

Regione Autonoma
Valle d'Aosta
Comune di
FONTAINEMORE

Région Autonome
Vallée d'Aoste
Commune de
FONTAINEMORE

Progetto definitivo

**DERIVAZIONE D'ACQUA AD USO
IDROELETTRICO DALLO SCARICO
DELL'ESISTENTE CENTRALE
IDROELETTRICA SITA IN LOC. PILLAZ
SUL TORRENTE PACOULA**

Committente:

S.I.V. s.r.l.
Società Idroelettrica Vargno

Allegato

**Relazione di classificazione sismica del
sottosuolo**

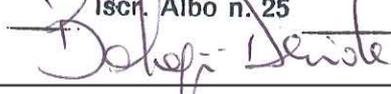
D.M. 17 gennaio 2018, cap. 3.2 "Azione sismica"

data

ottobre 2021

ORDINE DEI GEOLOGI
Regione Autonoma Valle d'Aosta
ORDRE DES GEOLOGUES
Région Autonome Vallée d'Aoste

Dr. BOLOGNINI DAVIDE
Iscr. Albo n. 25



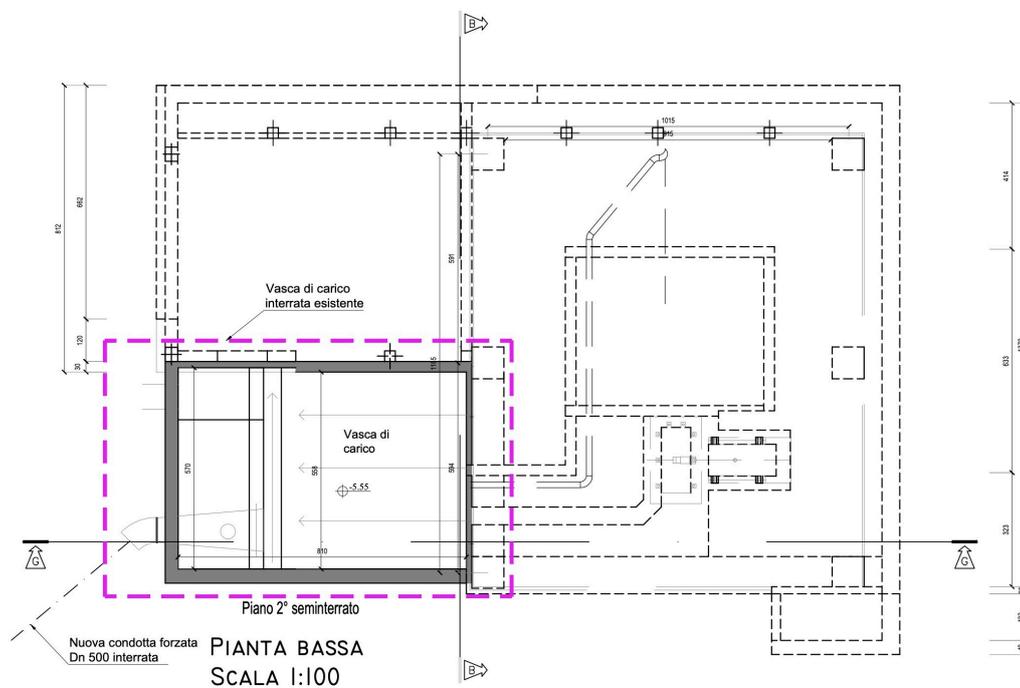
1. Sommario	
1. Sommario	2
2. Premessa	4
<i>Normativa di riferimento</i>	9
Classificazione sismica	10
Corografia generale	11
Corografia di dettaglio.....	12
Estratto catastale.....	13
Azione sismica (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2).....	14
3. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2.2)	15
Categorie di sottosuolo	15
Condizioni topografiche.....	16
4. Valutazione dell'azione sismica (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2.3) 17	
<i>Impiego di storie temporali del moto del terreno (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2.3.6)</i>	17
<i>Approccio semplificato in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s</i>	18
Indagine sismica MASW.....	18
<i>Cenni teorici</i>	18
1-Acquisizione dati in sito.....	19
2-Elaborazione e identificazione curva dispersione.....	19
3-Inversione della curva di dispersione	20
<i>Strumentazione utilizzata</i>	21
<i>Acquisizione ed elaborazione dei dati</i>	21
Risultati dell'indagine	24
5. Modellazione sismica del sito	26
<i>Stima della magnitudo attesa</i>	26
6. Determinazione delle azioni sismiche di progetto	27
<i>Individuazione della pericolosità del sito</i>	28

