



S.S. 502 – S.S. 78 Belforte del Chienti – Sarnano – Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento intersezioni – 2° stralcio. Cod. SIL ACNOAN00114 - Codice CUP F71B22001170001 CIG 95039446B1

## PROGETTO DEFINITIVO

### Relazione sismica

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
	3.1 CARATTERI GEOLITOLGICI DEI DEPOSITI SUPERFICIALI E DELLE FORMAZIONI DEL SUBSTRATO .....	5
	3.1.1 UNITÀ DEL SUBSTRATO – FORMAZIONE DELLA LAGA .....	5
	3.1.2 UNITÀ DI COPERTURA .....	5
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>INDAGINI GEOFISICHE.....</b>	<b>9</b>
	6.1 CAMPAGNA DELLE INDAGINI GEOFISICHE .....	9
	6.2 MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (METODO HVSR) .....	13
	6.1 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE IN ONDA P E IN ONDA S.....	14
<b>7</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>16</b>
	7.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	16
	7.2 PERICOLOSITÀ SISMICA .....	16
	7.3 SISMICITÀ STORICA .....	19
	7.4 ASPETTI SIMOGENETICI.....	20
<b>8</b>	<b>SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE LOCALE .....</b>	<b>22</b>
	8.1 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA .....	22
	8.2 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	22
	8.3 VITA NOMINALE .....	23
	8.4 CLASSE D'USO.....	23
	8.5 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	24
	8.6 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE .....	25
	8.6.1 GENERALITÀ.....	25
	8.6.2 CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DA VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	25

## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica generale nell'ambito dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento intersezioni lungo la S.S. n. 502 "Cingoli" – S.S.n. 78 "Picena" – Belforte del Chienti – Sarnano (Lotto 1) – 2° stralcio.

I lavori ricompresi nel 2° stralcio fanno parte del quadro delle iniziative inquadrate nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Per tutti i dettagli sull'opera si rimanda alla visione degli elaborati grafici e della "Relazione descrittiva" Doc. T01VI01STRRE01.

Il presente documento è focalizzato sulla valutazione degli aspetti geologici, geologico-tecnici, idrogeologici e sismici riguardanti le formazioni presenti lungo lo sviluppo del tratto oggetto dell'adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento intersezioni lungo la S.S. n. 502 "Cingoli" – S.S.n. 78 "Picena" – Belforte del Chienti – Sarnano (Lotto 1) – 2° stralcio.

A seguito di uno studio bibliografico e raccolta dati è stato predisposto il presente studio ottemperanza al D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", ed è stata eseguita una ricerca bibliografica di eventuali studi specialistici riguardanti la zona in esame presso gli Enti, i Comuni e le Regioni interessati al territorio dell'intervento.

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La redazione della seguente relazione è stata eseguita nel rispetto delle normative vigenti in materia di progettazione antisismica e di diverse raccomandazioni tecniche, tra cui:

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Circolare Min. LL.PP: 24 settembre 1988 n° 30483: “Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998);
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”. (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale);
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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 (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, Dipartimento della protezione civile, Roma;
- G. Lanzo, A. Pagliaroli. Selection of real accelerograms for the seismic response analysis of the historical town of Nicastro (Southern Italy) during the March 1638 Calabria earthquake. Elsevier 2007;
- G. Modoni, A. Gazzellone (2010). Simplified theoretical analysis of the seismic response of artificially compacted gravels. Proc. V Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, USA, Paper No. 1.28a; sismico”;
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sul Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018;
- Studio di microzonazione sismica per i comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016 così come previsto con l'ordinanza n° 24 del 12 maggio 2017 del Commissario Straordinario;
- Zaho B., Horike M.; 2003: Simulation of High-Frequency Strong Vertical Motions using Microtremor Horizontal-to-Vertical Ratios. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 6, pp. 2546–2553;
- G. Peruzzi, D. Albarello (2016). Stimatori approssimati della componente verticale del moto nelle valutazioni di risposta sismica locale;
- Studio di Microzonazione Sismica Comune di Caldaraola, 2018.

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto della presente indagine, secondo un'analisi omogenea dal punto di vista del rilievo, dell'assetto morfologico complessivo e della posizione geografica precedentemente presa in considerazione, effettuata a partire dalla Carta Geologica delle Marche (1:250.000) e dalla Carta Geologica d'Italia (1:100.000), appartiene alla regione fisiografica "B - Fasce di rilievi collinari comprese tra catene montuose o adiacenti ad esse" [Sistema Ba], caratterizzata dalla presenza in substrato di alternanze di termini arenacei, arenaceo-pelitici e pelitico, depositi nel Miocene fittamente stratificati e con possibili strutture sinclinaliche.

I depositi superficiali sono in genere argilloso-limoso-sabbiosi di spessore cospicuo (da qualche metro fino a 10 m) e, lungo le valli fluviali, sono presenti depositi alluvionali terrazzati, prevalentemente ghiaiosi, di discreta estensione e potenza.

#### 3.1 CARATTERI GEOLITOLOGICI DEI DEPOSITI SUPERFICIALI E DELLE FORMAZIONI DEL SUBSTRATO

Sulla base di un rilievo geologico effettuato sulla maggior parte del territorio comunale di Caldarola e dall'analisi della Carta Geologica Regionale – Progetto CARG è stato possibile estrarre, dai terreni più antichi a quelli più recenti, la seguente successione stratigrafica per il tratto stradale preso in considerazione.

##### 3.1.1 UNITÀ DEL SUBSTRATO – FORMAZIONE DELLA LAGA

**Membro Postevaporitico (LAG3):** è costituito da una litofacies pelitico-arenacea (LAG3e) caratterizzata da peliti grigie con rare intercalazioni di strati arenacei a spessore variabile. Nella parte alta è presente il livello guida vulcanoclastico. Intercalate a varie altezze stratigrafiche si rinvencono litofacies arenacee (LAG3c) e arenaceo-pelitiche (LAG3d). Tale formazione è riconducibile al Messiniano p.p..

**Membro Pre-evaporitico [LAG1] (Messiniano p.p.):** Vi si riconoscono diverse associazioni di facies variamente alternate tra loro: litofacies arenacea [LAG1c], litofacies arenaceo-pelitica [LAG1d] e litofacies pelitico-arenacea [LAG1e]. Tali unità arenacee [LAG1c] e arenaceo-pelitiche [LAG1d] vengono indicate spesso con il nome di "molasse".

##### 3.1.2 UNITÀ DI COPERTURA

**DEPOSITI DI FRANA MUSa1:** costituiti da elementi derivanti dalle coltri colluviali instabili e/o frane in formazione Pelitica arenacea come si rinviene in prossimità delle Torrente Fiastrone.

**DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI [MUSb] (Olocene):** costituiti da ciottoli calcareo scarsamente arrotondati derivanti dal disfacimento dei terrazzi più alti e da limi argillosi presenti per affioramenti pelitico arenacei posti lungo l'asta del torrente.

**DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI, SUPERSINTEMA DI COLLE ULIVO – COLONIA MONTANI (2° ordine) [ACbn3] (Pleistocene medio sommitale) e DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI, SINTEMA DI MATELICA (3° ordine) [MTIbn] (Pleistocene superiore):** Generalmente nell'area marchigiana si riconoscono tre ordini principali di terrazzi alluvionali posti a varie altezze sul fondovalle (fino ad oltre 200 m) e prodotti in ambiente freddo. I terrazzi del 3° ordine (MTIbn) sono attribuiti al Pleistocene superiore (Würm) in base a datazioni radiometriche, mentre quelli del 1° (URSbn3) e 2° ordine (ACbn3) sono stati riferiti al Pleistocene medio sulla base di considerazioni pedostratigrafiche (sono alterati alla sommità da paleosuoli fersiallitici prodotti in prolungate condizioni di clima subtropicale) e paleontologiche.

I depositi di 2° e 3° ordine si presentano in lembi più estesi e continui, con spessori fino a 10-30 metri. Essi sono costituiti da ciottoli a granulometria più uniforme, con diametri compresi mediamente tra 2 e 5 cm, anche se non mancano talora elementi molto grossolani (specie alla base dei depositi). Spesso si rinvengono lenti e livelli limosi e sabbiosi e clasti arenacei, più frequenti nei bacini modellati in substrati arenacei e arenaceo-pelitici. Spesso i depositi del 2° ordine appaiono cementati in superficie a seguito di processi pedogenetici, ai quali sono dovuti anche suoli fersiallitici più o meno troncati che si osservano alla loro sommità.

**DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI, SINTEMA DEL FIUME MUSONE [MUSb] (Olocene):** I depositi alluvionali di epoca olocenica sono costituiti dalle alluvioni d'alveo attuale lungo tutti i corsi d'acqua, anche di piccola portata, e da quelle terrazzate aventi un dislivello di 5-10 m sul fondovalle. In genere sono separate da deboli scarpate ma talora sfumano dolcemente l'una nell'altra. La loro composizione è pressoché analoga a quella dei depositi precedenti, essendo costituite da elementi provenienti in prevalenza dalle formazioni calcaree, calcareo-marnose, arenacee e arenaceo-pelitiche. Rispetto alle alluvioni pleistoceniche questi depositi si presentano freschissimi e del tutto inalterati.

**DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI, SINTEMA DEL FIUME MUSONE [MUSb2] (Olocene):** Tali depositi sono prevalentemente di natura limoso-argillosa, di origine colluviale, con frazione sabbiosa e/o con elementi marnosi o calcareo-marnosi in relazione alla natura del bacino di alimentazione. Nel settore studiato sono molto diffusi come copertura nei versanti, soprattutto nel settore orientale, dove il bacino di alimentazione è di tipo marnoso-argilloso, occultando il substrato in affioramento; lo spessore può arrivare fino a circa 10 m ed oltre.

## 4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico generale dell'area d'indagine risulta caratterizzato nella porzione occidentale del tracciato stradale da depositi terrazzati alluvionali terrazzati quindi da depositi eluvio colluviali, depositi recenti ed eluvio colluviali nella porzione più orientale. Al di fuori del tracciato si individuano diverse forme legate a dissesti in atto e quiescenti anche di levate dimensioni.

In linea generale il territorio esaminato rappresenta le stesse peculiarità geomorfologiche dei comuni della fascia pedemontana presentando la maggior frequenza di dissesti geomorfologici in corrispondenza di corsi d'acqua, in corrispondenza di terreni acclivi e con presenza di coltri o legati ad elementi sismogenetici o di faglie non più attive.

## 5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area di studio fa parte del bacino idrografico del Fiume Chienti che risulta essere un'asta fluviale che taglia ortogonalmente le strutture delle dorsali carbonatiche della zona fino a gettarsi direttamente nell'Adriatico. L'asta fluviale è costituita da diversi affluenti in entrambe le direzioni ed in genere risulta incassato nelle proprie alluvioni recenti o terrazze formatesi nel quaternario.

Nell'area di Caldarola sono presenti dei potenti terrazzi fluviali che però si riducono sensibilmente procedendo verso l'interno e quindi allontanandoci dall'asta fluviale principale. Gli affluenti in questa zona sono caratterizzati da modesti spessori di depositi contenenti modesti acquiferi qualora non appartenenti a depositi di terrazzi fluviali. Lo sviluppo areale dei corsi d'acqua risulta dendritico e sempre costituito da fossi abbastanza brevi e posti in impluvi anche fortemente incisi. I terreni presenti in zona possono essere sede di sorgenti e/o risorgive per lo più di modeste portate e localizzate in lineamenti tettonici o di contatto tra litotipi a differente permeabilità.

## 6 INDAGINI GEOFISICHE

Per la definizione delle caratteristiche dei terreni interessati dal tracciato del lotto 1 stralcio 2 sono state effettuate le indagini geognostiche con prove in sito e le prove di laboratorio.

### 6.1 CAMPAGNA DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Nella campagna indagini del progetto definitivo sono stati eseguiti:

- n. 2 stendimento sismico a rifrazione;
- n. 3 misurazioni microtremori tecnica HVSR;
- n. 3 misurazioni sin foro Down-Hole.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la Normativa Italiana (D.M. 17/01/2018), prevede la valutazione della risposta sismica locale mediante specifiche analisi come definite al §7.11.3 del D.M. 17/01/2018, oppure in assenza di tali analisi, attraverso un approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo, come riportato nella Tabella 1.

Suolo	Descrizione geotecnica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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 tra 360 m/s e 800 m/s.
C	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 equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	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 tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC 2018).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per la ricostruzione dei profili di velocità in onde  $V_p$  e  $V_s$ , la determinazione dei moduli dinamici dei materiali carotati, la determinazione del parametro  $V_{seq}$  o  $V_{s30}$  ai sensi delle NTC 2018 e la definizione categoria sismica del suolo di fondazione, in corrispondenza dei sondaggi S02 ed S05 opportunamente attrezzati, sono state effettuate n. 2 specifiche prove sismiche in foro di tipo Down-Hole.

