426: "Attività di vigilanza e verifica nelle zone sismiche. Circolare attuativa della sentenza della Corte costituzionale 5 maggio 2006 n. 182. Chiarimenti agli uffici regionali per il rilascio delle autorizzazioni di cui agli artt.93 e 94 D.P.R. 380/2001 e della L.R. 88/1982"

**RELAZIONE SISMICA**

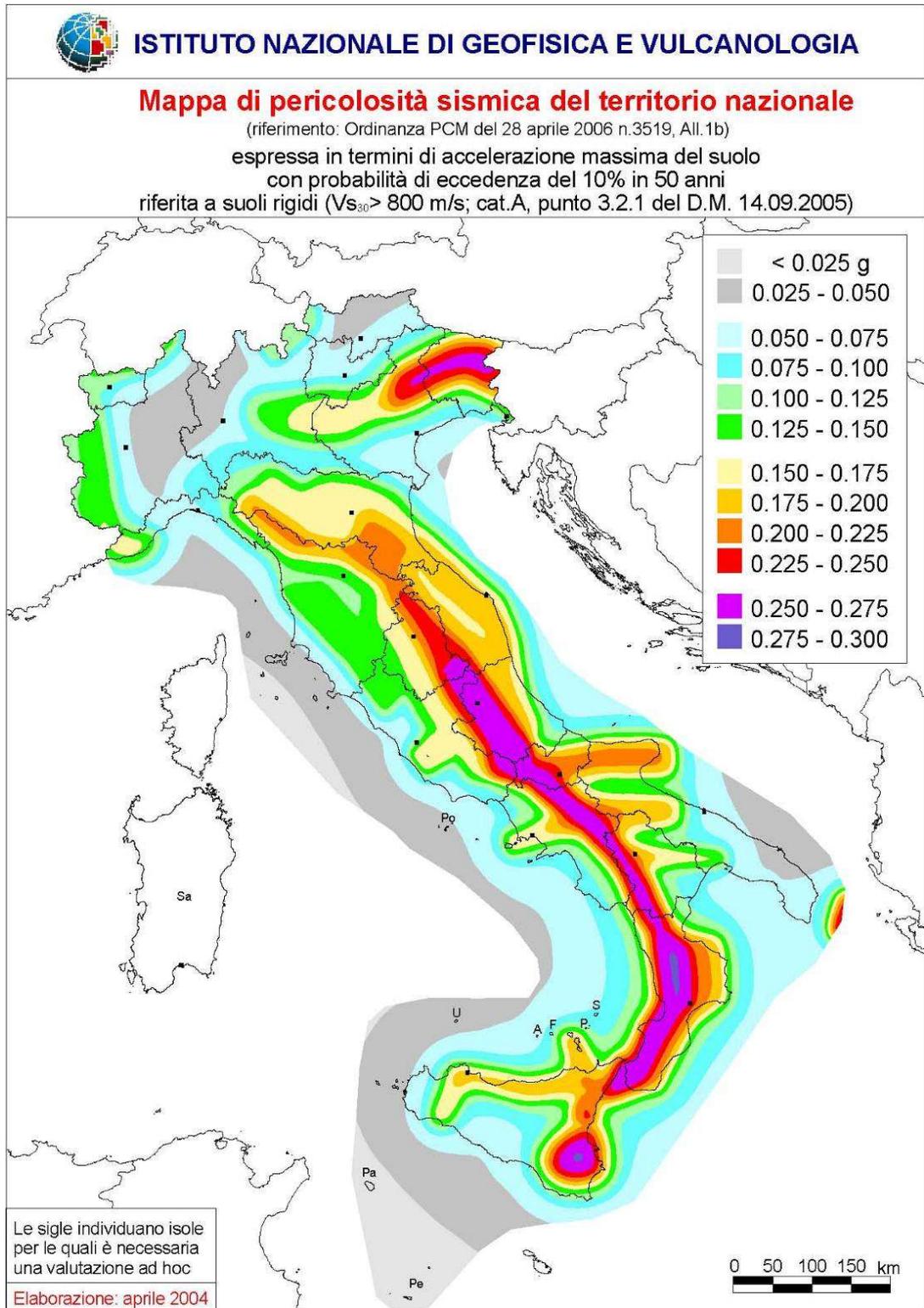


Figura 1 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 3519/06)

MANDATARIA



MANDANTE



**ICARIA**  
 società di ingegneria

## RELAZIONE SISMICA

- DGR Toscana n. 431 del 19.06.2006: Tale delibera recepisce l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 e approva la nuova riclassificazione sismica del territorio regionale, in seguito alla quale vengono distinte le seguenti zone sismiche:
  - zona 2: n° 90 Comuni (80 confermati e 10 passati da zona 3 a 2);
  - zona 3S: n°106 Comuni (provenienti da zona 2);
  - zona 3: n°67 Comuni (confermati dalla precedente classificazione);
  - zona 4: n°24 Comuni vengono (confermati dalla precedente classificazione).
- DGR Toscana n. 841 del 26.11.2007: Approvazione dell'elenco aggiornato dei comuni a maggior rischio sismico della Toscana.
- DM 14.01.2008: Il 4 febbraio 2008 viene pubblicato in Gazzetta Ufficiale il DM 14 gennaio 2008 contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, e che entrano in vigore il 30 giugno 2009. Le norme definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, le prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. A fine gennaio 2008 una Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri fornisce indicazioni per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle NTC. Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti fornisce, con la Circolare 617/2009, le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC di cui al DM del 14 gennaio 2008.
- • Deliberazione di G.R. 11.05.2009 n. 387: Regolamento di attuazione dell'art. 117 commi 1 e 2 della L.R. 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico. Approvazione ai fini dell'acquisizione dei pareri previsti dallo Statuto.
- Delibera del Presidente della G.R. 9 luglio 2009 n. 36/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico" (pubblicato su BURT 17.07.2009 n. 25) "Applicazione del Regolamento- DPGR 36R/2009".

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

#### **3.1 ASPETTI GEOLOGICO-STRUTTURALI E LITOLOGICI**

L'area oggetto dell'intervento si situa all'interno del territorio comunale di Civitella Paganico e precisamente a partire dallo svincolo del centro abitato di Civitella Marittima per un tratto pari a 8 km in direzione nord (Siena). Morfologicamente il territorio rilevato mostra caratteri di media ed alta collina comprendono i rilievi della Montagnola Senese a NW e della Dorsale Monticiano-Roccastrada a SW con quote spesso superiori ai 400 metri, raggiungendo la vetta massima con Poggio ai Legni (666 m slm).

Ovviamente la morfologia del territorio è in diretta relazione con i litotipi affioranti, con prevalente presenza di termini litoidi della Serie Toscana o di rocce del gruppo metamorfico nel settore occidentale.

Il quadro strutturale è caratterizzato da una discreta omogeneità sia per quanto riguarda l'evoluzione strutturale – metamorfica, sia per i caratteri della deformazione finita e della morfologia delle pieghe.

Si possono ricostruire tre eventi deformativi distinti dei quali, solo i primi due sono sin- metamorfici. Le vergenze delle pieghe associate al secondo evento deformativo sono "tirreniche", ma localmente possono coesistere con vergenze appenniniche (vergenze tipiche delle pieghe associate al primo evento deformativo).

Le dorsali presenti sono interessate da sistemi di fratture di carattere distensivo ai quali è riconducibile il forte dislivello tettonico di questa zona rispetto alle aree adiacenti. Questo sistema è rappresentato da alcune faglie importanti, concentrate nel settore SE, aventi una direzione antiappenninica, alle quali si associa una fitta rete di piccole fratture locali.

Il tratto stradale in oggetto si inserisce nella propaggine meridionale della dorsale Metamorfica Toscana di Monticiano-Roccastrada costituita prevalentemente da terreni appartenenti alla cosiddetta Serie Toscana Ridotta. "I lembi della Serie Toscana e di Austroalpino esterno risultano discontinui e mostrano l'aspetto di un "Megaboudinage" (Giannini & Lazzarotto, 1975). Ne deriva una elevata complessità dal punto di vista strutturale complicata dalla molteplicità delle formazioni geologiche presenti.

I terreni presenti nell'area appartengono alla Serie Toscana Ridotta rappresentata dai seguenti gruppi di formazioni.

Il Dominio toscano era costituito da una basamento sialico metamorfico, di età paleozoica (pre-Viseano superiore o pre-fase sudetica dell'Orogenesi ercinica) e da una copertura mesozoica-terziaria.

Nel Dominio toscano sono state distinte tre zone (Decandia et al., 1981; Boccaletti et al., 1981): una Zona toscana interna (da cui proviene l'Unità metamorfica di Massa), una Zona toscana intermedia (corrispondente all'Unità metamorfica apuana o dell'Elba orientale), una Zona toscana esterna (corrispondente alla Faida toscana non metamorfica).

Il Basamento delle Unità toscane porta le tracce di deformazioni conseguite in almeno due orogenesi: Orogenesi ercinica e Orogenesi alpina.

Le coperture, viceversa, sono state interessate solo dalle deformazioni dell'orogenesi alpina.

In generale, l'ordine di sovrapposizione di tali unità, dall'alto al basso, è nella Toscana meridionale, il seguente: Unità liguri, Unità austroalpine, Unità toscane.

**RELAZIONE SISMICA**

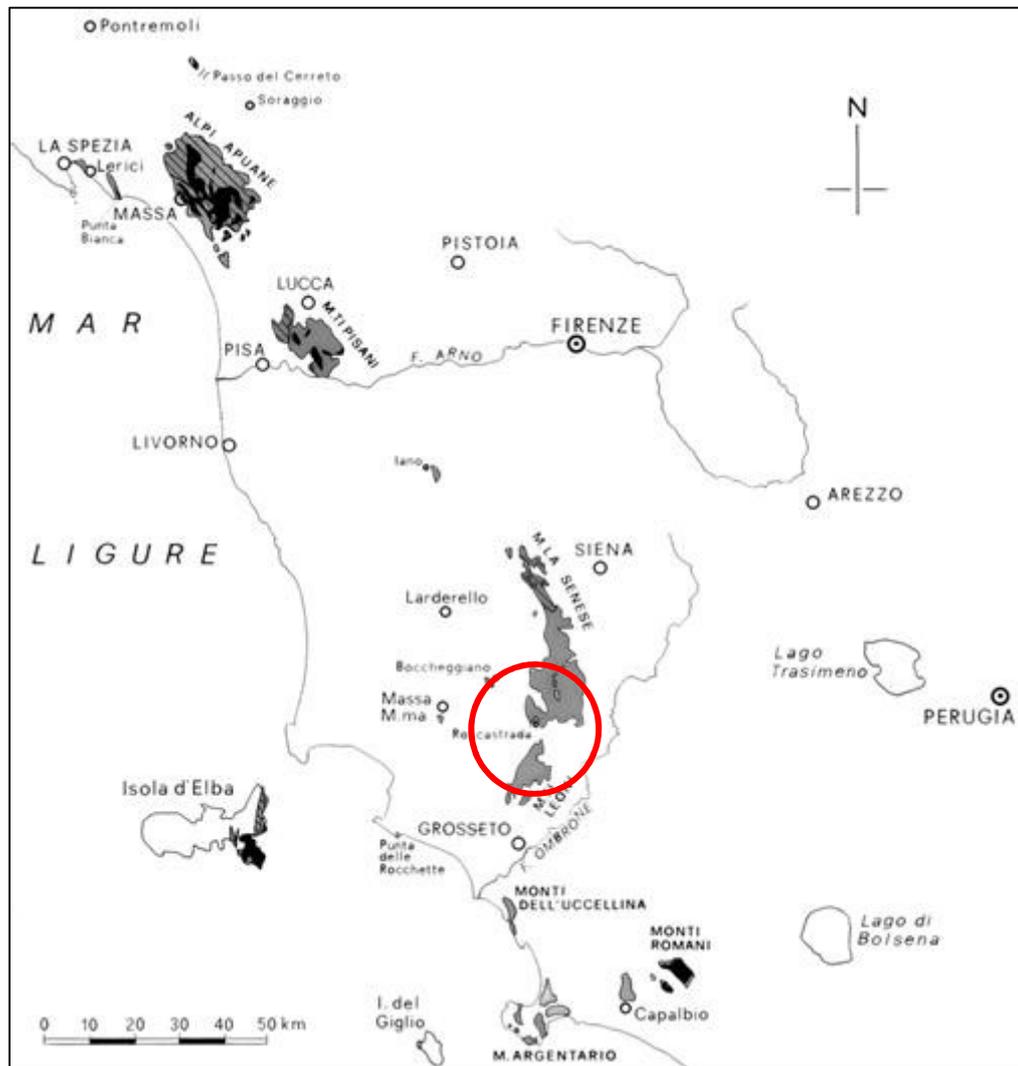


Figura 2 - Distribuzione dei principali nuclei metamorfici della serie Toscana nell'Appennino Settentrionale. Nero: basamento metamorfico ercinico (l'esistenza di un basamento ercinico nei Monti Romani è ancora un problema aperto); grigio: Verrucano s.l. (Carbonifero-Trias superiore); grigio con rigato obliquo: copertura metamorfica alpina post-Verrucano dell'Autoctono e dell'Unità di Massa s.l. (Trias superiore - Oligocene.)