<i>Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno TR di riferimento</i>	<i>29</i>
<i>Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^*: variabilità col periodo di ritorno TR (grafico).....</i>	<i>30</i>
<i>Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^*: variabilità col periodo di ritorno TR (tabella).....</i>	<i>31</i>
<i>Scelta della strategia di progettazione</i>	<i>32</i>
<i>Valori di progetto dei parametri a_g, F_o, T_C^* in funzione del periodo di ritorno TR (grafico).....</i>	<i>33</i>
<i>Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV</i>	<i>34</i>
<i>Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno SL (tabella).....</i>	<i>35</i>
7. Stabilità nei confronti della liquefazione (D.M. 17/01/2018, cap. 7.11.3.4).....	36
<i>Esclusione della verifica a liquefazione (D.M. 17/01/2018, cap. 7.11.3.4.1)</i>	<i>36</i>

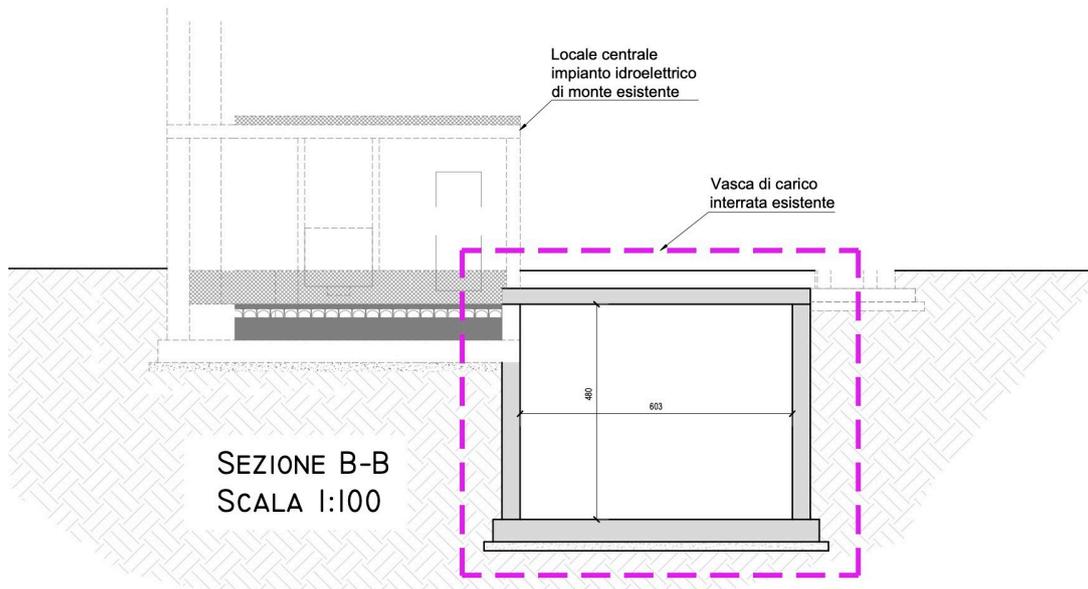
2. Premessa

Su incarico e per conto della S.I.V. s.r.l. - Società Idroelettrica Vargno, committente della presente relazione, è stata condotta un'indagine geologica s.l. su un'area sita tra la loc. Pillaz e la loc. Crest - Pianperverso nel territorio comunale di Fontainemore, dove è in progetto la realizzazione dell'“Impianto idroelettrico sul torrente Pacoula - II° salto”.