Sondaggio	Profondità	Esecuzione down hole	Impresa esecutrice	Anno
(codice)	(m)	(m)	(-)	(-)
S02	40	41	Albanese Perforazioni srl	Novembre 2022
S05	40	41	Albanese Perforazioni srl	Novembre 2022

Tabella 2: Dettaglio delle misure sismiche in foro tipo Down-Hole

## **RISULTATI E CONCLUSIONI**

### **DOWN-HOLE – S02**

La verticale d'indagine è stata suddivisa in base alle velocità di propagazione delle onde in quattro intervalli riassunti nella tabella seguente:

Sismostrato	Profondità	$V_p$	$V_{s,med}$
	(m)	(m/s)	(m/s)
1	0.0 – 5.0	446	183
2	5.0 – 15.0	800	330
3	15.0 - 27.0	1308	431
4	27.0-41.0	1502	555

Tabella 3: Interpretazione della prova Down-Hole S02

Dalla precedente tabella si evince che la velocità di propagazione delle onde generalmente aumenta con l'aumentare della profondità, così come mostrato dall'andamento della  $V_s$  in funzione della profondità rappresentato nella seguente Figura 1:

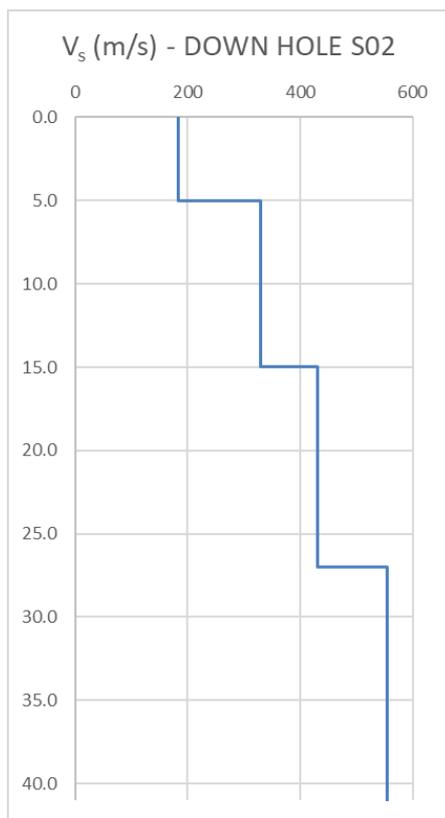


Figura 1: Andamento della Vs in funzione della profondità (Down Hole S02)

L'analisi condotta al livello del piano campagna permette di definire una velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}=330.1$  m/s alla quale, in accordo con le NTC18, si determina una categoria di sottosuolo pari a "C" (rif. Tabella 1).

L'analisi condotta a partire da 3.0 m di profondità dal piano campagna (corrispondente al piano di posa delle fondazioni) permette di definire una velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}=375.5$  m/s alla quale, in accordo con le NTC18, si determina una categoria di sottosuolo pari a "B" (rif. Tabella 1).

**DOWN-HOLE – S05**

La verticale d'indagine è stata suddivisa in base alle velocità di propagazione delle onde in quattro intervalli riassunti nella tabella seguente:

Sismostrato	Profondità	$V_p$	$V_{s,med}$
	(m)	(m/s)	(m/s)
1	0.0 – 2.0	382	104
2	2.0 – 14.0	946	322
3	14.0 - 33.0	1387	481
4	33.0-41.0	1486	633

Tabella 4: Interpretazione della prova Down-Hole S05

Dalla precedente tabella si evince che la velocità di propagazione delle onde generalmente aumenta con l'aumentare della profondità, così come mostrato dall'andamento della Vs in funzione della profondità rappresentato nella seguente Figura 2:

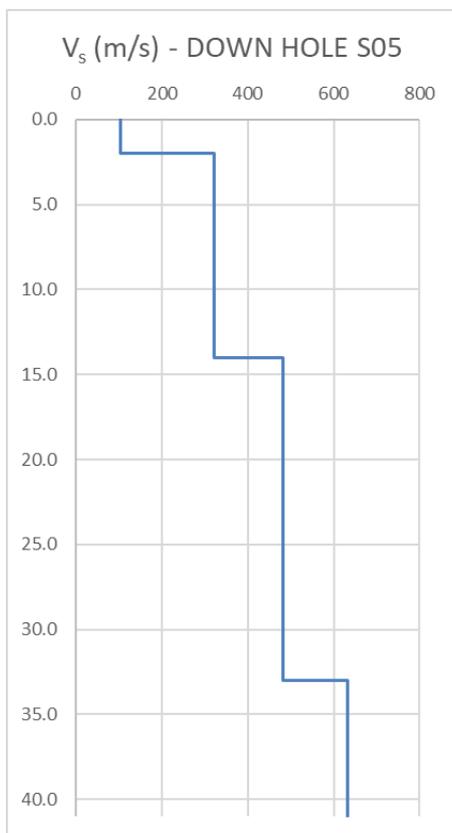


Figura 2: Andamento della Vs in funzione della profondità (Down Hole S05)

L'analisi condotta al livello del piano campagna permette di definire una velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}=334.2$  m/s alla quale, in accordo con le NTC18, si determina una categoria di sottosuolo pari a "C" (rif. Tabella 1).

L'analisi condotta a partire da 3.0 m di profondità dal piano campagna (corrispondente al piano di posa delle fondazioni) permette di definire una velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}=407.3$  m/s alla quale, in accordo con le NTC18, si determina una categoria di sottosuolo pari a "B" (rif. Tabella 1).

## 6.2 MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (METODO HVSR)

La tecnica a stazione singola passiva H/V, anche detta HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), permette di stimare l'amplificazione sismica di un terreno attraverso il rapporto tra la componente spettrale orizzontale e quella verticale.

Nello specifico, tale metodo si basa sulla misurazione ed analisi del rumore sismico ambientale nell'intervallo di frequenze d'interesse ingegneristico (0÷20 Hz, corrispondente alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture) ed ha il vantaggio di permettere di indagare la risonanza di un terreno (o di un edificio) sollecitato dal solo microtremore, di origine ambientali e/o antropico (vento, traffico ecc.), anche in assenza di un terremoto.

In un sistema costituito da uno strato tenero (es. coperture) + semispazio rigido (es. bedrock), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, di nuovo al bedrock ecc.) dando luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti [ $\lambda = n * 4 * H$ ]. Le frequenze a cui si manifestano le risonanze sono descritte dalla legge:

$$f_{Hz} = n * \frac{V_s}{4H}$$

Dove:

- n = ordine del modo di vibrare (fondamentale per n=1);
- $V_s$  = velocità delle onde di taglio nello strato che risuona;
- H = spessore dello strato di riferimento.

Nella maggior parte delle situazioni, a causa dell'attenuazione indotta dalle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

L'Equazione permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di microtremore che fornisce un valore di frequenza "f", nota la " $V_s$ " delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

Di seguito (Tabella 5) sono riportate le Frequenze fondamentali di risonanza e relativa Ampiezza ( $F_0$  ed  $A_0$ ), delle indagini eseguite, nell'intervallo di campionamento d'interesse ingegneristico tra 0 Hz e 20 Hz ed Ampiezza superiore a 1, ricordando che la frequenza di risonanza fondamentale è quella relativa alla frequenza più bassa.