A tutte queste unità si sovrappongono, trasgressivi e discordanti, i sedimenti lacustri e marini di età mio-pliocenica e pleistocenica che, non avendo subito movimenti di traslazione orizzontali, come le unità sopraindicate, vengono raggruppati sotto il termine comprensivo di Neoautoctono.

Le unità tettoniche, affioranti nell'area in esame, saranno illustrate seguendo l'ordine geometrico di sovrapposizione, da quella più profonda a quella più superficiale; le formazioni all'interno delle singole unità saranno, invece, descritte secondo la successione stratigrafica da quella più antica a quella più recente."(da "Elementi di geologia" - A.Lazarotto . 1993, in "La storia naturale della Toscana meridionale". Monte dei Paschi di Siena, Ed. Pizzi-Milano).

## **A) UNITÀ TOSCANE**

I terreni di tale complesso affiorano in nuclei separati, di limitata estensione e raramente comprendono l'intera successione delle formazioni.

### **A1) Unità di Monticiano-Roccastrada**

Questa unità è costituita da formazioni paleozoiche, mesozoiche e terziarie interessate da un metamorfismo che va dal basso grado, in facies di scisti verdi, al medio grado, in facies di micascisti.

L'unità Monticiano-Roccastrada comprende in ordine cronologico le seguenti formazioni:

a) **Formazioni paleozoiche (di facies marina):** costituiscono affioramenti discontinui e di piccola estensione; le informazioni più indicative provengono dai sondaggi effettuati nell'area delle Colline Metallifere e del M.Amiata. Tali formazioni vengono suddivise in due grandi gruppi: Gruppo delle formazioni permo-carbonifere (Carbonifero inferiore- Permico medio) i cui eventi deformativi sono esclusivamente riferibili all'orogenesi alpina e Gruppo delle formazioni di età pre-Viseano superiore i cui eventi metamorfico-deformativi alpini sono sovrainposti a quelli ercinici.

b) **Formazioni mesozoiche (di facies continentale e marina):** sono suddivise in più gruppi

Gruppo del Verrucano: tale termine fu introdotto per indicare terreni a componente prevalentemente quarzosa affioranti presso il M.Verruca sui Monti Pisani. Nella nostra zona questo litotipo affiora quasi esclusivamente lungo la Dorsale Monticiano-Roccastrada e comprende le seguenti formazioni a partire da quella più antica:

- **Formazione di Civitella M.ma:** è costituita da arenarie verdi con intercalazioni lentiformi di conglomerati a ciottoli di quarzo bianco e di siltiti quarzose nere, tormalinifere e raramente clasti di quarzo rosa (Trias medio-inferiore). Anageniti - facies conglomeratica, a ciottolati bene arrotondate di quarzo, a volte chiaro, a volte rosso-grigiastro, a volte roseo, in genere delle dimensioni di alcuni mm o alcuni cm, ma spesso anche più grossi. I vari ciottolini appaiono frequentemente associati a lamine micacee, si da poter classificare la roccia come anagenite grossolana costituita da un conglomerato poligenico con prevalenza di quarzo e quarziti; facies arenacea, dove la stratificazione o scistosità è più evidente che nel caso precedente; Facies filladica, che manifesta in massimo grado il metamorfismo cui, come detto, tutta la formazione ha soggiaciuto. Tutta la formazione ha subito una intensa attività tettonica testimoniata dalla presenza di faglie, lineazioni tettoniche associate ad intensa fratturazione
- **Formazione di M. Quoio:** tale formazione è costituita da scisti, microquarziti scistose e quarziti di colore viola, con intercalazioni lentiformi di grossi banchi di un conglomerato grossolano, con ciottoli e quarziti immersi in una abbondante matrice quarzatica viola (Trias inferiore e medio)
- **Formazione delle Anageniti minute:** è rappresentata da strati di un conglomerato quarzoso fine che si alternano a strati di quarziti di colore giallo-arancione e ad argilloscisti violetti (Trias medio-Ladinico)
- **Formazione di Tocchi:** costituita da una breccia ad elementi di argilloscisti grigio- verdi e violetti in matrice carbonatica gialla ("Breccia di Tocchi") che sormonta e si intercala a strati carbonatici gialli, microquarziti e argilloscisti sericitico-cloritici prevalentemente di colore grigio-verde (Trias superiore-Carnico)

Gruppo delle formazioni carbonatico-siliceo-argillose della Montagnola Senese: tale gruppo è rappresentato dalle seguenti formazioni a partire da quella più antica:

## RELAZIONE SISMICA

- Dolomie grigie cariate (F.ne dei Grezzoni) attribuite al Norico-Retico;
- Marmi bianchi e grigi massicci; a tetto di questa formazione esiste un livello di marmo giallo o rosato noto come "marmo giallo di Siena" (Lias inferiore).

Sui marmi della Montagnola Senese poggiano discordanti tre formazioni che sulla base di informazioni di carattere paleontologico sono state attribuite al Cretaceo superiore:

- Marmi stratificati con liste di quarzo (Formazione di Gallena);
- Metapeliti silicee e radiolariti (Formazione di Poggio all'Aquila);
- Marne e scisti sericitici varicolori (Formazione di Pietralata).

Gruppo delle formazioni carbonatico-siliceo-argillose della Montagnola Senese: tale gruppo è rappresentato dalle seguenti formazioni a partire da quella più antica:

- Dolomie grigie cariate (F.ne dei Grezzoni) attribuite al Norico-Retico;
- Marmi bianchi e grigi massicci; a tetto di questa formazione esiste un livello di marmo giallo o rosato noto come "marmo giallo di Siena" (Lias inferiore).

Sui marmi della Montagnola Senese poggiano discordanti tre formazioni che sulla base di informazioni di carattere paleontologico sono state attribuite al Cretaceo superiore:

- Marmi stratificati con liste di quarzo (Formazione di Gallena);
- Metapeliti silicee e radiolariti (Formazione di Poggio all'Aquila);
- Marne e scisti sericitici varicolori (Formazione di Pietralata).

Formazione dei Galestri e Palombini (Flysch calcareo-marnosi-argillosi-arenacei alloctoni).

E' costituita nella parte basale da alternanze di argilliti (galestri) verdi, siltiti, arenarie e calcari di colore palombino; nella porzione posta stratigraficamente in alto sono rinvenibili arenarie grossolane grigie, verdastre o gialle in grosse bancate.

Si tratta di una formazione flyschoide i cui litotipi mostrano caratteri stratigrafici e sedimentari tipici delle torbiditi sottomarine. La natura dei litotipi è molto variabile da luogo a luogo anche se nella parte basale della formazione sono prevalenti le argilliti grigio-verdi che costituiscono da sole anche il 50% dell'intera formazione.

Altri litotipi presenti in buona percentuale sono le arenarie, siltiti e calcari palombini mentre solo a luoghi sono rilevabili calcari, marne e argilliti marnose di colore rosso vinato.

La formazione nel suo complesso presenta una permeabilità molto bassa o nulla mentre nei termini calcarei e arenacei, per fratturazione, la permeabilità può raggiungere anche valori discreti.

### A2) Unita' della Falda Toscana

Le formazioni della successione toscana costituiscono una unità tettonica indicata come "Falda Toscana" la cui base è rappresentata dalla Formazione anidritica di Burano in corrispondenza della quale si è verificato lo scollamento ed il conseguente scorrimento dell'unità stessa.

Le formazioni della Falda Toscana affiorano generalmente in aree di limitata estensione ed appaiono di solito frammentate in tante zolle di forma lenticolare, isolate una dall'altra e disperse in un'ampia area caratterizzata dal fenomeno della "serie ridotta".

La successione toscana comprende dal basso all'alto le seguenti formazioni:

a) Formazione anidritica di Burano

La Formazione anidritica di Burano è rappresentata da tipiche sequenze evaporitiche, carbonatico-solfatiche, costituita da potenti banchi di anidrite ai quali si intercalano strati di dolomia grigio scura e sottili livelli di una breccia a piccoli frammenti di dolomia in cemento anidritico-gessoso.

Raramente mostra in affioramento le sue caratteristiche principali, poiché il sedimento in superficie è incementato da processi di idratazione, dissoluzione ed asporto del solfato ad opera delle acque meteoriche subaeree e sotterranee. Tale trasformazione da origine al Calcare cavernoso che è un calcare grigio scuro brecciforme con superficie tipicamente spugnosa (Trias superiore).

b) Calcari e marne a Rhaetavicula contorta

Al tetto della successione evaporitica compaiono dei calcari neri stratificati ai quali si intercalano livelli argilloso- marnosi grigio scuri e neri. La formazione è generalmente molto ricca di fossili; la presenza di Rhaetavicula contorta assicura il riferimento al Retico.

c) Calcare massiccio

La formazione è costituita da calcari ceroidi o subsaccaroidi grigio chiari e bianchi; caratteristico è il suo aspetto massiccio per tutta la sua potenza che mediamente è di circa 200-300 m. Gli studi sedimentologici hanno dimostrato che si è disposto in un ambiente di piattaforma intraoceanica. Questa formazione è generalmente ricca di fossili (Trias superiore).

d) Calcare rosso ammonitico

È costituito da calcari stratificati, di colore rosso o rosato, spesso nodulari, che contengono Ammoniti, Crinoidi ed altri fossili. Si ritiene in linea di massima che la formazione si sia deposta in un ambiente di mare basso, su un fondale tettonicamente instabile e soggetto a temporanee emersioni (Giurassico inferiore).

e) Calcare selcifero

Tale formazione è costituita da calcari grigi a grana molto fine, ben stratificati, con liste e noduli di selce grigio-chiara. L'ambiente di deposizione è di mare relativamente più profondo e a bassa energia; la formazione è stata riferita al Giurassico inferiore.

f) Marna a Posidonomya

È costituita da marne, calcari marnosi e calcari silicei che si alternano in strati sottili; è caratterizzata solitamente da un calcare grigio-verdolino, ma può assumere anche altri colori quali rosso fegato o rosato. Sono talvolta osservabili sequenze metriche e decametriche con evidente gradazione degli elementi clastici (Giurassico medio).

g) Radiolariti e Calcari ad Aptici

Questa formazione poggia solitamente sulle Marne a Posidonomya ma talvolta può essere a diretto contatto con il Calcare rosso ammonitico. La parte prevalente è costituita dalle Radiolariti che superiormente possono essere localmente sostituite da Calcari ad Aptici (marne e calcari silicei, con Aptici) Le due litofacies sono legate da passaggi laterali (Giurassico superiore).

h) Formazione della Maiolica

È costituita da calcari bianchi a grana molto fine, ben stratificati, con noduli e liste di selce. La formazione è caratterizzata da discontinuità laterali e mostra spessori generalmente deboli. Solo nella zona di Rapolano raggiunge la potenza di un centinaio di metri. La Maiolica non contiene macrofossili; i microfossili sono rappresentati da Radiolari e Calpionelle (Giurassico superiore-Cretaceo inferiore).

i) Formazione della Scaglia Toscana

E' costituita in prevalenza da argilloscisti silicei rossi e verdi, con intercalazioni di radiolari, e da calcareniti gradate e calcilutiti grigie; subordinatamente i calcari marnosi e le marne (Cretaceo-Oligocene).

l) Macigno

Rappresenta la formazione con cui termina superiormente la Falda Toscana; il Macigno è costituito da depositi arenacei in facies di flysch. La parte alta, fittamente stratificata, è rappresentata talvolta da litofacies pelitico-siltitica. Sono presenti intercalazioni di corpi lenticolari, con assetto caotico, formati da argilliti, arenarie e calcareniti la cui età è più antica di quella del Macigno che li ingloba. Tali depositi sono stati interpretati come olistostromi provenienti dalla Unità delle argille e calcari (Complesso di facies austroalpina) scivolate nel bacino di sedimentazione del Macigno (Oligocene).