Il progetto a firma del Dr. Ing. Bruno Cerise di Aosta (AO) si articola nel seguente modo: la vasca di carico del nuovo impianto utilizza la vasca esistente nel sottosuolo del piazzale della centrale in loc. Pillaz a quota di 1.268,75 m s.l.m.. La vasca ha dimensioni pari a 6,30 x 8,50 m e raccoglie le acque di scarico della centrale dell'impianto alimentato dall'invaso di Vargno.

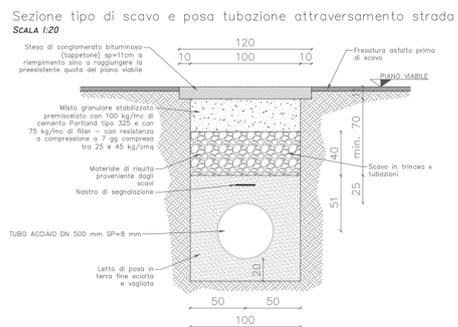
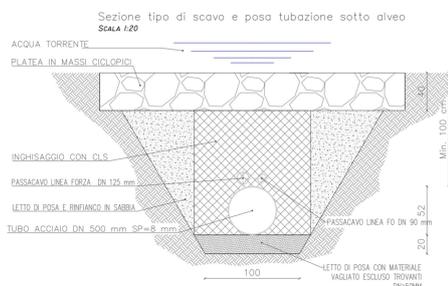
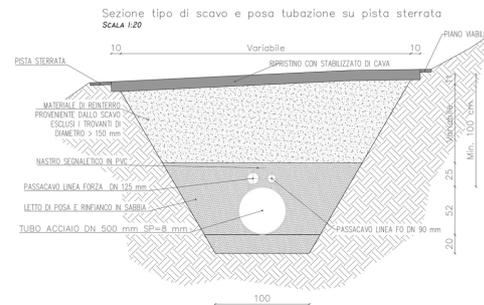
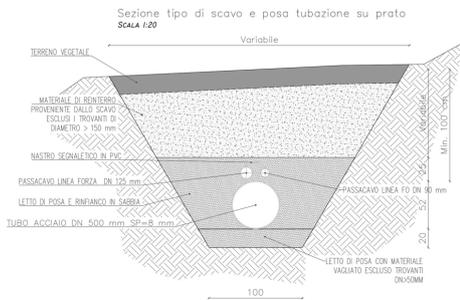


Planimetria di progetto vasca di carico



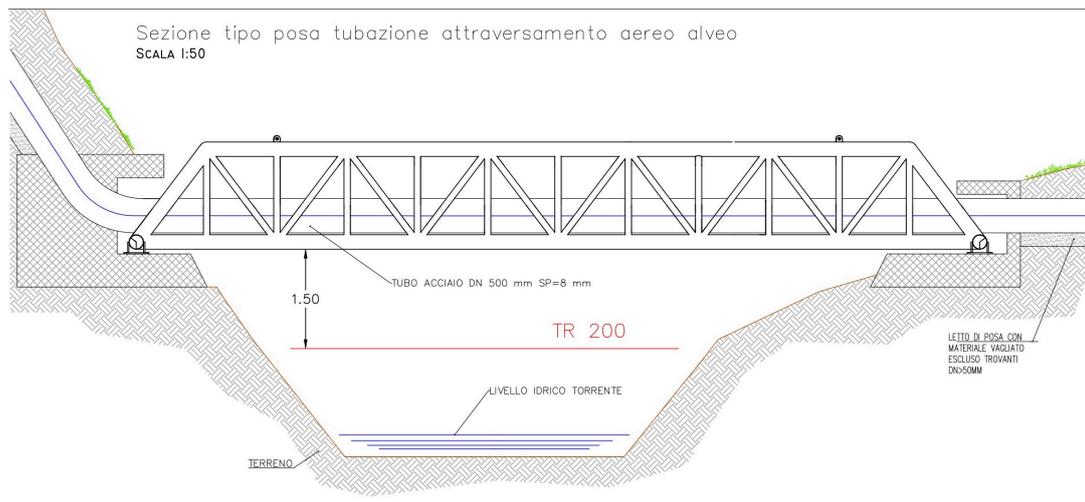
Sezione di progetto vasca di carico

Dalla vasca di carico parte la condotta forzata in acciaio DN 500 mm completamente interrata che raggiunge la nuova centrale prevista in loc. Crest - Pianpervero a quota di 923,00 m s.l.m. dopo aver percorso tratti di versante e tratti di viabilità poderale.