STAZIONE DI MISURA	$f_0$ (Hz)	Probabile amplificazione	Profondità contrasto di impedenza (m)
HVSR01	7,78	SI	10-20
HVSR02	18,45	NO	/
HVSR03	3,70	NO	/

Tabella 5: Misure HVSR eseguite

I dati d'indagine geofisica HVSR, ove possibile, sono stati correlati con i dati provenienti dai sondaggi geognostici eseguiti nel sito di progetto, ai fini di caratterizzare il profilo stratigrafico del suolo di fondazione e categorizzare le relative  $V_s$ .

## 6.1 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE IN ONDA P E IN ONDA S

Nella totalità sono stati realizzati n.2 profili sismici a rifrazione. La seguente tabella sintetizza, per ogni stesa, le principali informazioni:

Tipologia di indagine	Coordinate		Condizioni meteo	Data acquisizione	Operatore
Tomografia sismica SR01	43.119771° 13.252102°	43.119856° 13.253631°	Poco nuvoloso	26.11.2022	Pasquale Alessandro
Tomografia sismica SR02	43.119578° 13.256707°	43.120064° 13.258100°	Poco nuvoloso	26.11.2022	Pasquale Alessandro

Tabella 6: *Riepilogo indagini sismiche a rifrazione*

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura dei tempi di percorso delle onde sismiche di volume (P e S) dirette e rifratte che, partendo in un istante noto da una sorgente artificiale di posizione nota, arrivano ai diversi geofoni (sensori collocati a distanze note dalla sorgente). Le onde dirette sono quelle che si propagano direttamente dalla sorgente ai geofoni, senza scendere in profondità, invece, le onde rifratte sono quelle che, dopo essere penetrate in profondità nel sottosuolo, incontrano un rifratore (superficie di aumento brusco della velocità di propagazione) e vengono da esso trasmesse in superficie (a causa del fenomeno dell'incidenza critica dei raggi sismici).

Pertanto, i dati ricavati da tale tipo di indagini consentono la definizione di un modello bidimensionale del sottosuolo. Utilizzando le distanze tra il punto di scoppio e i vari geofoni e i tempi di arrivo del segnale sismico, si ricavano delle curve tempo-distanza (dromocrone).

Dalle dromocrone dei primi arrivi (curve che rappresentano la variazione del tempo di percorso in funzione della distanza sorgente - geofono) si risale al modello di velocità sismica del sottosuolo, fino alla base del rifratore più profondo individuato (poiché i raggi sismici che scendono a profondità superiori non ritornano in superficie nei punti in cui sono collocati i geofoni).

Le sezioni sismiche a rifrazione hanno permesso la ricostruzione delle geometrie e dei rapporti stratigrafici bidimensionali fra le differenti unità sismiche definite sulla base dei valori di velocità sismica  $V_p$  e  $V_s$ . I valori di velocità sismica sono espressi in m/s.

### Tomografia sismica SR01

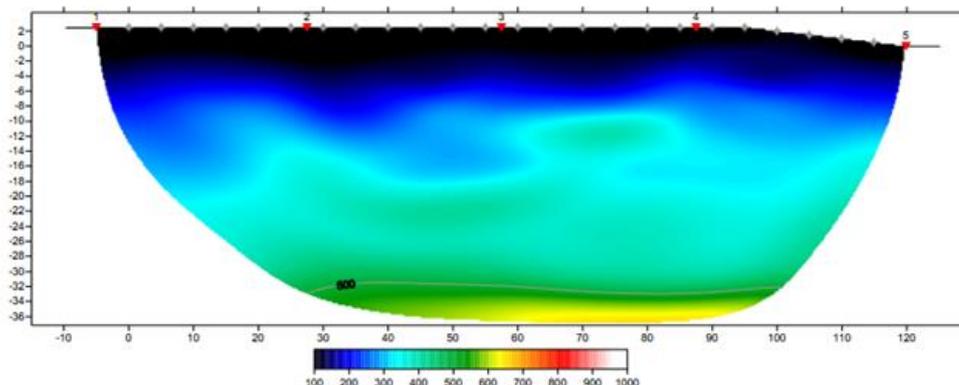


Figura 3: *Elaborazione tomografia sismica SR01 – Sezione tomografica in onda S*

La sezione tomografica mostra una geometria dei sismostrati piuttosto regolare. Si evidenzia un aumento graduale delle velocità delle onde sismiche con la profondità.

**Tomografia sismica SR02**

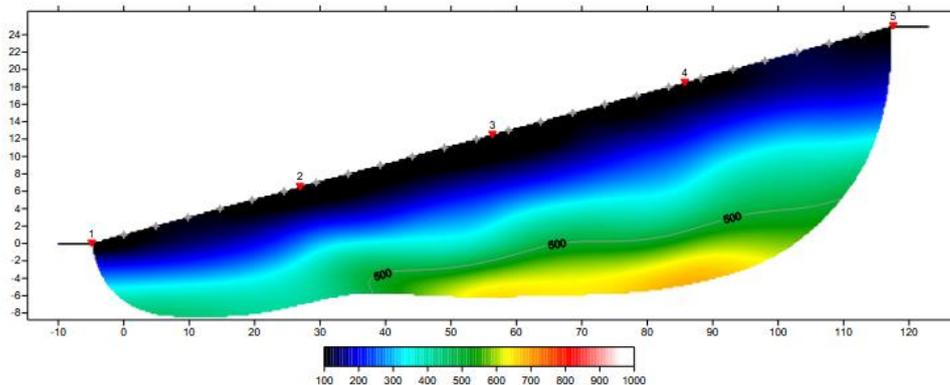


Figura 4: *Elaborazione tomografia sismica SR02 – Sezione tomografica in onda S*

La sezione tomografica mostra una geometria dei sismostrati piuttosto regolare. La velocità delle onde sismiche aumenta gradualmente con la profondità con sismostrati paralleli alla topografia.

## 7 INQUADRAMENTO SISMICO

### 7.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il Comune di Caldarola è inserito, in Zona Sismica 2 ( $a_g = 0.15-0.2 g$ ) “Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti” (Ordinanza del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 e della successiva Delibera della Giunta regionale Marche n.1046 del 29/07/2003 e successive modifiche).