**B) UNITA' LIGURI**

E' costituita da più unità depostesi in un tratto dell'oceano tetidico (Oceano ligure- piemontese) interessato da un elemento paleotettonico, che sollevandosi, ha diviso il Dominio ligure in due zone: interna ed esterna. All'elemento paleotettonico che è stato causa della suddivisione è stato dato il nome di Ruga del Bracco.

B1) Zona ligure esterna

Unità di Monteverdi-Lanciaia. E' costituita dalle seguenti formazioni:

Flysch di Monteverdi M.mo: si tratta di sedimenti prevalentemente calcareo-marnosi, in facies di flysch. Essi sono costituiti da depositi torbiditici ai quali sono spesso associati banchi arenaceo-siltitici gradati ed argilliti. Le associazioni faunistiche permettono un riferimento al Cretaceo superiore-Paleocene.

Formazione di Lanciaia: poggia in discontinuità sul Flysch di Monteverdi M.mo sia direttamente sia tramite un complesso ofiolitifero. La Formazione di Lanciaia è costituita da un insieme eterogeneo di sedimenti la cui parte più tipica è rappresentata da una arenaria gradata disposta in sequenze ritmiche di potenza variabile tra le quali sono intercalati potenti livelli di brecce e di conglomerati ofiolitiferi. Nella parte alta della formazione sono frequenti strati di marne e di calcari marnosi a grana molto fine; talvolta possono comparire anche livelli di argilliti e argilliti siltose varicolori con intercalati lenti e strati di brecce prevalentemente ofiolitici (Paleocene-Eocene medio).

B2) Zona ligure interna

Unità ofiolitifera

E' costituita da porzioni di rocce magmatiche (ofioliti) e dalla loro originaria copertura sedimentaria.

a) Ofioliti: sono rocce magmatiche, basiche ed ultrabasiche, intrusive ed effusive come Serpentine, Gabbri e Basalti.

b) Radiolariti: sono rocce silicee, in strati piuttosto sottili, costituite prevalentemente da Radiolari (Giurassico superiore).

c) Calcari a Calpionelle: è una formazione costituita da calcari e calcari marnosi grigio- chiari, a grana molto fine in strati di spessore variabile a cui talvolta sono intercalate marne argillose e argille fissili. La datazione di queste unità è fatta sulla base del loro contenuto in Calpionelle (Cretaceo inferiore).

d) Argille con calcari Palombini: nell'area in esame è la formazione più estesa di tutta l'Unità ofiolitifera. E' rappresentata da argille, argille siltose e marne di colore variabile dal grigio scuro al

marrone; vi sono intercalati strati di calcari silicei a grana fine, di colore grigio piombo. Subordinatamente sono presenti anche intercalazioni di arenarie quarzose a cemento in parte calcareo.

### **C) FORMAZIONI DEL NEOAUTOCTONO**

La sedimentazione neogenica nella Provincia di Siena da riferire a depositi lacustri e marino-lagunari del Miocene superiore e a quelli marini del Pliocene. Tali sedimenti poggiano discordanti su un substrato corrugato costituito per la maggior parte dalle unità alloctone liguri ed austroalpine. Con il termine Neautoctono vengono indicati tutti i sedimenti che non hanno subito traslazioni orizzontali, ma solo dislocazioni a prevalente componente verticale.

#### **C1) I sedimenti del Miocene superiore**

La paleogeografia dell'area in esame ha subito notevoli variazioni nel corso del Miocene superiore e del Pliocene: in questo intervallo di tempo un ruolo significativo ha svolto la Dorsale medio-toscana che si sviluppa da Iano, attraverso la Montagnola Senese, Monticiano, Roccastrada, Monte Leoni si estende fin nei pressi di Grosseto.

#### **a) Versante occidentale della Dorsale medio-toscana**

##### **Sedimenti lacustri basali (Serie lignitifera)**

La successione, pur presentando notevoli eteropie tra le formazioni che la compongono, può essere così sintetizzata dall'alto al basso:

- argille e argille sabbiose a Lymnocardium;
- marne e marne sabbiose con opercoli di Bythinia;
- conglomerati poligenici a scarsa matrice argilloso-sabbiosa.

##### **Sedimenti marini e marino-lagunari**

Sui sedimenti lacustri del Miocene superiore giacciono i depositi marini, marino-lagunari e di lago-mare del Messiniano. Essi sono caratterizzati da una grande varietà di facies, sia in senso verticale che in senso laterale e da frequenti rapporti di eteropia.

Le litofacies possono essere riunite in due gruppi di formazioni:

- Gruppo basale, o delle formazioni marine sottostanti ai gessi
- Successione gessifera.

#### **b) Versante orientale della Dorsale medio-toscana**

La dorsale costituì nel Miocene superiore un elemento strutturale positivo di grande importanza che impedì l'avanzata del mare che aveva invaso la zona costiera della Toscana meridionale. Nella parte ad Est della dorsale si svilupparono ampi bacini lacustri: i principali sono il Bacino del Casino che si estende a Sud di Monteriggioni, al di sopra delle formazioni metamorfiche della Montagnola Senese e della Dorsale Monticiano- Roccastrada ed il Bacino dell'Ombrone-Orcia. Le varie litofacies che caratterizzano le formazioni sono costituite da argille, conglomerati e marne.

### **D2) I sedimenti del Pliocene**

Il ciclo sedimentario del Pliocene inizia con una trasgressione marina nella Toscana meridionale con il mare che oltrepassa i margini dei vecchi bacini. Anche la dorsale medio-toscana viene superata ed in gran parte sommersa e il mare per la prima volta invade la fascia orientale della zona. La trasgressione

pliocenica non presenta caratteristiche uniformi in tutta l'area. Il passaggio Miocene-Pliocene è segnato da un cambiamento di facies senza apprezzabile discordanza angolare.

#### **D3) La successione pliocenica**

La serie pliocenica è rappresentata per grandi linee da:

- a) sedimenti clastici grossolani di ambiente prossimale di facies trasgressiva;
- b) argille e argille sabbiose di ambiente distale;
- c) arenarie di ambiente nuovamente prossimale spesso regressive.

I principali bacini pliocenici presenti nella Provincia di Siena sono: Bacino di Volterra-Val d'Era, Bacino di Pomarance-Anqua-Chiusdino, Bacino della Val d'Elsa, Bacino di Siena, Bacino di Radicofani, Bacino della Val di Chiana-Val di Tevere, Bacino dell'Ombrone- Orcia.

#### **D4) I sedimenti del Quaternario**

Sono essenzialmente costituiti da depositi fluviali, lacustri e da travertini.

a) Depositi fluviali e lacustri: lungo i principali corsi d'acqua si estendono ampie coltri alluvionali costituite da alluvioni recenti in fase di evoluzione e da alluvioni terrazzate di età più antica che si trovano a varie altezze sopra gli alvei attuali.

b) Travertini: essi poggiano discordanti sui terreni pliocenici del Neoautoctono; si depositano di solito in prossimità della sorgente adattandosi alla morfologia del terreno. I principali affioramenti sono riscontrabili a Rapolano e nella zona Colle Val d'Elsa-Staggia.

### **3.2 ELEMENTI DI TETTONICA**

La storia deformativa dell'area è complessa, essendovi state riconosciute sei fasi di cui tre prealpine e tre "alpine". La deformazione "alpina" comprende due fasi con pieghe isoclinali e sovrascorrimenti (la prima) e pieghe a ginocchio (la seconda) a direzione NS e vergenza Est, ed una terza fase con pieghe trasversali a quelle delle fasi precedenti (EW). L'intensità della deformazione decresce dall'interno verso l'esterno, infatti le pieghe isoclinali della prima fase "alpina" sono presenti solo nella unità superiore, sovrascorsa da W ad E. Le pieghe trasversali potrebbero essere messe in relazione con la genesi dell'arco strutturale.

La Montagnola Senese e la Dorsale Monticiano-Roccastrada costituiscono una parte della dorsale metamorfica toscana.

Recenti studi (Costantini et al., 1988) hanno messo in evidenza due importanti sottounità tettoniche separate da una superficie di sovrascorrimento a basso angolo di estensione regionale:

- Monte Leoni - Montagnola Senese (inferiore).
- Montepescali - Monte Quioio - Iano (superiore).

Alla notevole fratturazione subita dalle formazioni litologiche durante l'evoluzione dell'Appennino settentrionale nella fase compressiva si sovrappone una tettonica distensiva che determina una fittissima rete di faglie dirette che originano delle strutture a blocchi fagliati.

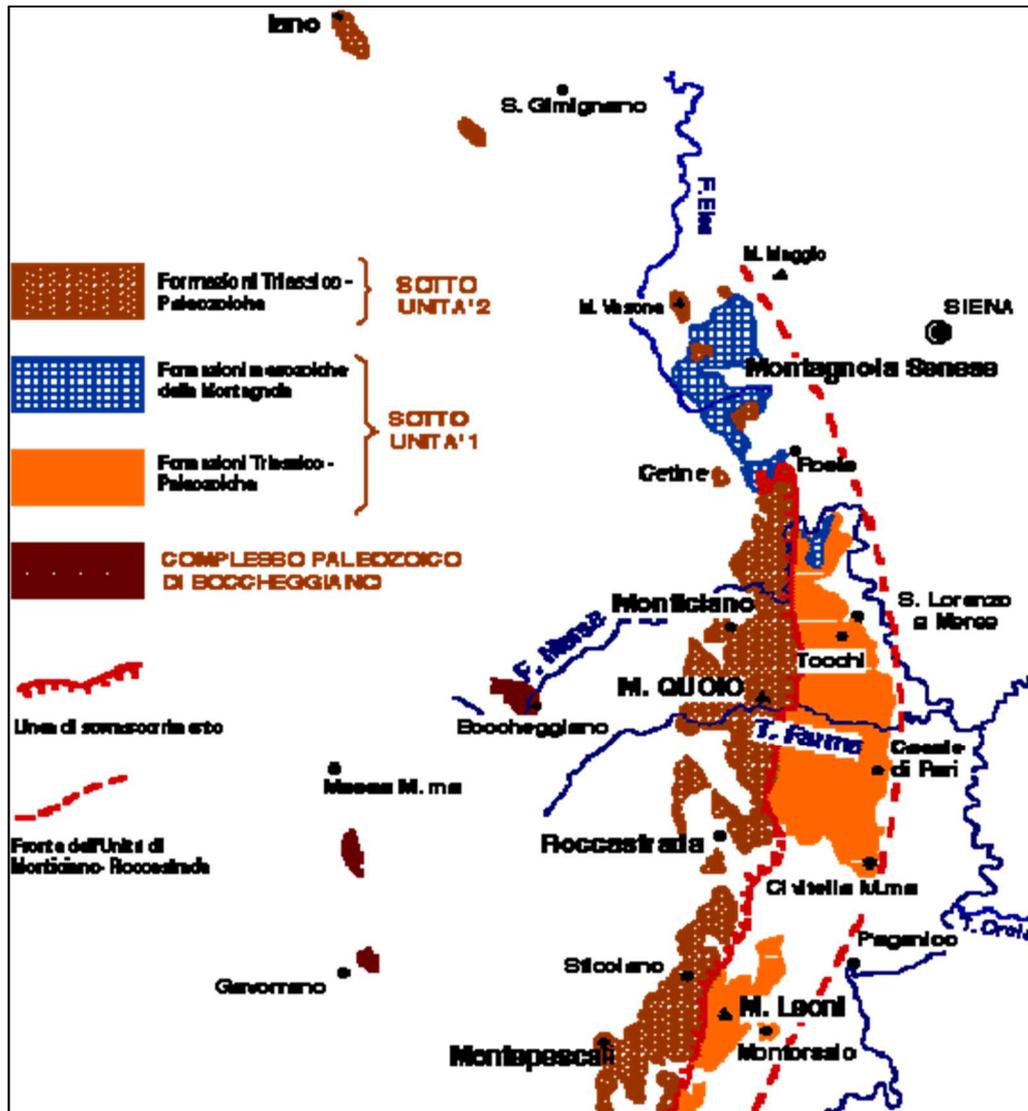
Le deformazioni compressive sono seguite nel tempo da deformazioni distensive, pressoché assiali. I rapporti spazio - temporali fra strutture plicative e distensive mostra chiaramente che il campo deformativo è migrato verso Est.

