

**S.S. 398 "Via Val di Cornia"**  
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12  
e il Porto di Piombino  
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI2**

**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. David Carlacchini  
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

MARZO 2019

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. E.Bartolucci  
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. C.Consorti  
Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani  
Dott. Ing. F.Macchioni  
Geom. C.Vischini  
Dott. Ing. V.Piunno  
Dott. Ing. G.Pulli  
Geom. C.Sugaroni



**GEOTECNICA**

**Relazione sismica**

| CODICE PROGETTO |             |          | NOME FILE                   | REVISIONE  | SCALA:       |
|-----------------|-------------|----------|-----------------------------|------------|--------------|
| PROGETTO        | LIV. PROG.  | N. PROG. | T00-GE00-GET-RE03           |            |              |
| DPFI12          | E           | 1801     | CODICE ELAB. T00GE00GETRE03 | A          | -            |
|                 |             |          |                             |            |              |
|                 |             |          |                             |            |              |
| A               | Emissione   |          | 29/03/2019                  | C.Consorti | D.Carlaccini |
| REV.            | DESCRIZIONE |          | DATA                        | REDATTO    | VERIFICATO   |
|                 |             |          |                             |            | APPROVATO    |

**INDICE**

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA.....</b>                               | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>SINTESI GEOLOGICO-STRATIGRAFICA .....</b>       | <b>4</b> |
| 2.1      | INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....                      | 4        |
| 2.2      | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....                 | 5        |
| <b>3</b> | <b>SISMICITA'.....</b>                             | <b>6</b> |
| 3.1      | SISMICITA' DELL'AREA.....                          | 6        |
| 3.2      | CLASSIFICAZIONE SISMICA .....                      | 7        |
| 3.3      | PERICOLOSITA' SISMICA.....                         | 12       |
| 3.4      | CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....                      | 13       |
| 3.5      | COEFFICIENTI TOPOGRAFICI.....                      | 16       |
| 3.6      | DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE DI PROGETTO..... | 17       |
| 3.7      | ANALISI PSEUDO-STATICA .....                       | 20       |

## 1 PREMESSA

La presente relazione sismica illustra le problematiche di carattere sismico nell'ambito del Progetto esecutivo della Strada Statale 398 "Via Val di Cornia" Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 e il Porto di Piombino, Lotto 1, dallo svincolo di Geodetica a Gagno, per un'estesa di circa 3.000 m, nel territorio della Regione Toscana.

Gli interventi in progetto, costituiti principalmente da rilevati stradali, viadotti e cavalcavia, interessano i terreni della valle del fiume Cornia e le bonifiche effettuate a partire dal 1830; le opere sono di nuova realizzazione e mirano al miglioramento delle modalità di accesso al centro abitato, all'area industriale ed al porto, provenendo dall'autostrada A12 dallo svincolo di Venturina-Piombino.

In base alla classificazione sismica del territorio in esame ed al manifestarsi di fenomeni di amplificazione locale, vengono fornite indicazioni sui valori delle azioni sismiche da adottare per le verifiche sismiche di stabilità dei rilevati e delle opere di sostegno e di progetto, secondo quanto previsto dalla sottoelencata normativa sismica vigente

- Legge del 2/02/74 n.64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- Ordinanza n. 3274 del 20/03/03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Decreto Ministeriale Infrastrutture e Trasporti del 14.09.2005 - "Norme Tecniche per le costruzioni" (attivo fino al giugno 2009 e poi sostituito totalmente dal D.M. del 14/01/08);
- Ordinanza n. 3519 del 29/04/06 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- D.M. del 14/01/08 "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2/02/09, "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14/01/08";
- 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 marzo 2003
- D.G.R. Toscana n. 431 del 19.06.2006" che ha aggiornato la classificazione sismica della Toscana in attuazione della OPC 3274-2003
- DGR Toscana n. 841 del 26.11.2007 – "Nuova Classificazione sismica del Territorio della Regione Toscana in attuazione della ordinanza OPCM 3274 del 2003.;
- DGR Toscana n. 421 del 26.05.2014 si è proceduto con l'aggiornamento dell'Allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'Allegato 2 (mappa) della deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012

- In data 17 gennaio 2018 è stato pubblicato il decreto del Ministero delle infrastrutture dei trasporti n. 8/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni" entrato in vigore il 22 marzo 2018 che ha leggermente modificato le categorie di suolo.

Il presente studio prende l'avvio, ai sensi della normativa nazionale e regionale, dai risultati delle campagne già eseguite nel 2007 e nel 2010-2012 e tiene conto delle considerazioni riportate nella relazione sismica del Progetto Definitivo (*elab. T00GE00GETRE02\_B*).

## 2 SINTESI GEOLOGICO-STRATIGRAFICA

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in oggetto è posta a Nord-Est dell'abitato di Piombino e si estende per circa 1 km a cavallo del tracciato stradale di progetto.