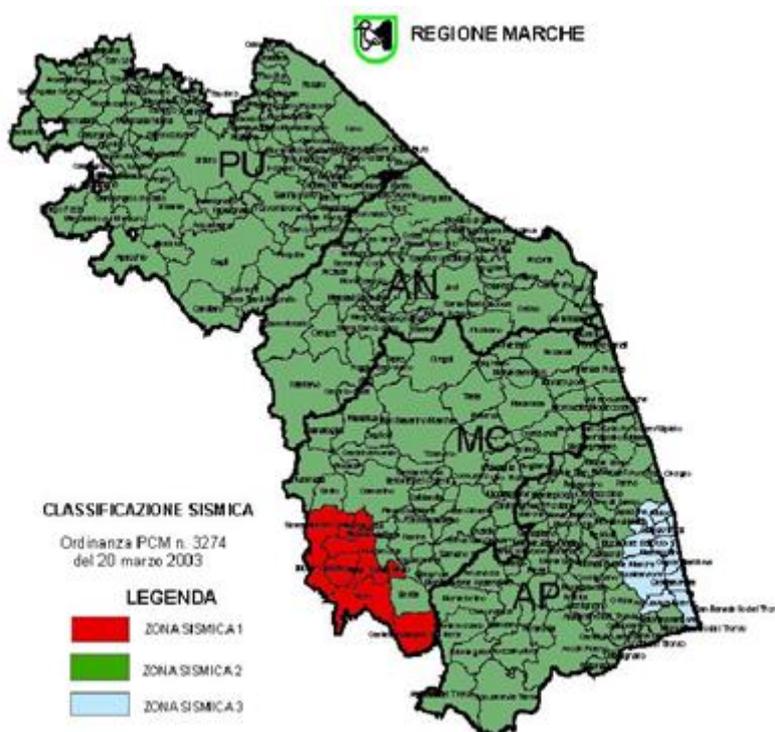


Figura 5: Mappa zonazione sismica – Regione Marche

### 7.2 PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda la pericolosità sismica, della quale si riporta la mappa della Regione Marche, essa è intesa in senso probabilistico come lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

Gli studi di pericolosità sono utilizzati, tra gli altri, nelle analisi di sito, per localizzare opere critiche dal punto di vista della sicurezza, del rischio o dell'importanza strategica. Valutare la pericolosità significa, in questo caso, stabilire la probabilità di occorrenza di un terremoto di magnitudo (o PGA) superiore al valore di soglia stabilito dagli organi politici/decisionali, portando all'eventuale scelta di aree diverse.

Con l’OPCM n. 3519 del 28.04.2006 è stata approvata la “Mappa di pericolosità sismica del territorio Nazionale” espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{g\ max}$ ).

Poiché l’INGV fornisce mappe di pericolosità sismica ricavate fissando un periodo di riferimento  $V_R$  pari a 50 anni ( $V_n = 50$  anni,  $C_u=1$ ), è stato necessario calcolare la probabilità di superamento  $P_{V_R}$  in 50 anni per una costruzione di classe d’uso IV ( $C_u=2$ ).

Il periodo di ritorno  $T_R$  allo stato limite SLV ( $P_{V_R} = 10\%$ ), calcolato secondo le prescrizioni contenute al paragrafo 3.2.1 delle NTC18, per una costruzione avente un periodo di riferimento  $V_R=100$  anni risulta essere:

$$T_{R100} = 949 \text{ anni}$$

È possibile calcolare la probabilità di superamento  $P_{V_R}$  fissando un periodo di ritorno  $T_R = 949$  anni e un periodo di riferimento  $V_R = 50$  anni mediante la seguente formula:

$$P_{V_R} = 1 - e^{\left(-\frac{50 \text{ anni}}{T_{R100}}\right)} = 5,132 \%$$

Si riporta di seguito la mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_s > 800$  m/sec). Il valore di " $a_g$ " per il Comune di Caldarola varia da 0.175 a 0.200g.

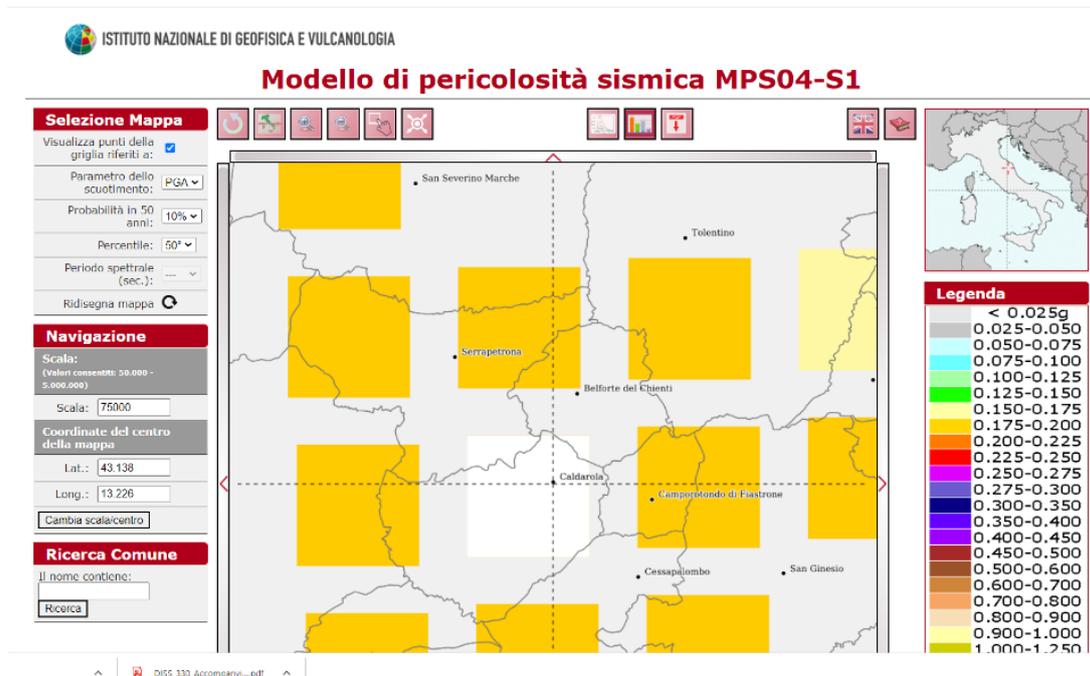


Figura 6: Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (MPS04-S1).