Il modello proposto da La Vecchia Minelli Pialli 1984 di un assottigliamento crostale mediante faglie dirette a basso angolo "detachment faults" caratterizzate dalla sovrapposizione tettonica di terreni più

**RELAZIONE SISMICA**

giovani su quelli più vecchi con il risultato di una sparizione di grosse porzioni di serie. Tale modello potrebbe spiegare il "Megaboudinage" (Baldacci et al., 1967 – Boccaletti et al., 1981) che caratterizza le serie ridotte della Toscana Marittima.

**MONTAGNOLA SENESE e DORSALE MONTICIANO-ROCCASTRADA**  
 (da Costantini et al., 1988)



Le serie ridotte sono caratterizzate dalla sovrapposizione dei Complessi Liguri sul Calcare Cavernoso o sulle evaporiti triassiche con interposti lembi lenticolari e discontinui di serie mesozoico-terziaria. Una importanza particolare per l'evoluzione dell'Appennino è data dalla presenza di lineazioni tettoniche con direttrice NE-SO associate ad altri sistemi di faglie orientati NO-SE.

La dorsale presenta un assetto geologico-strutturale di tipo monoclinale, con strati immergenti a S-SE.

### 3.3 ASPETTI MORFOLOGICI

L'area oggetto dell'intervento è parte integrante della dorsale Monticiano-Roccastrada caratterizzata da una morfologia di tipo collinare con rilievi a sommità arrotondata.

La dorsale si sviluppa secondo una direttrice ad andamento N-S e presenta rilievi di modesta altitudine (P.gio Castelaccia 379 m - P.gio al Fungo 414 m - P.gio dei Leccioni 591 m) con spianate sommitali e versanti con pendenze piuttosto accentuate che si alternano a versanti con pendenza debole.

Dal punto di vista geomorfologico si rileva una generale stabilità dell'area testimoniata dalla assenza di fenomeni di dissesto idrogeologico generalizzato e/o diffuso lungo tutto il tratto della infrastruttura di progetto.

Si rilevano diffusamente blocchi di roccia disarticolati, facilmente mobilizzabili, legati alla intensa cataclasi subita dalle formazioni rocciose nel corso della fase orogenetica e della fase distensiva.

La presenza di numerose dislocazioni appartenenti a sistemi disgiuntivi a direttrice appenninica (NO-SE) e antiappenninica (NE-SO) determinano una frammentazione degli ammassi litoidi tali da conferire ai medesimi un aspetto brecciato.

La complessa situazione strutturale si rileva osservando il sistema idrografico superficiale; infatti si rivengono diverse anomalie del tracciato e dello spartiacque superficiale che stanno ad indicare il controllo operato dalla tettonica sullo sviluppo del reticolo idrologico locale. I corsi d'acqua appaiono fortemente incassati all'interno della struttura con reticolo riconducibile al tipo sub-dendritico.

Il fosso Lanzo che presenta una direzione di scorrimento da NO verso SE segue un tracciato articolato con meandri incassati che denotano un controllo di tipo strutturale (lineazioni tettoniche con direzione appenninica e antiappenninica) sullo sviluppo del reticolo idrografico.

## 4. INDAGINI ESEGUITE

Il Compartimento ANAS della Viabilità per la Toscana, ha eseguito una prima campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche lungo il tracciato stradale ed in corrispondenza delle opere d'arte, nel corso dell'anno 1999 per la redazione del progetto di massima. Nella suddetta campagna furono eseguite indagini lungo tutto il tronco Grosseto-Siena e alcune di esse interessarono i lotti in oggetto.

Successivamente, nell'anno 2006, secondo un programma concordato con l'Anas – Direzione Centrale Programmazione, Progettazione, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche.

### 4.1 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 1999

La campagna del 1999 ha previsto 17 sondaggi a carotaggio continuo, posizionati in prossimità dei quattro viadotti e della galleria in progetto (Tabella 1). Sono allegati elaborati planimetrici con indicata l'ubicazione dei sondaggi, e profili geotecnici con le colonne stratigrafiche.

Le perforazioni hanno tipicamente una lunghezza di 20 - 30 m tranne il sondaggio S1 GPT, realizzato sulla galleria "Poggio Tondo" nella zona a maggiore copertura, in cui è stata raggiunta la profondità di 46.00 m. I sondaggi sono stati eseguiti con diametro di perforazione di 105 mm e recupero di carote con diametro di 78 mm; per migliorare la qualità del campionamento è stato necessario utilizzare corone diamantate.

Otto perforazioni sono state attrezzate con piezometri a tubo aperto, mentre in altre due perforazioni (S3CAL e S4LCO) sono stati installati tubi inclinometrici di lunghezza rispettivamente pari a 20 e 30 m.

Sulla dorsale attraversata dalla galleria "Poggio Tondo" sono stati eseguiti quattro profili geofisici a rifrazione, ciascuno della lunghezza di 110 m, con una equidistanza fra i geofoni di dieci m. Tre sezioni geofisiche sono parallele all'asse della galleria mentre la quarta sezione, ubicata in prossimità dell'imbocco lato Grosseto, è trasversale all'asse.

Dalle cassette di sondaggio sono stati prelevati campioni per prove di laboratorio di tipo compressione uniassiale, carico puntuale (Point Load Test) e trazione indiretta (Brasiliana).

**RELAZIONE SISMICA**

Denominazione	Posizione	Quota (m slm)	Fondo foro da pc (m)	Falda prof da pc (m)	Attrezzato con
S1CAL	viadotti Calcinai A/B	246.50	20.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S3CAL	viadotto Calcinai A	222.50	22.00	-	Inclinometro
S4CAL	viadotto Calcinai A	211.50	30.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S5CAL	spalle del viadotto Calcinai B	231.00	20.00	-	-
S4LOR	spalle del viadotti S. Lorenzo B	222.50	25.00	-	-
S1LCO	spalle del viadotti S. Lorenzo B	216.50	23.00	-	-
S2LCO	viadotti La Coscia A/B	162.00	20.00	0.50	Piezometro Tubo Aperto
S3LCO	spalle dei viadotti La Coscia A/B	167.00	20.00	5.50	Piezometro Tubo Aperto
S4LCO	spalle dei viadotti La Coscia A/B	180.00	30.00	-	Inclinometro
S6LCO	spalle del viadotto La Coscia B	195.00	20.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S1LAN	viadotto Lanzo A	193.00	20.00	-	-
S2LAN	viadotti Lanzo A/B	178.50	20.00	13.80	Piezometro Tubo Aperto
S3LAN	viadotti Lanzo A/B	161.00	20.00	-	-
S3LAN B	viadotti Lanzo A/B	161.50	20.00	-	-
S5LAN	viadotto Lanzo B	193.00	20.00	-	Piezometro Tubo Aperto
S1GPT	Gallerie Poggio Tondo A/B	224.50	46.00	-	-
S2GPT	Galleria Poggio Tondo B	192.00	20.00	-	-
S3GPT	Galleria Poggio Tondo B	189.50	20.00	4.50	Piezometro Tubo Aperto

Tabella 1 - Sondaggi della campagna di indagine del 1999.

#### 4.2 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2006

La campagna del 1999, descritta nel paragrafo precedente, è stata integrata e completata con le indagini del 2006, riassunte schematicamente in Tabella 2.

Le lavorazioni consistono in prospezioni sismiche a rifrazione nell'ambito delle indagini geofisiche; sondaggi a carotaggio continuo, prove pressiometriche, dilatometriche, di permeabilità, di carico su piastra e scavo di pozzetti esplorativi. Inoltre prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi (i cui risultati sono argomento del prossimo paragrafo) e dei pozzetti esplorativi, nell'ambito della caratterizzazione geotecnica delle terre e degli ammassi rocciosi; infine le misurazioni delle profondità delle falde freatiche rinvenute nel corso dei sondaggi geognostici, nell'ambito del rilievo di strumentazione geotecnica.

**RELAZIONE SISMICA**

Cod. ID	Opera	Tipologia d'indagine	X	Y	Quota (m s.l.m.)
PG*1 GPT	Trasv. Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686258.2901	4765351.1613	192.80
	"	"	1686355.0620	4765413.2696	260.40
PG*2 GPT	Asse Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686247.0399	4765488.1427	218.60
	"	"	1686373.2580	4765295.6889	248.30
PG*3 GPT	Imb. Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686421.5180	4765139.2862	190.40
	"	"	1686472.7506	4765119.3879	175.50
PG*4 GPT	Imb. Gall. Poggio Tondo	Prospezione geotomografica	1686193.0175	4765500.7582	196.80
	"	"	1686238.3245	4765531.6092	200.40
S*1 GPT	Gall. Poggio Tondo	Sondaggio geognostico	1686280.8967	4765498.0721	217.00
S*2 GPT	Gall. Poggio Tondo	Sondaggio geognostico	1686376.9016	4765237.6902	230.80
PG*1 LAN	Viadotto Lanzo	Prospezione geotomografica	1686449.5983	4765031.6298	170.90
	"	"	1686502.7242	4765017.3948	167.10
S*1 LAN	Viadotto Lanzo	Sondaggio geognostico	1686475.6311	4765053.7886	162.50
TP1*LCO	Viadotto La Coscia	Pozzetto esplorativo	1686532.7327	4764387.1141	166.00
TP2*LCO	Viadotto La Coscia	Pozzetto esplorativo	1686561.2213	4764531.9951	175.90
TP3*LCO	Viadotto La Coscia	Pozzetto esplorativo	1686549.1945	4764548.1151	176.40
PG*1 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686528.4993	4764447.5273	191.80
	"	"	1686532.6861	4764752.8943	188.30
PG*2 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686484.7517	4764286.3989	209.80
	"	"	1686539.1529	4764287.7197	206.30
PG*3 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686506.5946	4764271.1464	216.60
	"	"	1686506.8979	4764326.1247	192.10
PG*4 LCO	Viadotto La Coscia	Prospezione geotomografica	1686488.2829	4764393.5318	183.80
	"	"	1686536.3562	4764420.0556	180.10
S*1 LCO	Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686550.4635	4764671.0525	167.90
S*2 LCO	Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686548.2583	4764565.0433	175.10
CP2*LCO	Pila Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686469.0464	4764383.2148	164.10
CS4*LCO	Viadotto La Coscia	Sondaggio geognostico	1686466.3217	4764447.7656	207.50
PG1*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686486.3173	4764075.0935	197.70
	"	"	1686536.1095	4764098.6019	193.20
PG2*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686524.1783	4764054.9217	219.00
	"	"	1686517.4755	4764109.5117	212.10
PG2*LOR bis	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686514.4903	4764126.9511	202.30
	"	"	1686509.8215	4764181.5832	218.90
PG3*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686526.4448	4763982.3515	237.10
	"	"	1686519.6469	4764037.1326	219.70
PG4*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Prospezione geotomografica	1686508.7874	4763985.5057	232.70
	"	"	1686564.3596	4763987.1969	230.50
CS2*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Sondaggio geognostico	1686503.800	4763995.3283	229.80
CS3*LOR	Viadotto S. Lorenzo	Sondaggio geognostico	1686487.8896	4764172.3358	222.00
S*2 CAL	Viadotto Calcinai	Sondaggio geognostico	1686614.0493	4763782.5750	226.10
CP1*CAL bis	Pila Viadotto Calcinai	Sondaggio geognostico	1686508.1917	4763840.4093	211.20
CS1*CAL	Viadotto Calcinai	Sondaggio geognostico	1686508.6298	4763945.9575	231.60
TP1	Rilevato	Pozzetto esplorativo	1686508.2837	4763533.2187	251.00
TP2	Rilevato	Pozzetto esplorativo	1686052.7722	4763707.2137	187.60