Le formazioni affioranti nei settori costieri della Toscana meridionale sono riferibili ad un arco temporale che va dal Triassico all'attuale e sono ascrivibili alle unità dell'Appennino Settentrionale. Il contesto in cui si sviluppa il tracciato in oggetto è caratterizzato da distinguere due ambiti geologici fondamentali:

- il **Promontorio di Piombino**, che occupa l'area a sud-ovest rispetto al tracciato;
- la **Pianura Del Cornia** (in cui si sviluppa l'asse stradale stesso), compresa tra il Promontorio di Piombino ed i rilievi più interni, che rappresenta il punto di congiunzione tra la valle fluviale del Fiume Cornia e la zona retrodunale e palustre della campagna piombinese.

Nell'area in esame prevalgono i sedimenti alluvionali caratterizzati da granulometrie comprese fra quella delle sabbie (*da mediamente a poco addensate*) a quella delle argille, a tratti fortemente organiche e altamente compressibili. I depositi alluvionali sono ricoperti superficialmente da quelli di colmata, di origine antropica, a granulometria estremamente eterogenea, dai limi alle ghiaie.

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono le seguenti:

- **Terreni di riporto**  
Sono costituiti da materiale eterogeneo, tra cui residui di prodotti di altoforno e materiali di cava. Tali terreni sono presenti lungo tutto il tracciato stradale e costituiscono lo strato geologico più superficiale, con uno spessore variabile da pochi metri a 7 m.
- **Depositi alluvionali, lagunari e deltizi - Qa (Olocene)**  
Sono rappresentati dalle alluvioni attuali e recenti della piana costiera del Cornia e presenti con continuità lungo tutta l'area pianeggiante posta a nord-Est dell'abitato di Piombino. Le alluvioni sono costituite da sedimenti piuttosto eterogenei, in relazione alla evoluzione storica del territorio e della rete idrografica principale.  
In superficie, per i primi 3-6 m di spessore, prevalgono i depositi di colmata, la cui granulometria risulta molto variabile, ma generalmente si tratta di terreni compressibili e poco addensati di colore variabile da nocciola marrone a grigio; a profondità maggiori si rinvengono i depositi continentali, alluvionali, lagunari e di palude retrocostiera, variabili in spessore da 10-15 m fino a circa 30-35 m (cfr. sondaggi SP7, SD2).  
Sono costituiti da alternanze metriche di argille limose e sabbie limose, con locali intercalazioni di ghiaie evolute in profondità; il colore è prevalentemente grigio e grigio scuro, solo localmente nocciola ocraceo. Nella porzione medio alta i depositi sono teneri o poco addensati, sovente ricchi di resti conchigliari e organici (frammenti fibrosi o torbosi nerastri); sono generalmente sterili oltre i 20 m di profondità circa, caratterizzati da consistenza localmente più elevata.
- **Depositi sabbiosi pleistocenici - Qsu (Pleistocene medio sup.)**

Sono costituiti da sabbie medio fini, da rosso vivo a nocciola giallastre, generalmente addensate e accompagnate da abbondante scheletro limoso e argilloso. Sono alternate localmente ad argille limose molto consistenti/dure, presenti generalmente nelle porzioni più profonde. Si riscontra anche la presenza di clasti arenacei sparsi e livelli di calcareniti (ambiente deposizionale continentale e retrocostiero).

➤ **Arenarie di Suvereto - Su (Oligocene - Miocene inf.)**

Si tratta di arenarie quarzoso feldspatiche a granulometria prevalentemente medio - fine, organizzate in strati medi e subordinatamente in strati spessi o in banchi; vi possono essere rare intercalazioni conglomeratiche. Tale formazione costituisce il bedrock litoide e si rinviene a partire da circa 22-24 m di profondità.

Nell'ambito dei banchi si rinvergono orizzonti gradati a granulometria grossolana. Il colore è grigio, giallastro per alterazione, con interstrati grigio scuri. Questa formazione appartiene alle Unità Subliguri e risulta coeva alla formazione del Macigno, che invece fa parte della Falda Toscana. Le due unità non sarebbero facilmente distinguibili, se non in ragione della diversa posizione nell'orogene. Le Arenarie di Suvereto affiorano estesamente lungo i rilievi collinari costieri; nell'ambito delle aree di pertinenza progettuale sono state cartografate presso l'intersezione dell'asse 0 con la SS 389 e nella parte iniziale dell'asse 1b, lungo un vasto promontorio roccioso, oggi parzialmente spianato per esigenze antropiche. In perforazione la formazione è stata individuata in diversi sondaggi, a profondità differenti. Le arenarie sono a tratti compatte e poco fratturate; spesso, nella parte alta della formazione si individuano alcuni metri di materiale detritico, costituito da frammenti arenacei di varia pezzatura, fortemente degradati, in matrice sabbiosa limosa (cfr. *SD1* e *SD4*). Tale porzione più superficiale costituisce lo strato di alterazione (**alt**).

## 2.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Buona parte delle aree attraversate dal tracciato nell'ambito della piana del Cornia sono antropizzate e occupate da attività industriali presenti da decine di anni, le quali hanno fortemente condizionato la morfologia dei luoghi. In generale, l'area interessata dal tracciato si sviluppa a ridosso dell'attuale corso del Cornia in un'area sostanzialmente pianeggiante, con quota media di qualche metro al di sopra del medio livello marino.