**PROGETTO DEFINITIVO**

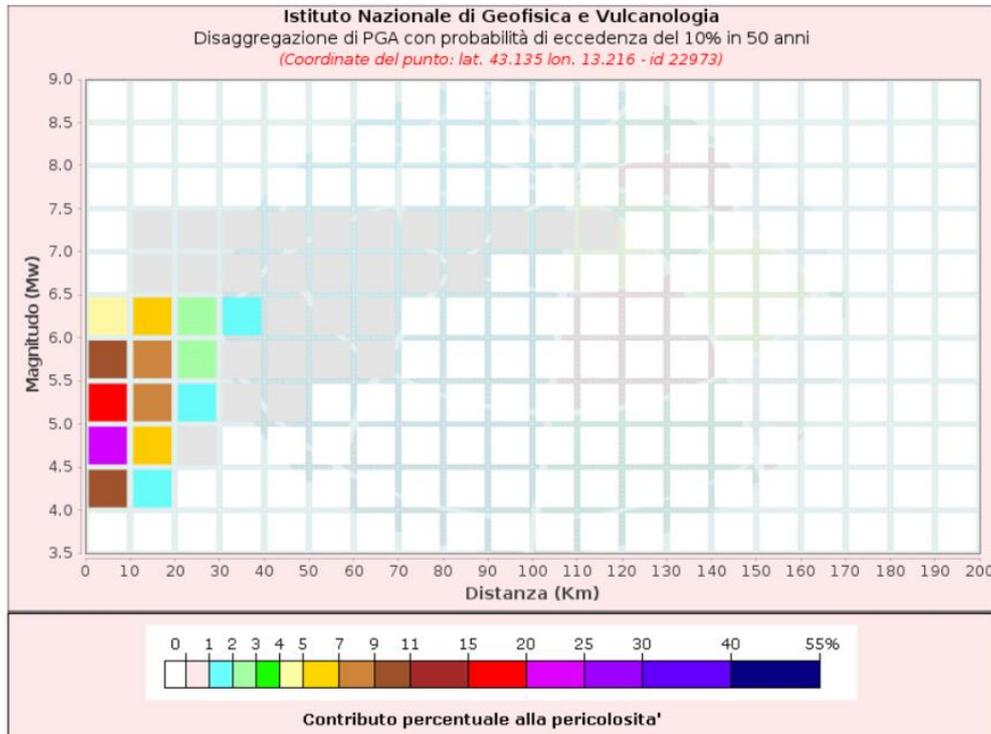


Figura 7: Grafico di disaggregazione per il sito in esame

sgj ■ com macerata ■ banche ■ bandi ■ geotermia imp ■ meteo ■ provincia mc ■ utenze ■ pec ■ Siti Web Microsoft ■ BANDI ■ V: Virg

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 (Coordinate del punto: lat. 43.135 lon. 13.216 - id 22973)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	9.9200	21.7000	15.6000	9.5000	4.2900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.2300	5.1100	7.0800	7.3700	5.1500	0.3600	0.1850	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.2100	1.3400	2.6300	2.7800	0.7120	0.4430	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0001	0.1080	0.7620	1.0700	0.4720	0.3600	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.1560	0.3610	0.2630	0.2410	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0195	0.0865	0.1350	0.1520	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0076	0.0587	0.0887	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0157	0.0419	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0191	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0071	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.31	10.6	0.887

Figura 8: Magnitudo di riferimento per il sito in esame

### 7.3 SISMICITÀ STORICA

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto sono stati consultati i database disponibili presso il sito INGV:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014

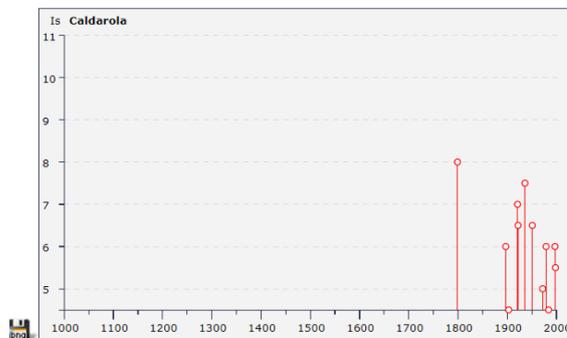
Dal sito [https://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/query_place/) è possibile desumere set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1773 ad oggi.

#### Storia sismica di Caldarola [43.137, 13.226]



Numero di eventi: 22

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
8	1799	07	28			CAMERINO	47	9-10	5.93
4	1889	12	08			APRICENA	122	7	5.55
4	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
6	1897	09	21			ADRIATICO CENTRALE	44	7	5.50
3-4	1897	12	18	07	24	Appennino umbro-march.	132	7-8	5.18
4	1898	06	27	23	38	RIETI	186	8	5.48
3-4	1898	08	25			VISSO	66	7	5.09
4-5	1903	11	02	21	52	VALNERINA	33	6-7	5.03
2-3	1904	11	17	05	02	PISTOIESE	204	7	5.18
3-4	1907	01	23	00	25	ADRIATICO CENTRALE	93	5	4.84
3	1911	02	19	07	18	Romagna meridionale	185	7	5.38
7	1921	08	28	10	45	SARNANO	13	7	5.06
6-7	1922	06	08	07	47	CALDAROLA	52	6-7	5.00
4	1933	09	26	03	33	Maiella	326	9	5.68
7-8	1936	12	09	07	34	CALDAROLA	32	7-8	4.83
6-7	1951	09	01			SARNANO	81	7	5.31
5	1972	11	26	16	03	MONTEFORTINO	73	8	5.34
6	1979	09	19	21	35	Valnerina	691	8-9	5.90
4-5	1984	04	29	05	02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.68
3-4	1993	06	05	19	16	GUALDO TADINO	326	6	4.92
6	1997	09	26	09	40	Appennino umbro-march.	869	9	6.05
5-6	1998	03	26	16	26	APPENNINO UMBRO-MARCH.	408	6-7	5.33



#### Località vicine (entro 10km)

Località	Stato	NMO	Distanza
Belforte del Chienti	IT	11	3km
Camporotondo di Piastrone	IT	7	3km
Cessapalombo	IT	7	4km
San Ginesio	IT	20	8km
Serrapetrona	IT	5	5km
Tolentino	IT	32	9km

Figura 9: Storia sismica del comune di Caldarola dal 1773 ad oggi

### 7.4 ASPETTI SISMOGENETICI

Le sorgenti sismogenetiche italiane sono raccolte in un Database (DISS Working Group, 2018), esso comprende un repository georiferito di informazioni di natura sismo-tettonica. Con il termine sismo-tettonica si intende il settore disciplinare che si interessa dei rapporti tra la geologia, la tettonica attiva e la sismicità di una data area, e che ha come obiettivo principale l'individuazione delle strutture che generano terremoti – le sorgenti sismogenetiche – e la stima del loro potenziale. L'obiettivo è di simulare in modo accurato, e quindi, in qualche modo, di “prevedere”, la distribuzione dello scuotimento del terreno che verrà determinato da un forte terremoto del futuro. Lo scuotimento è in assoluto il principale responsabile del danneggiamento subito dalle opere dell'uomo come le vie di comunicazione e le reti di servizi in occasione di un forte evento sismico e le tecniche di simulazione dello scuotimento del terreno sono oggi alla base dei codici per il calcolo della pericolosità sismica e si avvalgono di dati che descrivono dal punto di vista geologico le faglie in grado di generare forti terremoti.