Tabella 2 - Prove e sondaggi della campagna di indagine del 2006.

In particolare sono stati eseguiti 12 sondaggi (Tabella 3) tramite sonda a rotazione CMV MK-420F cingolata.

**RELAZIONE SISMICA**

Denominazione	Posizione	Quota (m slm)	Fondo foro da pc (m)	Attrezzato con	Prove in sito
S*1 Lan	viadotto Lanzo A	162.50	30.00	Piezometro Tubo Aperto	-
S*1 Lco	esterno	167.90	25.00	Piezometro Tubo Aperto	-
S*2 Cal	esterno	226.10	20.00	Piezometro Tubo Aperto	Pressiometriche
S*1 Gpt	Galleria Poggio Tondo A	217.00	31.00	Piezometro Tubo Aperto	2 Dilatometriche + 2 Lugeon
S*2 Gpt	Gallerie Poggio Tondo A/B	230.80	60.00	Piezometro Tubo Aperto	Dilatometriche + 2 Lugeon
S*2 Lco	esterno	175.10	20.00	Piezometro Casagrande	Pressiometriche
CS2*Lor	spalle del viadotto S. Lorenzo B	229.80	20.00	-	
CS3*Lor	spalle del viadotto S. Lorenzo B	222.00	8.00	-	
CS1*Cal	viadotto Calcinaï B	231.60	7.00	-	
CS4*Lco	spalle del viadotti La Coscia B	207.50	8.00	-	
CP1*Cal bis	viadotto Calcinaï B	211.20	12.00	-	Pressiometriche
CP2*Lco	viadotto La Coscia B	164.10	12.00	-	

Tabella 3 - Sondaggi della campagna di indagine del 2006.

Le perforazioni sono state eseguite con metodologia "carotaggio continuo a secco o a limitata circolazione d'acqua" con impiego di carotiere singolo e doppio, corone dentate al widia e corone diamantate; i prelievi dei campioni indisturbati sono avvenuti con utilizzo di campionatore Shelby in acciaio a pareti sottili, mentre per quanto riguarda i campioni rimaneggiati (così come per gli spezzoni di roccia e le carote di calcestruzzo), si è provveduto a catalogarli e inserirli in bustine plastificate idonee alla loro conservazione. Successivamente tutti i campioni prelevati sono stati inviati in laboratorio per l'esecuzione delle diverse prove geotecniche.

Dei 12 sondaggi realizzati, cinque sono stati condizionati a piezometro del tipo a tubo aperto (con tratti ciechi e tratti microfessurati) tra cui i sondaggi S\*1 Lan, S\*1 Lco, S\*2 Cal, S\*1 Gpt e S\*2 Gpt, alle cui sommità sono stati alloggiati chiusini di metallo provvisti di lucchetto (solamente per il sondaggio S\*1 Lco è stato utilizzato un pozzetto carrabile di protezione in metallo); un solo sondaggio, S\*2 Lco, è stato condizionato a piezometro del tipo "Casagrande" (previa spurgatura) alla cui sommità è stato posizionato un chiusino di metallo provvisto di lucchetto.

Dei restanti 6 sondaggi, 4 (CS2\*Lor, CS3\*Lor, CS1\*Cal e CS4\*Lco) sono stati eseguiti sulle spalle dei viadotti S. Lorenzo, Calcinaï e La Coscia, mentre i sondaggi CP1\*Cal bis e CP2\*Lco (inclinato di 22° rispetto alla verticale) hanno caratterizzato rispettivamente una pila del viadotto Calcinaï e una pila del viadotto La Coscia.

Per quanto riguarda questi ultimi 6 sondaggi (i quattro delle spalle e i due delle pile), non sono stati installati piezometri di alcun genere all'interno dei fori.

## 5. INQUADRAMENTO STORICO SISMOLOGICO

La zona in studio è posta in un settore definito nell'insieme "Bacini neogenici tosko-laziali" (Aquater, 1981), per l'evoluzione tettonica che nel corso del Neogene ha interessato il settore suddetto. Nello schema neotettonico d'Italia, redatto dal CNR nell'ambito del Progetto finalizzato "Geodinamica" l'area peritirrenica, di cui la zona in studio fa parte, rientra tra le aree in cui si è avuto un abbassamento prevalente seguito da un sollevamento in tempi molto recenti, con alcune aree soggette ad un sollevamento forte e pressochè continuo, secondo uno schema a blocchi.

In tale contesto dinamico l'area risulta investita da un'attività sismica che interessa prevalentemente il settore senese.

Secondo i dati di sismicità storica riportati nel catalogo dei terremoti per il periodo 1000-1980 (C.N.R. – Progetto Finalizzato Geodinamica, Postpischl, 1985), il Grossetano, a Sud dell'area di progetto, è stato interessato da pochi eventi (fino a 10), con profondità focali fino a 30 km ed intensità minori o uguali al V grado M.C.S.; il Senese, a Nord dell'area di progetto, è stato invece interessato da molti eventi (fino a 100), con profondità focali fino a 30 km ed intensità fino all'VIII grado M.C.S.

L'area di progetto risente in particolare della sismicità della zona senese.

I territorio comunale di Civitella Paganico (GR), in cui è compreso il tracciato stradale di progetto, rientrano tra quelli classificati sismici di II° categoria (grado di sismicità  $S = 9$ ) nella precedente classificazione sismica nazionale relativa ai decreti fino all'anno 1984.

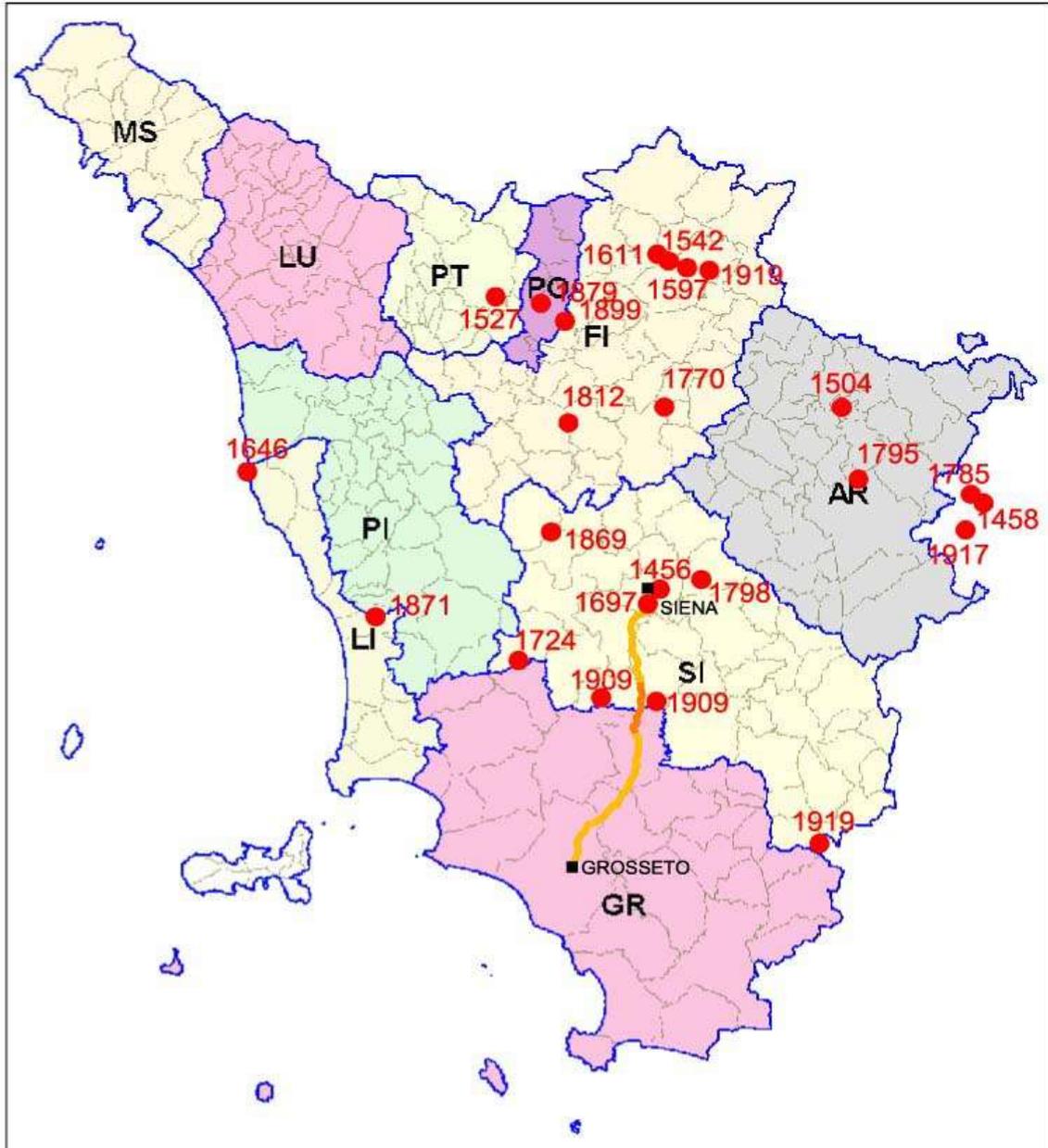
### Eventi sismici nell'area studiata

Nella figura seguente sono riportati i principali eventi sismici di memoria storica avvenuti in Toscana, dati forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