### 3 SISMICITA'

#### 3.1 SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità di Piombino (LI), a causa della lontananza dalle sorgenti sismogenetiche appenniniche (>120 km), è tra le più basse d'Italia sia in termini di massime intensità risentite che di frequenza di risentimento per qualsiasi classe di intensità. In particolare, dal catalogo di sito ricostruibile per la località sulla base del database delle osservazioni macrosismiche DBMI11 (Tab. 3.1) è possibile evincere che mai Piombino ha subito effetti oltre la soglia del danno, avendo raggiunto in una sola occasione un'intensità al sito di 4-5 grado MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) (Figura 1).

| Is  | Terremoto           | area sorgente       | np   | Io  | Mw         |
|-----|---------------------|---------------------|------|-----|------------|
| NF  | 1895 05 18 19:55:12 | Fiorentino          | 401  | 8   | 5.43 ±0.08 |
| NF  | 1904 11 17 05:02    | Pistoiese           | 204  | 7   | 5.15 ±0.14 |
| NF  | 1905 02 12 08:28    | SANTA FIORA         | 61   | 6   | 4.66 ±0.29 |
| 2   | 1909 01 13 00:45    | BASSA PADANA        | 799  | 6-7 | 5.53 ±0.09 |
| 4-5 | 1909 08 25 00:22    | MURLO               | 283  | 7-8 | 5.37 ±0.10 |
| 3-4 | 1914 10 27 09:22:36 | Garfagnana          | 618  | 7   | 5.76 ±0.09 |
| NF  | 1915 01 13 06:52    | Avezzano            | 1041 | 11  | 7.00 ±0.09 |
| NF  | 1919 06 29 15:06:12 | Mugello             | 566  | 10  | 6.29 ±0.09 |
| 2-3 | 1970 08 19 12:19:55 | Colline metallifere | 26   | 6   | 4.87 ±0.18 |
| NF  | 1980 11 23 18:34:52 | Irpinia-Basilicata  | 1394 | 10  | 6.89 ±0.09 |
| NF  | 1984 04 29 05:02:60 | GUBBIO/ALFABBRICA   | 709  | 7   | 5.65 ±0.09 |
| NF  | 1987 01 22 05:10:51 | LIVORNO             | 157  | 5-6 | 4.40 ±0.16 |
| NF  | 1998 05 20 11:07:42 | Colline metallifere | 31   | 4-5 | 4.20 ±0.17 |

Figura 1: Catalogo sismico di sito per la città di Piombino. Is, intensità risentita in gradi MCS (NF, not felt=non risentito). np, numero di località con effetti per terremoto. Io, intensità epicentrale e Mw, magnitudo momento calcolata/misurata. (Fonte Gruppo di Lavoro CPTI 2015)