Sezioni tipo di progetto condotta forzata

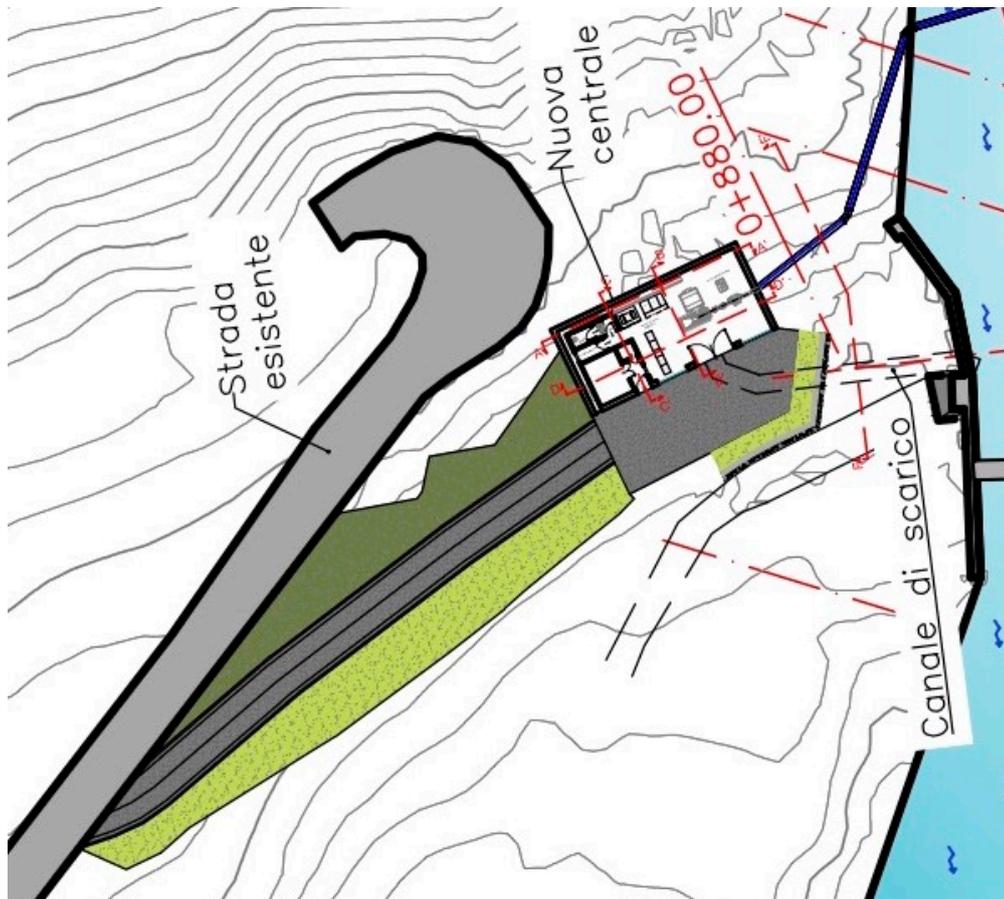
In base alle sezioni dettagliate nella tav. P.07 "Condotta - sezioni di progetto" la condotta sarà posata all'interno di una trincea forma trapezoidale all'interno della quale la profondità di posa della tubazione si attesta a 0,8 - 1,0 m dal piano campagna attuale. Per raggiungere la centrale di produzione, ubicata in sponda destra del torrente Pacoula, la tubazione attraverserà il corso d'acqua su un ponte - canale.