TERREMOTI INTENSI IN TOSCANA

Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

The Catalogue of Strong Italian Earthquakes on the web



● 1871 Ubicazione dell'epicentro e data

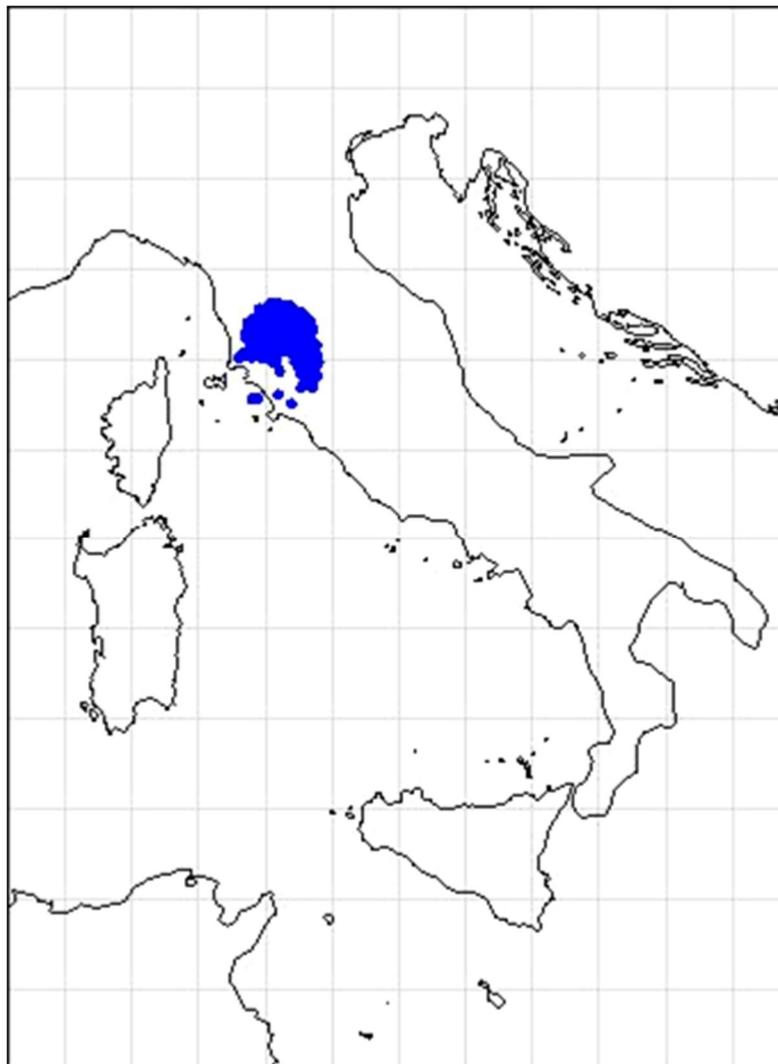
— Tracciato stradale in oggetto

Sono state consultate anche altre banche dati: in particolare è stata effettuata una ricerca dei terremoti storici con magnitudo superiore a 4 nella zona interessata dal tracciato di progetto (con ubicazione dell'epicentro compresa nel raggio di 50 km).

Fonte utilizzata: ITALIAN EARTHQUAKE DATABASE (scritto da Silvia Castellaro, su suggerimento di: prof. Francesco Mulargia, prof. Dario Albarello, prof. Paolo Gasperini e Servizio Sismico Nazionale).

I risultati sono riportati sulla planimetria in figura seguente e sono elencati nella tabella sottostante.

TERREMOTI STORICI CON MAGNITUDO SUPERIORE A 4



**RELAZIONE SISMICA**

ID	Fonte	Data	Latitudine	Longitudine	Epicentro	Magnitudo
1	CPTI		43.25	11.25	Etruria	6.4
67	CPTI		42.88	11.68	Abbadia S. Salv.	5.1
80	CPTI	16/12/1320	43.32	11.33	Siena	5.2
103	CPTI	27/12/1361	43.32	11.33	Siena	5.1
135	CPTI	07/08/1414	43.27	11.12	Toscana Occ.	5.7
136	CPTI		43.32	11.33	Siena	4.7
143	CPTI		43.32	11.33	Siena	5.1
163	CPTI	03/09/1467	43.32	11.33	Siena	5.1
182	CPTI	30/09/1486	43.32	11.33	Siena	4.7
227	CPTI	11/11/1530	43.32	11.33	Siena	4.9
253	CPTI	13/04/1558	43.55	11.29	Siena	5.1
301	CPTI	25/01/1603	43.32	11.33	Siena	4.7
380	CPTI	24/03/1679	43.25	11.44	Siena	4.7
423	CPTI	20/09/1697	43.32	11.33	Siena	5.1
441	CPTI	14/04/1705	43.33	11.33	Siena	4.9
480	CPTI	11/12/1724	43.2	11.02	Travale	5.4
482	CPTI	09/04/1726	43.25	11.44	Monte Oliveto	4.7
518	CPTI	01/10/1741	43.32	11.33	Siena	5.2
576	CPTI	30/11/1768	43.58	11	Certaldo	4.9
608	CPTI	03/01/1780	43.18	11.55	Monte Oliveto	4.7
657	CPTI	20/10/1787	43.33	11.33	Siena	4.9
685	CPTI	26/05/1798	43.34	11.42	Siena	5.2
698	CPTI	18/10/1804	43.33	11.08	Tegoia	5.2
723	CPTI	11/09/1812	43.67	11.14	Val Di Pesa	5.4
861	CPTI	12/05/1848	43.28	11.17	Tegoia	4.9
888	CPTI	17/05/1853	43.33	11.33	Siena	4.9
890	CPTI	02/08/1853	43.47	10.81	Volterrano	4.7
954	CPTI	01/11/1867	43.33	11.33	Siena	4.9
958	CPTI	17/06/1868	42.87	11.54	Arcidosso	5.1
959	CPTI	07/02/1869	43.33	11.33	Siena	5.2
962	CPTI	26/09/1869	43.5	11.08	San Gimignano	5.2
973	CPTI	29/07/1871	43.3	10.62	Guardistallo	5.2
975	CPTI	22/10/1871	43.42	11.33	Radda	5.2
1160	CPTI	15/02/1890	43.48	11.17	Colle Val d'elsa	4.7

**RELAZIONE SISMICA**

1242	CPTI	25/10/1895	43.47	11.07	S.gimignano	5.1
1271	CPTI	22/05/1897	43.47	11	S.gimignano	5.1
1284	CPTI	15/11/1897	43.03	11.7	Pienza	4.9
1333	CPTI	28/08/1900	43.48	11.3	Castellina	4.7
1350	CPTI	22/09/1901	43.62	10.95	Castelnuovo	4.9
1368	CPTI	17/12/1902	42.84	11.6	Santa Fiora	5.1
1397	CPTI	07/09/1904	42.88	11.55	Arcidosso	4.7
1409	CPTI	12/02/1905	42.86	11.56	Santa Fiora	4.9
1434	CPTI	21/04/1906	43.45	11.14	Val d'elsa	5.1
1447	CPTI	20/12/1906	43.53	11.2	Tavarnelle	4.7
1466	CPTI	20/12/1907	43.48	11.37	Radda	5.2
1481	CPTI	26/06/1908	43.32	11.32	Sovicille	4.9
1511	CPTI	25/08/1909	43.15	11.4	Murlo	5.5
1554	CPTI	13/09/1911	43.4	11.33	Chianti	5.2
1598	CPTI	15/05/1914	43.4	11.4	Lucignano	4.9
1636	CPTI	02/08/1916	43.3	11	Radicondoli	4.7
1711	CPTI	24/11/1920	43.3	11.3	Sovicille	4.7
1770	CPTI	21/03/1925	43.2	10.9	Castelnuovo	4.9
1779	CPTI	03/09/1925	42.85	11.6	Abbadia	4.7
1783	CPTI	08/01/1926	42.85	11.63	Abbadia S. Salv.	5.1
1806	CPTI	21/04/1928	43.03	11.5	Montalcino	4.9
1887	CPTI	19/10/1933	43.2	10.9	Castelnuovo	4.9
1955	CPTI	31/01/1940	43.36	11.39	Siena	4.8
1956	CPTI	04/02/1940	42.88	11.62	Abbadia	4.9
2012	CPTI	24/12/1947	43.1	11.6	S.giovanni	4.9
2024	CPTI	03/11/1948	42.86	11.56	Monte Amiata	5.1
2095	CPTI	22/02/1956	43.33	11.33	Siena	5.1
2178	CPTI	16/09/1962	43.6	11.3	Mercatale	4.8
2256	CPTI	26/06/1968	43.3	11.2	Tegonia	4.9
2286	CPTI	19/08/1970	43.25	10.79	Colline Metallif.	5.1
31401	CSTI	08/08/1992	42.97	11.53		5.1
31498	CSTI	22/08/1992	42.57	11.3		4.5
36977	CSTI	17/11/1993	42.62	10.7		4.1

45788	CSTI	04/04/1996	43.25	11.62		4.3
47577	CSTI	28/08/1996	43.67	11.13		4
57182	INGV	20/05/1998	43.17	10.78	Colline Metallif.	4

## 6. NUOVA CLASSIFICAZIONE SISMICA

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" è stata introdotta una nuova classificazione sismica del territorio nazionale articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A).

I valori convenzionali di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Zona	Valore di $a_g$
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella e intervallati da valori non minori di 0,025. In tal caso, i vari territori saranno assegnati alle sottozone in base ai valori di  $a_g$  con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

Con le Delibere n. 604 del 16.06.2003 e n. 751 del 28.07.2003 la Giunta Regionale ha recepito la riclassificazione sismica dei comuni della Regione Toscana contenuta nell'Allegato 1 all'Ordinanza PCM 3274/03 assegnando ai comuni toscani la corrispondente zona sismica ovvero: in zona 2 n°186 Comuni, in zona 3 n°77 Comuni e in zona 4 n°24 Comuni come riportata in Figura 3.

Come indicato nella seguente Tabella 4 il Comune interessato dal tracciato in esame, Civitella Paganico, ricade in zona sismica 2.

Comune	Zona
Civitella Paganico	2

Tabella 4 - Classificazione sismica del comune interessato dal tracciato in esame secondo la OPCM 3274/2003.

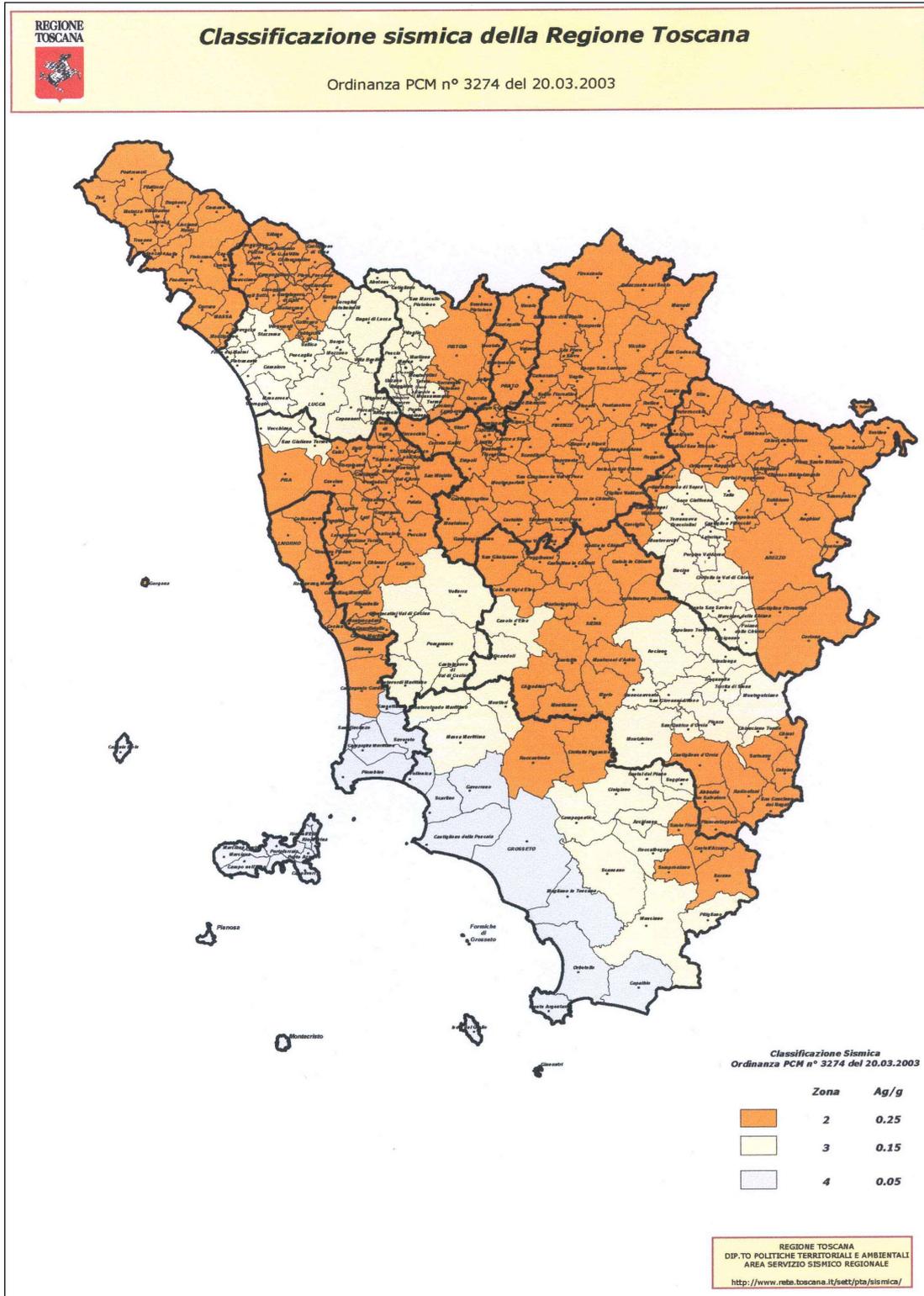


Figura 3 - Classificazione Sismica della Regione Toscana secondo l'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003.