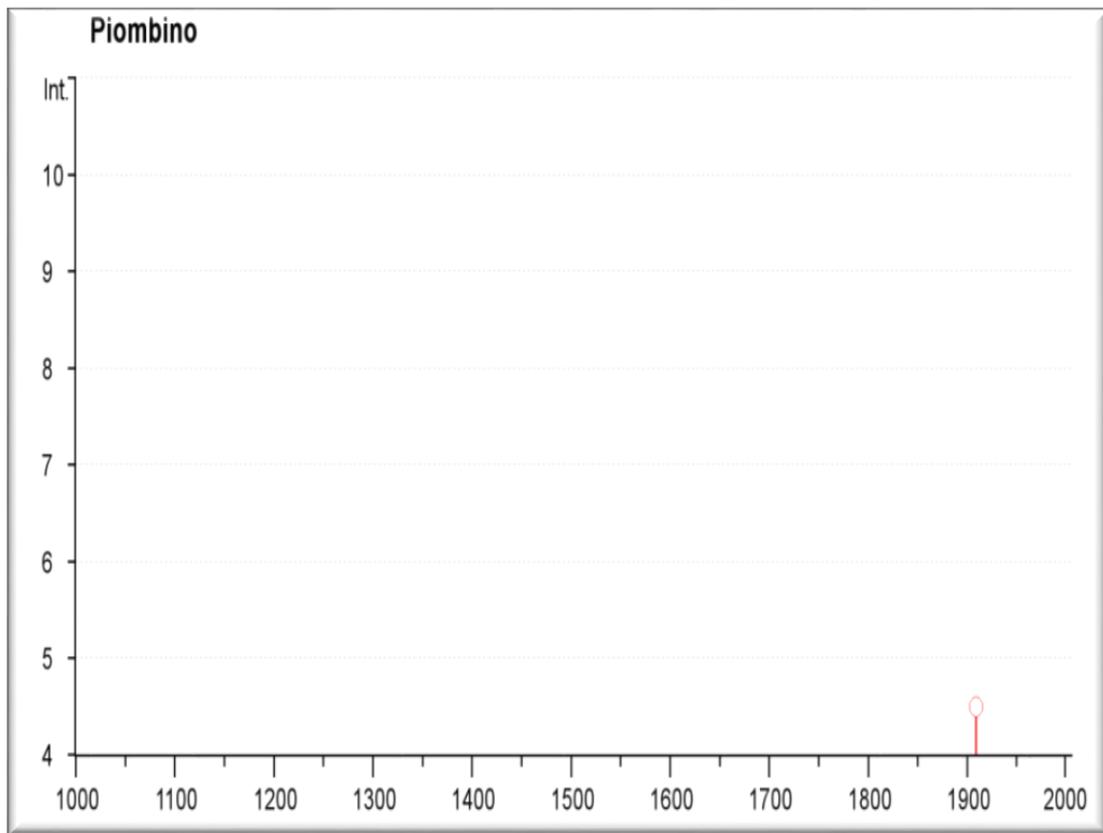


Figura 2: Distribuzione degli effetti risentiti in Piombino nel tempo. Solo in occasione del terremoto c.d. di Murlo del 25 Agosto 1909 si raggiunse in città un'intensità del 4-5 grado MCS.

### 3.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA

La legislazione antisismica italiana, allineata alle più moderne normative a livello internazionale, fornisce i criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

A ciascun sito del reticolo di riferimento (distanza dei nodi dell'ordine di 10 km) viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia.

Tale accelerazione, inoltre, deve essere valutata anche sulla base dei parametri di carattere litologico, stratigrafico, sismico, geotecnico e topografico.

I valori delle accelerazioni sismiche di riferimento per l'area del tracciato in oggetto alla seguente relazione sono indicati nei paragrafi riportati a seguire.

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona

sismica", suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di picco (Figura 3)

| zona | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni<br>[a <sub>g</sub> /g] |
|------|---|
| 1    | > 0,25  |
| 2    | 0,15-0,25   |
| 3    | 0,05-0,15   |
| 4    | <0,05   |

Figura 3: Tabella estratta dall'Allegato 1 della OPCM 3274/2003

Secondo tale ordinanza il comune di Piombino interessato dal progetto in esame è stato identificato in zona 4, cui corrispondono, come indicato in Tabella 7.2, valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a<sub>g</sub>), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, inferiori a 0,05g (dove g è l'accelerazione di gravità).

La Delibera 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 marzo 2003" rendono esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Toscana. Secondo tale delibera il Comune di Piombino ricade in zona sismica 4 cioè in zona a pericolosità minima.

Le D.G.R. Toscana n. 431 del 19.06.2006 e n. 841 del 26.11.2007 in attuazione della ordinanza OPCM 3274 del 2003 hanno aggiornato la Classificazione sismica del Territorio della Regione Toscana, prevedendo l'istituzione di una nuova zona 3S nella quale progettare tenendo conto delle azioni sismiche come in zona 2 per tutti quei comuni che cambiano zona al variare delle sottozone, cioè quelli che potrebbero andare in zona 3 ma anche restare in zona 2 (Figura 4)

| ZONA | Accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico(a <sub>g</sub> ) |
|------|---|
| 2    | 0.25  |
| 3s   | 0.25  |
| 3    | 0.15  |
| 4    | 0.05  |

Figura 4: Valori di accelerazione orizzontale d'ancoraggio e relative zone secondo DGRT n. 431 -2006

Con la Delibera di Giunta Regionale n. 878 dell'8 ottobre 2012 in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 è stato attuato l'aggiornamento della classificazione sismica con la revoca della DGRT 431/2006" e la cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (DGRT 841/2007). Secondo tale delibera il comune di Piombino ricade in zona 4.

Infine con la D.G.R. n. 421 del 26.05.2014 si è proceduto con l'aggiornato dell'Allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'Allegato 2 (mappa) della deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012. Anche secondo tale delibera il comune di Piombino ricade in zona sismica 4.

Di seguito si riassume la storia della classificazione sismica del comune di Piombino dal 2003 ad oggi.

| Codice Istat 2001 | Denominazione | Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al 1984) | Categoria secondo O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 | Zona ai sensi del DGR n 431 del 19/06/2006 |
|-------------------|---------------|--|--|--|
| 09049009          | Piombino      | 4  | 4  | 4  |