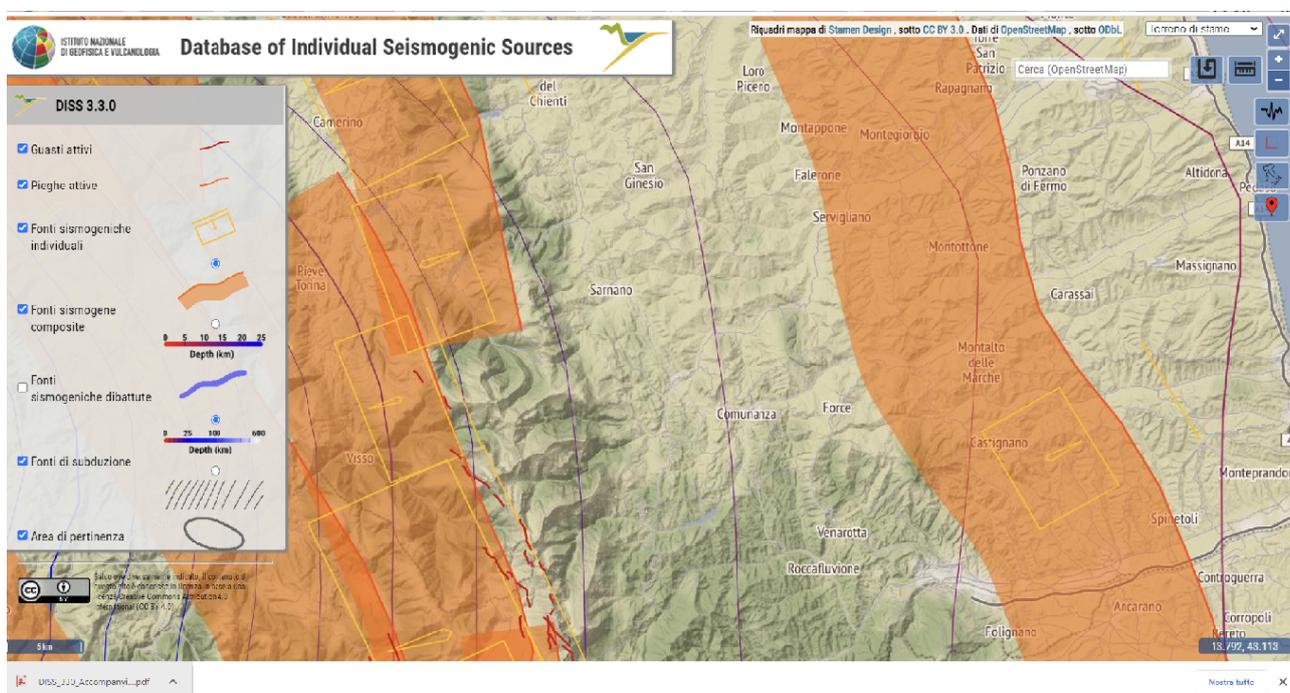
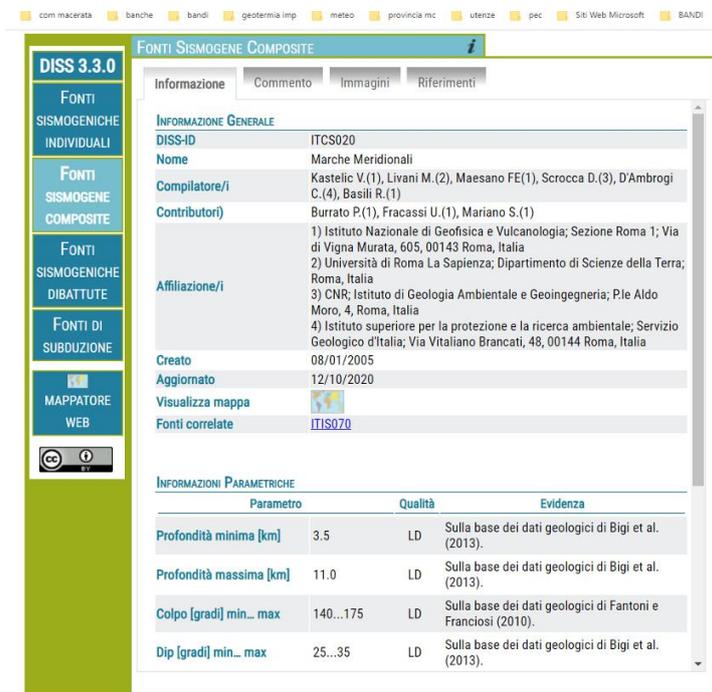


Figura 10: *Mappa delle sorgenti sismogenetiche*

L'area di oggetto di esame si trova tra due sorgente sismogenetica composta ITCS020 attiva e la sorgente ITCS127 composta. Le sorgenti sismogenetiche composte rappresentano aree molto estese all'interno delle quali vi sussistono sorgenti sismogenetiche minori associate a specifici terremoti storici.



**DISS 3.3.0**

**FONTI SISMOGENICHE COMPOSITE**

Informazione | Commento | Immagini | Riferimenti

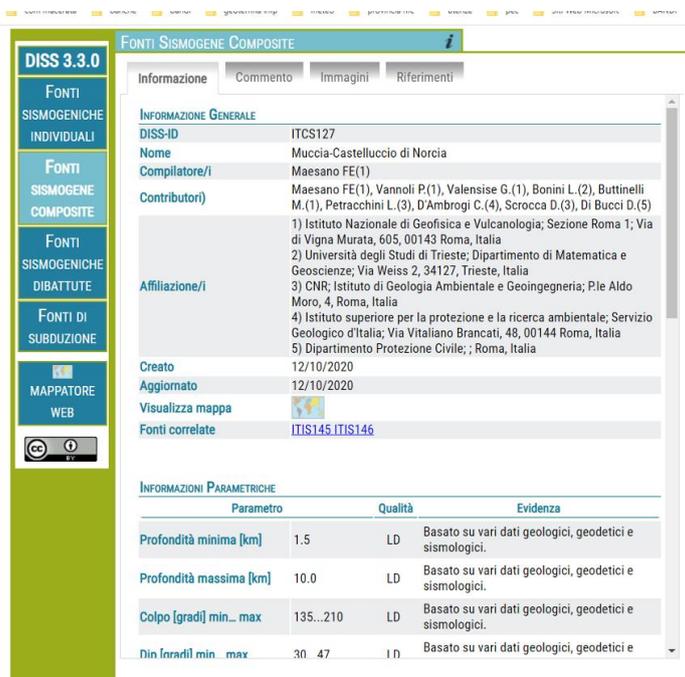
**INFORMAZIONE GENERALE**

DISS-ID: ITCS020  
 Nome: Marche Meridionali  
 Compilatore/i: Kastic V.(1), Livani M.(2), Maesano FE(1), Scrocca D.(3), D'Ambrogio C.(4), Basili R.(1)  
 Contributori: Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)  
 Affiliazione/i:  
 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italia  
 2) Università di Roma La Sapienza; Dipartimento di Scienze della Terra; Roma, Italia  
 3) CNR; Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria; Ple Aldo Moro, 4, Roma, Italia  
 4) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italia  
 Creato: 08/01/2005  
 Aggiornato: 12/10/2020  
 Visualizza mappa:   
 Fonti correlate: [ITIS070](#)