## RELAZIONE SISMICA

Nel corso del 2006 una nuova Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" - ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04, quale riferimento ufficiale, ed ha definito i criteri nazionali che ciascuna Regione deve seguire per l'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. Questo strumento normativo, per la prima volta, ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio secondo parametri sismologici svincolati dal solo criterio politico del limite amministrativo utilizzato fino a quel momento.

Con Delibera 431 del 19 giugno 2006 la Giunta Regionale della Toscana recepisce l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 2006 e approva la nuova riclassificazione sismica del territorio regionale. Secondo tale Delibera sono state distinte le seguenti zone sismiche:

- zona 2: n. 90 Comuni (80 confermati e 10 passati da zona 3 a 2);
- zona 3S: n.106 Comuni (provenienti da zona 2);
- zona 3: n. 67 Comuni (confermati dalla precedente classificazione);
- zona 4: n. 24 Comuni vengono (confermati dalla precedente classificazione).

In Figura 4 viene schematizzata la riclassificazione sismica di giugno 2006 e in legenda è evidenziato il confronto tra la classificazione sismica dei Comuni toscani secondo l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 3274 del 2003 e la riclassificazione sismica secondo la Delibera di Giunta Regionale n. 431 del 19 giugno 2006; la nuova riclassificazione sismica ha introdotto la nuova zona sismica 3S. La zona 3S è stata assegnata a quei Comuni (106) "che sarebbero potuti passare in zona 3 (a bassa sismicità) ma anche restare nella attuale zona 2 (a media sismicità); in tale zona 3S non è stato diminuito, comunque, il livello di protezione precedente e le costruzioni dovranno essere progettate e realizzate con le azioni sismiche della zona 2".

In base a tale delibera il Comune di Civitella Paganico, passa dalla zona 2 alla zona 3S (Tabella 5).

Con deliberazione di G.R.T. del 26.11.2007, n. 841 la Regione Toscana ha, inoltre, individuato delle zone a maggior rischio sismico per complessivi 81 comuni, nelle quali è massima la priorità per lo svolgimento delle attività di prevenzione sismica previste nei programmi regionali. Tale delibera integra e modifica le precedenti deliberazioni di G.R.T. del 16.06.2003 n. 604 e del 28.07.2003 n. 751.

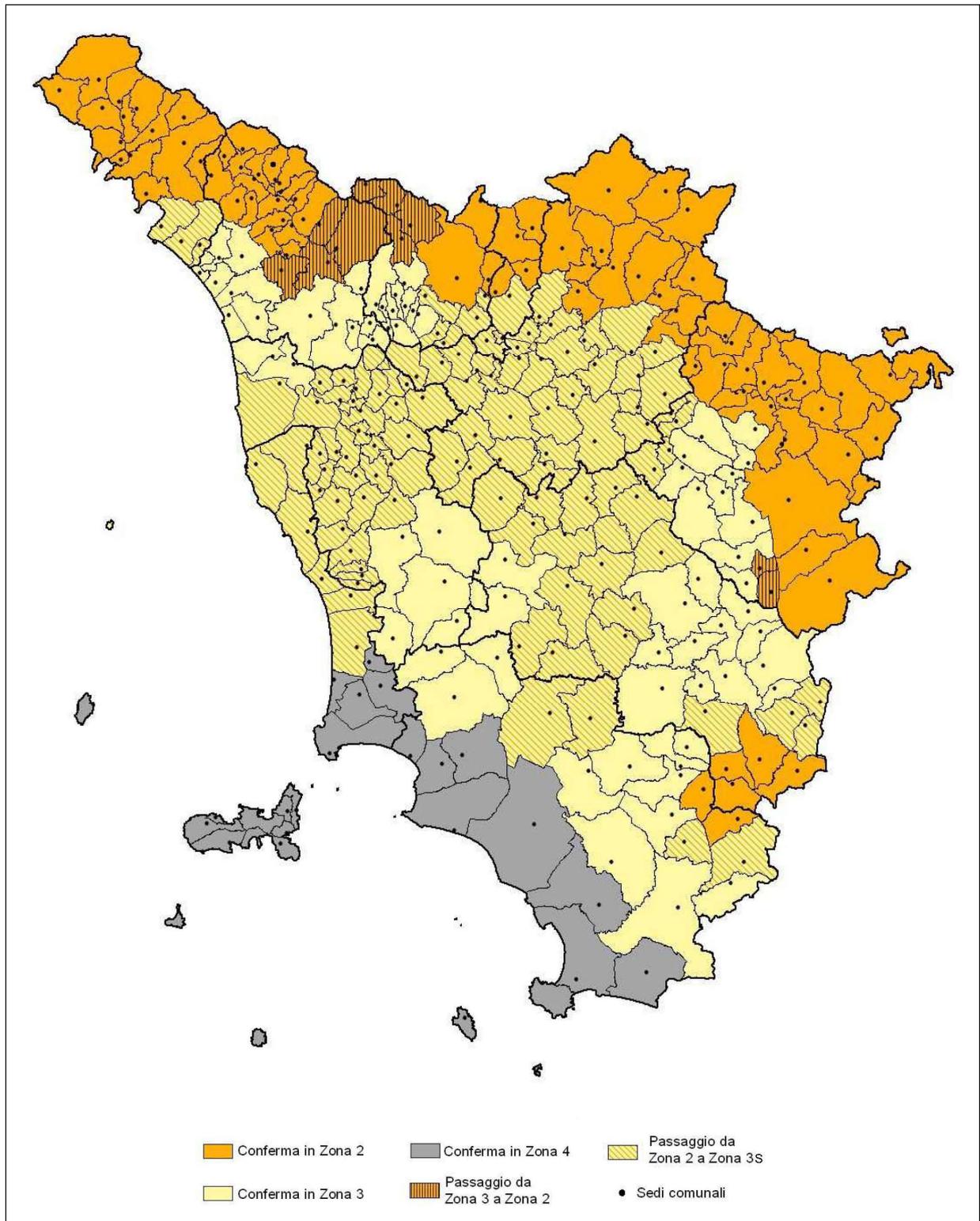


Figura 4 - Confronto tra la classificazione sismica dei Comuni toscani secondo l'OPCM 3274/03 e la classificazione sismica di Giugno 2006.

**RELAZIONE SISMICA**

Comune	Zona sismica ai sensi della OPCM 3274/03 e DGR 604/03	Zona sismica ai sensi della DGR 431/06
Civitella Paganico	2	3 <sup>S</sup>

Tabella 5 - Classificazione sismica dei comuni interessati dal tracciato in esame: confronto tra la DGR 604/03 e la DGR 431/06.

Alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008, è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), che prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

$a_g$  - accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_o$  - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$TC^*$  - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; cfr. Figura 5, Tr 475 anni), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

La Figura 5 riporta i valori di pericolosità sismica secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b per l'area in esame. Nella mappa vengono rappresentati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration). Dalla Figura 5 è possibile evincere che l'area in oggetto ha una PGA dell'ordine di 0.125 - 0.150g.

**RELAZIONE SISMICA**

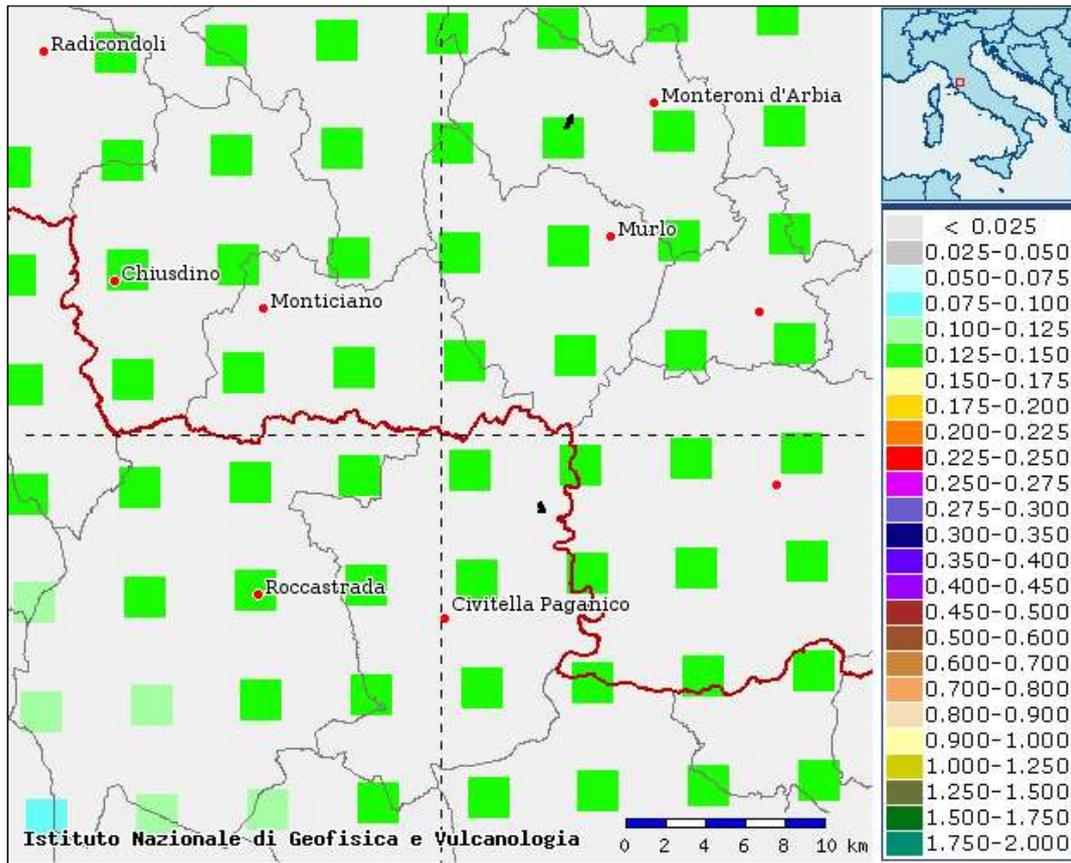


Figura 5 - Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le NTC 2008 definiscono 7 categorie in cui suddividere i terreni d'imposta in base ai valori di velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione ( $V_{s30}$ ) (Tabella 6).

**RELAZIONE SISMICA**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $7 < c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 6 - Categorie sismiche dei terreni

La velocità delle onde sismiche trasversali nei primi 30 m sotto il piano di posa della fondazione ( $V_{s30}$ ) è definita come:

$$V_{s30} = 30 / S_i = 1, N_{hi} / V_i$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i_{esimo}$ , entro i 30 m dalla fondazione.