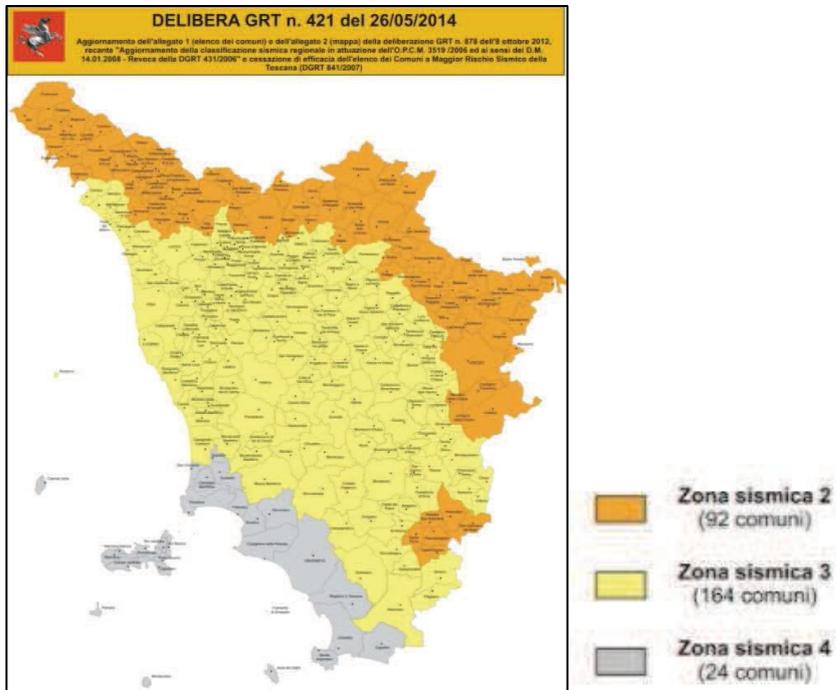


Figura 6: Classificazione zone sismiche regione Toscana – Delibera GRT n. 421 del 26/05/2014



Figura 7: Individuazione zona sismica area di interesse del tracciato

### 3.3 PERICOLOSITA' SISMICA

Nel corso del 2006 una Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/2006 "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 e ha definito i criteri 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.

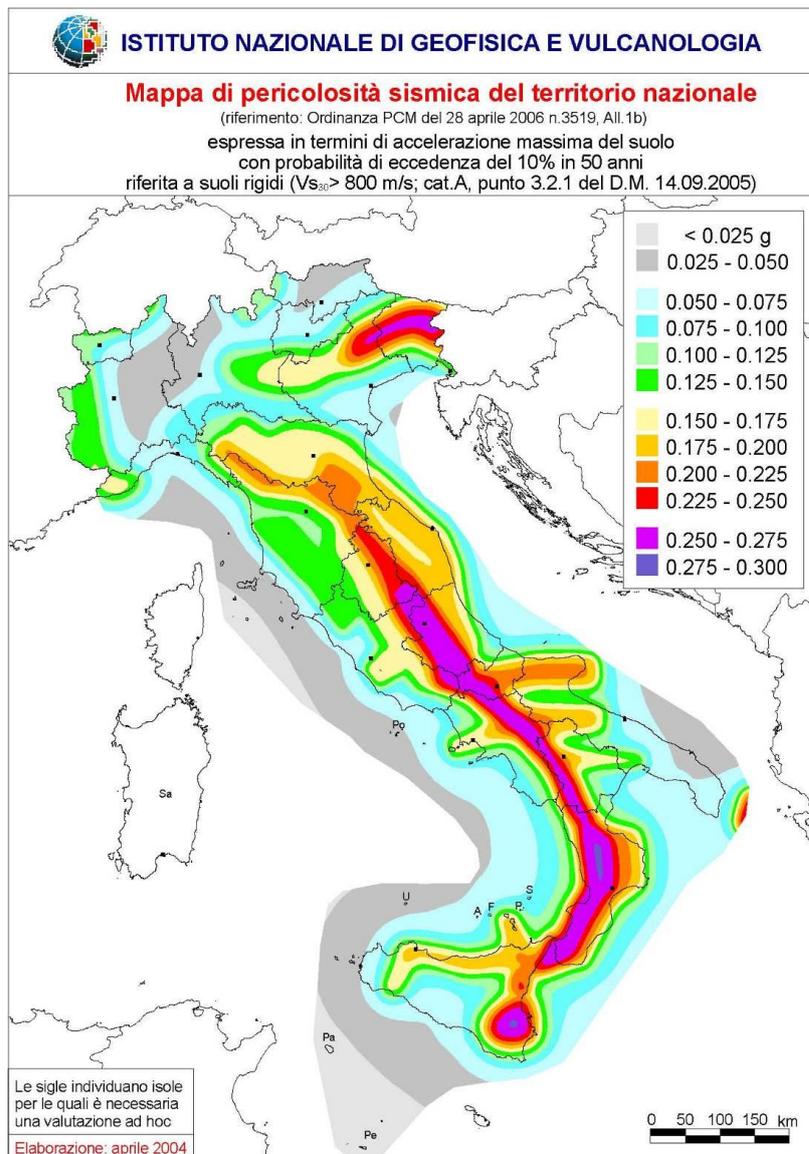


Figura 8: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 3519 2006)

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 ag e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- ag accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F0 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 9, 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 9 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 a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration). Dalla Figura 9 è possibile evincere che l'area in oggetto ha una PGA dell'ordine di 0,025-0,050g.