**INFORMAZIONI PARAMETRICHE**

Parametro	Qualità	Evidenza
Profondità minima [km]	3.5	LD Sulla base dei dati geologici di Bigi et al. (2013).
Profondità massima [km]	11.0	LD Sulla base dei dati geologici di Bigi et al. (2013).
Colpo [grad] min... max	140...175	LD Sulla base dei dati geologici di Fantoni e Franciosi (2010).
Dip [grad] min... max	25...35	LD Sulla base dei dati geologici di Bigi et al. (2013).

Figura 11: Sorgente sismogenetica composta ITCS020 (<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html#>)



**DISS 3.3.0**

**FONTI SISMOGENICHE COMPOSITE**

Informazione | Commento | Immagini | Riferimenti

**INFORMAZIONE GENERALE**

DISS-ID: ITCS127  
 Nome: Muccia-Castelluccio di Norcia  
 Compilatore/i: Maesano FE(1)  
 Contributori: Maesano FE(1), Vannoli P.(1), Valensise G.(1), Bonini L.(2), Buttinelli M.(1), Petracchini L.(3), D'Ambrogio C.(4), Scrocca D.(3), Di Buccì D.(5)  
 Affiliazione/i:  
 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italia  
 2) Università degli Studi di Trieste; Dipartimento di Matematica e Geoscienze; Via Weiss 2, 34127, Trieste, Italia  
 3) CNR; Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria; Ple Aldo Moro, 4, Roma, Italia  
 4) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italia  
 5) Dipartimento Protezione Civile; ; Roma, Italia  
 Creato: 12/10/2020  
 Aggiornato: 12/10/2020  
 Visualizza mappa:   
 Fonti correlate: [ITIS145](#) [ITIS146](#)

**INFORMAZIONI PARAMETRICHE**

Parametro	Qualità	Evidenza
Profondità minima [km]	1.5	LD Basato su vari dati geologici, geodetici e sismologici.
Profondità massima [km]	10.0	LD Basato su vari dati geologici, geodetici e sismologici.
Colpo [grad] min... max	135...210	LD Basato su vari dati geologici, geodetici e sismologici.
Dip [grad] min... max	30...47	LD Basato su vari dati geologici, geodetici e sismologici.

Figura 12: Sorgente sismogenetica composta ITCS127 (<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html#>)

## 8 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE LOCALE

Per la valutazione dello spettro di risposta elastico (componente orizzontale e componente verticale) dell'area investigata si è fatto riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

### 8.1 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella tabella seguente in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove  $S_T$  assume valore unitario.

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 $i > 30^\circ$

Tabella 7: Categorie topografiche (Tabella 3.2.III delle NTC 2018)

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera	$S_T$
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

Tabella 8: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (la variazione spaziale di  $S_T$  è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo dalla sommità fino alla base dove  $S_T=1.0$ )

Il calcolo delle categorie topografiche sarà effettuato dalla progettazione in quanto al momento non abbiamo a disposizione le sezioni stradali.

### 8.2 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella seguente, nelle quali  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Categoria di sottosuolo	SS	CC
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.30}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.5}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tabella 9: Valori dei coefficienti  $S_S$  e  $C_C$ , per ciascuna categoria di sottosuolo

### 8.3 VITA NOMINALE

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente; tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di $V_N$ (anni)
Costruzioni temporanee e provvisorie	10
Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 10: Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Nel caso del presente intervento si considera “Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari”:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

### 8.4 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso  $C_u$  per la definizione dell'azione sismica; in particolare, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise nelle classi d'uso così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSE D'USO				
Classe	I	II	III	IV
Coefficiente $C_u$	0.7	1	1.5	2

 Tabella 11: Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso ( $C_u$ ).

All'opera in oggetto viene assegnato una **Classe d'uso IV** "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica", a cui corrisponde un coefficiente d'uso:

$$C_u = 2.0$$

## 8.5 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ ; pertanto, con riferimento a quanto esposto ai paragrafi precedenti risulta che:

$$V_R = V_n \text{ (Vita nominale)} \times C_u \text{ (Classe d'uso)} = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

## 8.6 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

### 8.6.1 GENERALITÀ

Le NTC 2018, al par. 7.11.3.4.1 stabiliscono che:

*“Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.*

*Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.*

*In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.”*

Allo scopo di accertare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione, è stata condotta una valutazione di suscettibilità in base ai dati a disposizione e tenendo in conto delle condizioni che permettono escludere il fenomeno senza dover effettuare ulteriori analisi (si veda 8.6.2).

Si ricorda come, a causa della breve durata del moto sismico, il terreno reagisca in condizioni sostanzialmente non drenate. In tali condizioni, il comportamento non lineare dei materiali sabbiosi e sabbioso/limosi saturi, sottoposti a carichi ciclici indotti dal terremoto, porta alla generazione di sovrappressioni interstiziali con diminuzione anche significativa di resistenza e rigidità apparente. Alla successiva dissipazione di tali sovrappressioni, corrisponde una riduzione di volume con la generazione di deformazioni permanenti in grado di causare, nello specifico, problematiche di esercizio post-sisma, stabilità dei rilevati, delle opere di sostegno e di attraversamento.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli del moto sismico del suolo, dalla densità relativa  $D_R$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno a grana grossa, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere del numero di cicli, ossia del valore di magnitudo sismica di riferimento.

### 8.6.2 CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Le NTC 2018 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa qualora si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione

efficace verticale di 100 kPa e  $q_{C1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità, fornite nelle NTC 2018.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche (contenuti nella “Relazione geotecnica generale” Doc. T01SG00GETRE05) e dalle prove SPT riportate nelle stratigrafie della relazione geologica si evince con chiarezza che le unità geotecniche presenti lungo il tratto sottoposto ad indagine risultano essere di natura argillo-limosa: tali unità non sono tendenti alla liquefazione e per il criterio di esclusione 3 descritto nell’elenco precedente si ritiene possibile affermare che la verifica a liquefazione può essere omessa.