Per le opere di progetto, non essendo state eseguite prove atte a determinare le velocità medie delle onde S, si è proceduto, come previsto dal NTC alla determinazione della categoria del suolo a partire dalle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio e da correlazioni fra le onde  $V_p$  desunte dalle sismiche a rifrazione e le  $V_{s30}$ ,

**RELAZIONE SISMICA**

Avendo le prove SPT dato tutte valori superiori o molto prossimi a rifiuto e avendo stimato che nelle sische a rifrazione si presenti mediamente la situazione riportata in tabella, si è considerato per le fondazioni terreni classificabili cautelativamente in categoria "B".

**$V_{S30}$  indiretto dal Modulo di Poisson**

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati

Geol. Aprile Giorgio Via Principessa Elena, 10 97014 Ispica (RG)  
tel 0932-704121 geol.giorgioaprile@libero.it

$$V_S = V_P \sqrt{\frac{1 - 2\nu}{2 - 2\nu}}$$

Spessori strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson ( $\nu$ )	Velocità onda S con Poisson (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
$h_1$	Strato 1	1	100.00	0.30	53.45	$h_1/V_1$	0.019
$h_2$	Strato 2	10	500.00	0.30	267.26	$h_2/V_2$	0.037
$h_3$	strato 3	19	1500.00	0.30	801.78	$h_3/V_3$	0.024
$h_4$	0	0	0.00	0.00	0.00	$h_4/V_4$	0.000
$h_{totale}$		<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0.080

By geol.giorgioaprile@libero.it

$V_{S30}$ (desunta)	=	30 /	0.080	=	375.84	m/s
---------------------	---	------	-------	---	--------	-----

## 7. PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA INTERESSATA DAL TRACCIATO E DEFINIZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

### 7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica. Più precisamente è la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto sismico al suolo (ad esempio l'accelerazione massima) o da un grado di intensità macrosismica, venga superato in un dato sito (o in un insieme di siti) entro un dato periodo di tempo. La pericolosità sismica può essere pertanto rappresentata attraverso due indicatori:

- l'accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$
- l'intensità macrosismica

Per quanto attiene la definizione della pericolosità sismica attraverso l'accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$ , nel 2004 è stata elaborata la nuova mappa di pericolosità sismica del territorio italiano (Figura 1). In particolare la mappa definisce localmente i livelli di accelerazione massima su suolo roccioso (suolo di categoria A,  $V_{s30} > 800$  m/s) con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni, ovvero un periodo di ritorno pari a 475 anni. Con riferimento al suddetto elaborato i territori comunali percorsi dal tracciato in esame ricadono in un'area caratterizzata da un valore di  $a_g$  compreso tra  $0.125g$  -  $0.150g$ .

Per avere un quadro completo della pericolosità sismica è necessario considerare anche il secondo parametro, ossia l'intensità macrosismica. L'intensità macrosismica (MCS) rappresenta, in un certo senso, le conseguenze socio-economiche di un evento sismico descrivendo, infatti, il grado di danneggiamento causato dai terremoti; una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico.

Il grado di sismicità dell'area di progetto in esame è basso, sia in termini di frequenza degli eventi che di classe di magnitudo.

In Tabella 7 sono riportati gli effetti risentiti nell'area interessata dal progetto, così come estratti dal DBMI11, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del Catalogo Parametrico CPTI11 (sito internet: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).

La Tabella 7 evidenzia i risentimenti MCS valutati nell'area di Civitella Paganico, dalla quale si evince che la massima intensità macrosismica storica risentita è di VII-VIII grado MCS, riferibile all'evento del 25 agosto 1909 con epicentro a Murlo ( $I_0$ =VII-VIII grado MCS).

Un altro evento risentito nell'area di progetto è il terremoto del 13 settembre 1911 con epicentro nel Chianti ( $I_0$ =VII grado MCS) ed intensità risentita di V grado MCS, al di sotto della soglia del danno.

Dal punto di vista sismotettonico non esistono sorgenti note prossime all'area in esame.

**RELAZIONE SISMICA**

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
7-8	1909 08 25 00 22	Murlo	7-8	5.37 ± 0.10
5	1911 09 13 22:29	Chianti	7	5.19 ± 0.14

Tabella 7 - Catalogo sismico di sito riferito al comune di Civitella Paganico. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2011. (Io = intensità epicentrale; Mw = magnitudo; Is = intensità risentita al sito).

Per un maggior approfondimento sono state valutate le Massime intensità macrosismiche a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA; tali intensità macrosismiche vengono rappresentate in Figura 6 ("Massime Intensità macrosismiche osservate nei comuni della Regione Toscana" - Molin, Stucchi, Valensise).

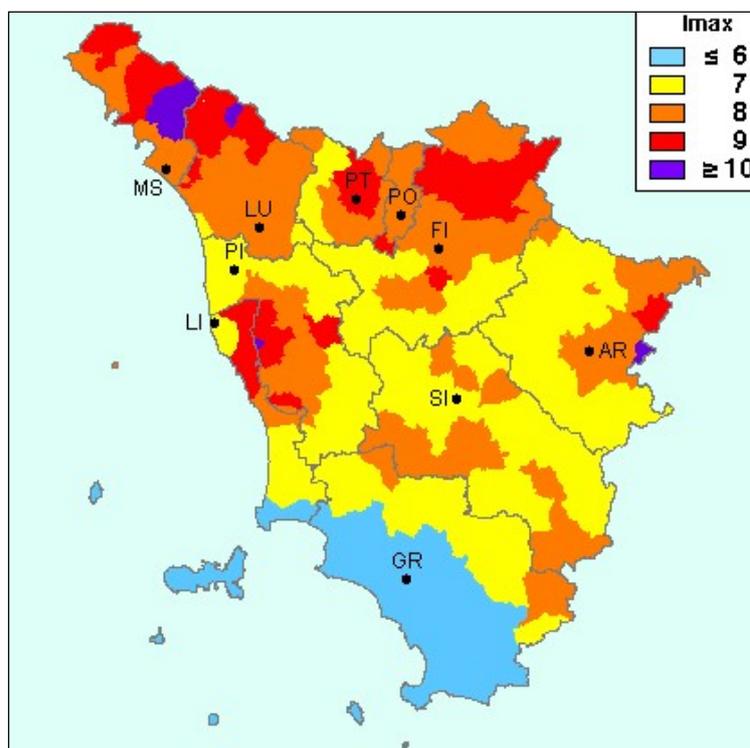


Figura 6 - Massime intensità macrosismiche osservate nella regione Toscana valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA (Elaborato per il DPC a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise)

Con riferimento alla Figura 6 ed alla Tabella 8 la massima intensità macrosismica osservata nei comuni di Civitella Paganico è  $I_{max}=7$  e  $I_{max}=8$  MCS.

Come si può osservare tali valori delle Massime Intensità Macrosismiche corrispondono ai valori riportati nel DBMI11.

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
CIVITELLA PAGANICO	9	53	8	42.99342	11.28058	7

Tabella 8 - Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni interessati dal tracciato in esame

Relativamente alle Massime Intensità Macrosismiche valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA (elaborato per il DPC a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise) va sottolineato che ad ogni Comune è stato associato un valore di intensità massima osservata oppure "ponderata", espresso in una delle cinque classi seguenti:  $\leq 6$ , 7, 8, 9,  $\geq 10$  e che non si è ritenuto utile differenziare i valori al di sotto del 6° grado e al di sopra del 10°. I valori intermedi sono stati associati alla classe superiore (es.: 6/7 è stato considerato equivalente a 7); questa scelta, unitamente a quella di associare all'intero territorio comunale il valore massimo di intensità osservata in almeno una località appartenente al Comune stesso e di assegnare un valore "ponderato" nei casi in cui il record storico è molto incompleto, determina una rappresentazione tendenzialmente "pessimista" degli effetti dei terremoti del passato.

## 7.2 PARAMETRI SISMICI ADOTTATI PER LE OPERE

Sono di seguito fornite le caratteristiche spettrali per tutti gli stati limite di verifica e cioè:

- SLO – Stato limite di operatività
- SLD – Stato limite di danno
- SLV – Stato limite di salvaguardia della vita
- SLC – Stato limite di collasso

### PARAMETRI SISMICI

Nelle verifiche delle opere fuori terra sono stati assunti i seguenti parametri sismici:

- Vita nominale dell'opera 50 anni;
- Classe d'uso dell'opera IV;
- Categoria del suolo B;
- Condizioni topografiche T2.

### SPETTRI DI RISPOSTA

In dipendenza del tipo di opere verificate, sono stati adottati gli spettri di accelerazione di norma il cui andamento si riassume nei paragrafi successivi.

#### **Spettro di risposta elastico**

Lo spettro di risposta elastico, impiegato per la valutazione delle sollecitazioni conseguenti ad accelerazioni verticali, nonché per valutare i massimi delle sollecitazioni indotte da azioni verticali, è stato differenziato per eccitazioni orizzontali e eccitazioni verticali.

#### **Spettro di risposta elastico per eccitazioni orizzontali**

Lo spettro elastico delle componenti orizzontali il cui andamento in termini di periodo-accelerazione è riportato in figura 1 è caratterizzato da quattro rami definiti dalle seguenti espressioni:

**RELAZIONE SISMICA**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

con

$S = S_S \cdot S_T$  coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni startigrafiche

Dove  $S_S$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica

Ed  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica

$\eta = 1.00$  fattore di smorzamento valutato per uno smorzamento viscoso equivalente  $\xi = 5\%$  secondo l'espressione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} > 0,55$$

- $F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima
- $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:  $T_B = T_c / 3$
- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante:  $T_C = C_c \cdot T^* \cdot C$
- $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante  $T_D = 4.0 \times ag / g + 1.60$

**Spettro di risposta elastico per eccitazioni verticali**

Lo spettro di risposta elastico delle componenti verticali, il cui andamento in termini di periodo-accelerazione è riportato in figura 2 è caratterizzato da quattro rami definiti dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot FV \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot FV$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot FV \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(t) = ag \cdot S^* \cdot \eta \cdot FV \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Dove  $F_v = 1,35 \times F_o \times (ag/g)^{0,5}$

### **Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio ed ultimi**

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che verticali è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerata.

Negli stati limite ultimi lo spettro di progetto da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per quelle verticali, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerata, con le ordinate ridotte sostituendo il coefficiente  $\beta$  con  $1/q$  dove  $q$  è il fattore di struttura definito opportunamente secondo quanto riportato al capitolo 7 del DM 14-1-2008.

Si otterrà per un fattore di struttura 1:

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limiSLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.173 g
$F_0$	2.512
$T_c$	0.280 s
$S_s$	1.200
$C_c$	1.419
$S_T$	1.200
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.440
$\eta$	1.000
$T_B$	0.132 s
$T_C$	0.397 s
$T_D$	2.293 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / \xi + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_s(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0.000	0.250
0.132	0.627
0.397	0.627
0.488	0.511
0.578	0.431
0.668	0.373
0.759	0.329
0.849	0.294
0.939	0.265
1.029	0.242
1.120	0.223
1.210	0.206
1.300	0.192
1.391	0.179
1.481	0.168
1.571	0.159
1.661	0.150
1.752	0.142
1.842	0.135
1.932	0.129
2.023	0.123
2.113	0.118
2.203	0.113
2.293	0.109
2.375	0.101
2.456	0.095
2.537	0.089
2.618	0.083
2.700	0.078
2.781	0.074
2.862	0.070
2.944	0.066
3.025	0.062
3.106	0.059
3.187	0.056
3.269	0.054
3.350	0.051
3.431	0.049
3.512	0.046
3.594	0.044
3.675	0.042
3.756	0.041
3.837	0.039
3.919	0.037
4.000	0.036

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