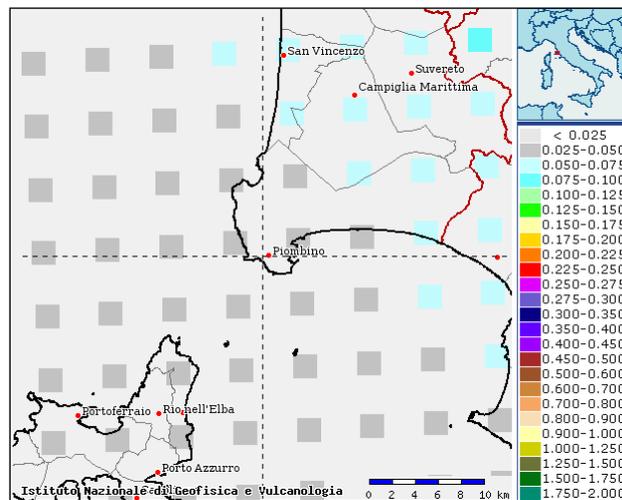


Figura 9: Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

### 3.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La classificazione sismica dei terreni di fondazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente ( $V_{s,30}$ ) di propagazione delle onde di taglio (onde S) entro i primi 30 m di profondità.

Le categorie inizialmente individuate dalla OPCM 3274/2003 recepite nelle NTC 2008 erano le seguenti:

| Classificazione del tipo di suolo secondo la nuova normativa sismica italiana<br>O.P.C.M. n. 3274/2003 – NTC 14/01/2008 |  |            |
|---|--|------------|
| Suolo   | Descrizione geotecnica   | Vs,30(m/s) |
| A   | Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m   | >800       |
| B   | Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 360÷800    |
| C   | Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri  | 180÷360    |
| D   | Depositi granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti  | <180       |
| E   | Strati superficiali allentati (5 – 20 m) tipo C e D soprastanti substrato tipo A   |            |
| S1  | Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (IP>40) e contenuto d'acqua                                   | <100       |
| S2  | Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti   | <50        |

In data 17 gennaio 2018 è stato pubblicato il decreto del Ministero delle infrastrutture dei trasporti n. 8/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni", entrato in vigore il 22 marzo 2018, che ha leggermente modificato le categorie A, B, C, D ed E eliminando le categorie S1 ed S2 e prevedendo che nei casi in cui le condizioni di sottosuolo non siano classificabili nelle categorie A, B, C, D ed E è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

| Classificazione del tipo di suolo secondo le Nuove Norme tecniche sulle costruzioni<br>NTC 17/01/2018 |   |            |
|---|---|------------|
| Suolo   | Descrizione geotecnica  | Vs,30(m/s) |
| A   | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori ad 800 m/sec eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessori massimo pari a 3 m | >800       |
| B   | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 e 800 m/sec.   | 360÷800    |

|          |   |         |
|----------|---|---------|
| <b>C</b> | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi fra 180 e 360 m/sec       | 180÷360 |
| <b>D</b> | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 100 e 180 m/sec | 100÷180 |
| <b>E</b> | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D con profondità del substrato non superiore a 30 m.  |         |

Nel progetto in esame sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche che hanno consentito di valutare la velocità delle onde S, Vs:

- Campagna 2007 - Sondedile srl - - Cross Hole SD04
- Campagna 2010 - Progeo srl – CPT – D2
- Campagna 2017 – DIMMS Srl - Down Hole SA01
- Campagna 2017 – DIMMS Srl -Down Hole SA03
- Campagna 2017 – DIMMS Srl -Down Hole SA05

Le sopraelencate indagini, originariamente interpretate secondo i dettami di NTC2008, sono state verificate e reinterpretate secondo i dettami di NTC2018. Le indagini eseguite nelle campagne 2010 e 2017 hanno confermato la originale interpretazione mentre per quanto riguarda la prova Cross Hole eseguita nel 2007 all'interno della verticale di sondaggio SD04 (SD04-CH) la presenza di un substrato sismico con Vs maggiore di 800 m/sec entro i 30 metri dal p.c. ha reso necessario reinterpretare la classificazione con modifica della categoria che è passata da S2 a E.

Nella tabella che segue si riassumono i risultati delle indagini sopradescritte.

| PROSPEZIONE  | Vs <sub>Equivalente</sub> | Classificazione suolo secondo NTC 14/01/2008 | Classificazione suolo secondo NTC 17/01/2018 |
|--------------|---------------------------|--|--|
| SA01 DH-2017 | Vs,eq = 273 m/s           | C  | C  |
| SA03 DH-2017 | Vs,eq = 204 m/s           | C  | C  |
| SA05 DH-2017 | Vs,eq = 197 m/s           | C  | C  |
| CPT-D2-2010  | Vs,eq = 160 m/s           | D  | D  |
| SD04 CH-2007 | Vs,eq = 200 m/s           | S2   | E  |

In corrispondenza dei tre sondaggi realizzati nel 2017 (SA01-SA03-SA05) sono state eseguite tre prospezioni sismiche a rifrazione sia in onde P che in onde S (SR1-SR2-SR3); i valori delle Vs rilevati con tali prospezioni hanno confermato complessivamente la categoria di suolo C emersa dalle prove Down Hole eseguite nei sondaggi.

Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di modeste irregolarità della successione Vs- profondità in termini di crescita delle velocità Vs proporzionalmente alla profondità. Le indicazioni del paragrafo 2.5.2.1 delle "Linee guida degli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (Protezione Civile Nazionale, Presidenza del consiglio Dei Ministri, Conferenza delle Regioni e Provincie Autonome – settembre 2008) prevedono che, per potersi considerare inversione di velocità sismica, si debbano verificare contemporaneamente le seguenti due condizioni:

- il rapporto di Vs tra il terreno rigido sovrastante e il terreno meno rigido deve essere  $> 2$
- la Vs dello strato rigido superiore deve essere  $> 500$  m/sec

Da quanto sopra esposto, considerando che nei casi in esame non si verificano entrambe le condizioni, si evince che, nonostante le ondulazioni della successione Vs-profondità riscontrate nel modello sismostratigrafico del sito in esame, si può ammettere una sostanziale regolare crescita delle velocità delle onde S con la profondità come richiesto dalle NTC.

### 3.5 COEFFICIENTI TOPOGRAFICI

La normativa prevede che per condizioni topografiche complesse debbano essere predisposte specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica  |
|-----------|---|
| T1        | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                      |
| T2        | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$  |
| T3        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$                  |

Figura 10: Categorie topografiche ( NTC 2018 )

Le sopra descritte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste e dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza superiore a 30 m.

Per l'area in esame si riconosce una categoria topografica T1 tipica di un ambiente a morfologia poco acclive pianeggiante come quello in esame.

In funzione di una categoria topografica T1 ed utilizzando le tabelle del NTC 2008 si valuta un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  uguale ad 1.

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento    | $S_T$ |
|-----------------------|--|-------|
| T1                    | -  | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4   |

Figura 11: Categorie topografiche (NTC 2008 )

### 3.6 DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

In accordo con le prescrizioni delle NTC 2008, l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite nelle verifiche strutturali e geotecniche, è definita a partire dalla pericolosità sismica di base del sito, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido e superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende, inoltre, la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione, "ancorato" al valore  $S_e(T=0) = a_g$ , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza della stessa azione sismica nel periodo di riferimento  $V_R$  per la struttura. Tale periodo  $V_R$ , da definirsi a carico dei progettisti in funzione della vita nominale  $V_N$  dell'opera e della sua classe d'uso (vedi NTC 2008, §2.4), nel caso specifico è stato assunto pari a  $V_N=50$  anni (opera ordinaria), con classe d'uso IV ( $CU=2$ ). Di conseguenza:

$$V_R = V_N * CU = 100 \text{ anni}$$

A partire dal periodo di riferimento  $V_R$ , e dalla probabilità  $P$  di superamento nel periodo di riferimento  $V_R = f(PVR)$  associata allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), pari al 10%, è possibile calcolare, seguendo le istruzioni in allegato alle NTC 2008, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  come:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - PVR) = 949 \text{ anni};$$

Avendo definito il periodo di ritorno, la forma dello spettro di risposta dipende dai seguenti parametri definiti per un sito rigido, con superficie topografica orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle tabelle in allegato al testo delle NTC 2008, i suddetti valori vengono forniti, in funzione delle coordinate geografiche, per una griglia di punti prefissati sul territorio: i valori per luoghi geografici situati in punti intermedi della griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

Nello specifico, per l'area in esame, si è fissato come riferimento indicativo un punto baricentrico del tracciato con coordinate geografiche:

N: 42,96040

E: 10,55080

L'interpolazione dei valori di griglia ha fornito i seguenti valori per le grandezze caratteristiche del sisma di progetto per le verifiche SLV:

- $a_g = 0,054 \text{ g}$
- $F_0 = 2,843$
- $T_c = 0,294 \text{ s}$

La risposta sismica locale è ulteriormente condizionata dalle caratteristiche stratigrafiche e topografiche specifiche del sito, in quest'ottica la normativa prevede l'introduzione del fattore di sito  $S$  definito come:

$$S = S_S \cdot S_T$$

dove  $S_S$  tiene conto della categoria di suolo e  $S_T$  dell'andamento della superficie topografica. Il primo termine è stato ricavato attraverso la misura diretta della velocità delle onde di taglio  $V_s$ , mediante le prove geofisiche precedentemente elencate eseguite nelle campagne 2007 (SD4 CH) 2010 (CPT D2) e 2017 (SA1 DH-SA3 DH- SA5 DH)

Alla luce dei risultati delle indagini specifiche e tenuto conto, stratigraficamente, sia delle significative eteropie laterali che della profondità del substrato (caratterizzato da velocità  $V_s$  non inferiore a 800 m/s), **si può cautelativamente assumere come rappresentativa del sottosuolo lungo quasi tutto il tracciato in esame la categoria D, a cui corrisponde un coefficiente  $S_S=1,8$ ; nei tratti iniziali e finali del tracciato, tra le progressive 0 e 0+700 e tra 2+900 e 3+062, dove il substrato si trova ad una profondità inferiore a 30 m, si assume per il sottosuolo la categoria E.** Per quanto riguarda il secondo termine che partecipa alla determinazione del coefficiente di sito, si è assunta la categoria topografica T1 (zone pianeggianti, tabb. 3.2.IV e 3.2.VI - NTC 2008) a cui corrisponde un coefficiente  $S_T=1$ .

#### - Spettri di progetto

Vengono riportati di seguito gli spettri di risposta e i relativi parametri sismici ottenuti considerando tutti gli aspetti descritti nei precedenti paragrafi.

#### **Categoria di sottosuolo D e categoria topografica T1**

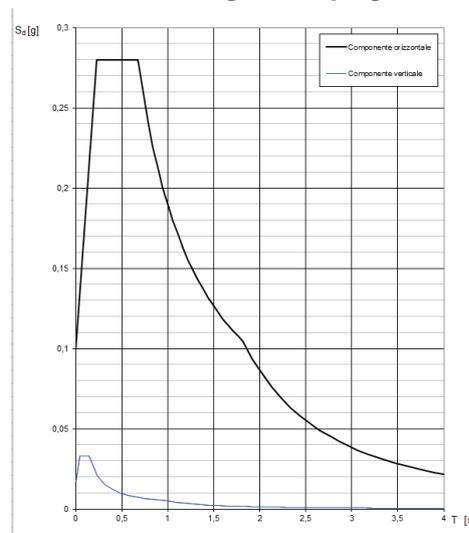


Figura 12: Tratti con categoria di sottosuolo D: spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontale e verticale allo SLV.

| PARAMETRI | SLV   |
|-----------|-------|
| ag (g)    | 0,055 |
| Ss        | 1,800 |
| St        | 1,000 |
| S         | 1,800 |
| Fo        | 2,843 |
| TB (sec)  | 0,226 |
| TC (sec)  | 0,677 |
| TD (sec)  | 1,819 |
| $\eta$    | 1     |

Figura 13: Tratti con categoria di sottosuolo D: valori di riferimento per lo spettro di risposta.

**Categoria di sottosuolo E e categoria topografica T1**

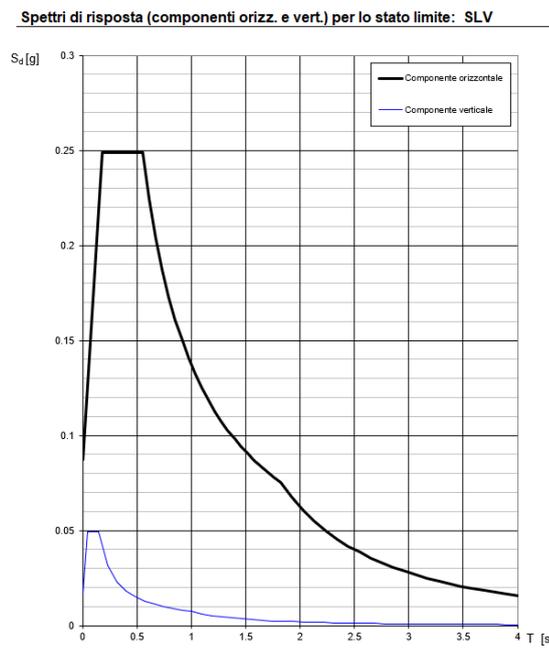


Figura 14: Tratti con categoria di sottosuolo E: spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontale e verticale allo SLV.

| PARAMETRI | SLV   |
|-----------|-------|
| ag (g)    | 0,055 |
| Ss        | 1,600 |

|                 |       |
|-----------------|-------|
| <b>St</b>       | 1,000 |
| <b>S</b>        | 1,600 |
| <b>Fo</b>       | 2,843 |
| <b>TB (sec)</b> | 0,184 |
| <b>TC (sec)</b> | 0,551 |
| <b>TD (sec)</b> | 1'819 |
| $\eta$          | 1     |

Figura 15: Tratti con categoria di sottosuolo E: valori di riferimento per lo spettro di risposta.

### 3.7 ANALISI PSEUDO-STATICA

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo.

Il vettore rappresentativo di tale forza ha punto di applicazione nel baricentro della massa esaminata, direzione nelle tre componenti spaziali X, Y e Z, verso in entrambi i sensi e modulo pari a:

$$F_{\text{sisma}} = W \cdot S_d(T_i)$$

con:

W = massa dell'elemento;

S<sub>d</sub>(T<sub>i</sub>) = accelerazione sismica funzione del periodo proprio di oscillazione della massa.

Per strutture che hanno periodo proprio di oscillazione pari a 0 (rigidezza k molto elevata, tipica di strutture che oscillano con il terreno) la corrispondente accelerazione S<sub>d</sub> (T=0) è proprio uguale all'accelerazione massima orizzontale attesa al sito a<sub>max</sub>.

Una volta noti i parametri dello spettro di risposta, l'accelerazione massima attesa al sito a<sub>max</sub> è valutabile come:

$$a_{\text{max}} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

Per il sito in esame risulta quindi,

per i tratti caratterizzati da categoria di suolo D: a<sub>max</sub> = 0,099 g;

per i tratti caratterizzati da categoria di suolo E: a<sub>max</sub> = 0,088 g.