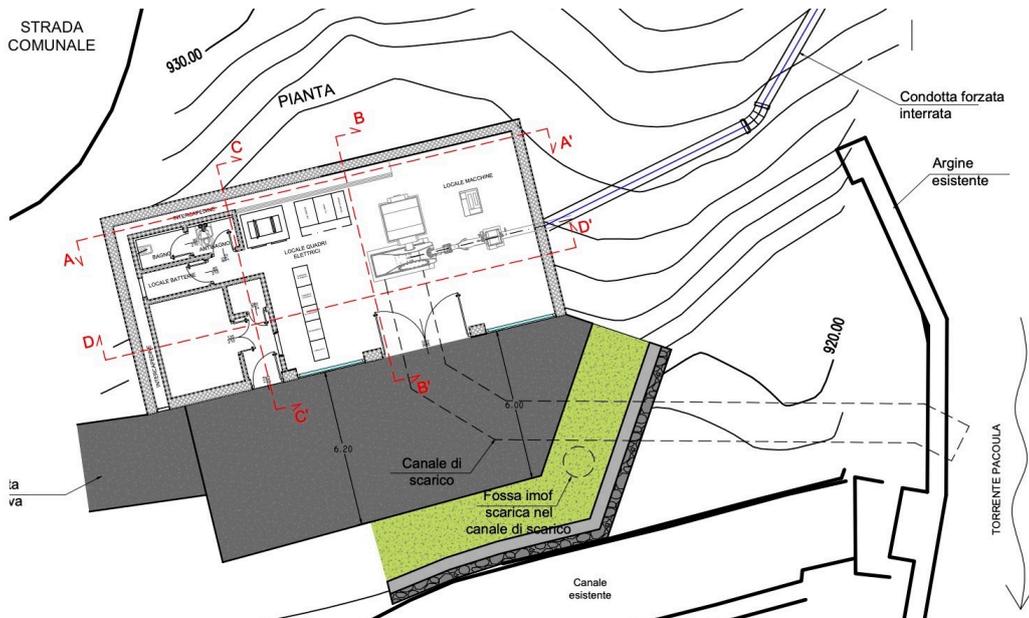
Ponte - canale di attraversamento del torrente Pacoula

La nuova centrale si integrerà nella morfologia del versante all'interno del quale sarà inserita mantenendo a vista il solo prospetto di valle. Lo scarico nel torrente Pacoula avverrà in corrispondenza della presa ausiliaria dell'impianto C.V.A. s.p.a. di Pont Saint Martin a monte del ponte - canale sul torrente Pacoula.

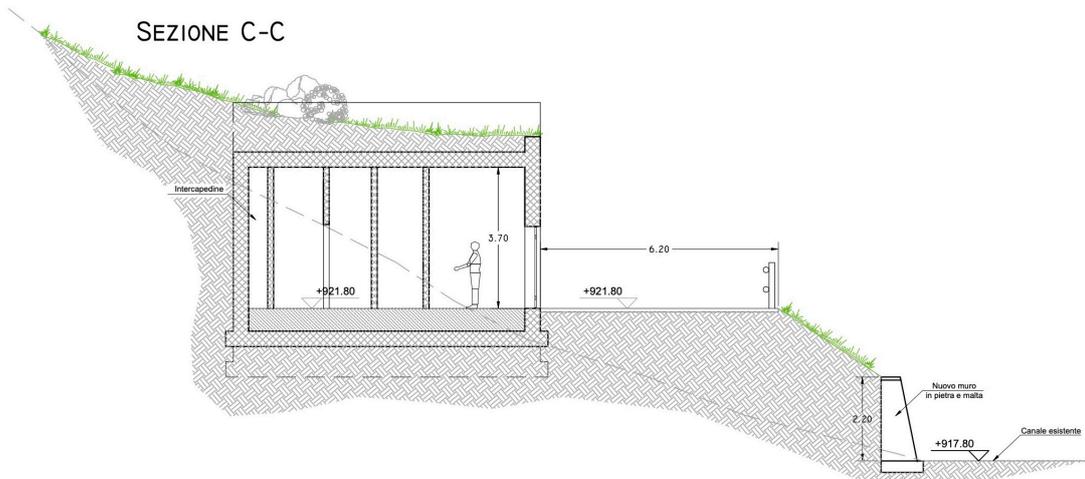
La centrale sarà raggiunta a partire dalla viabilità comunale attraverso un percorso viario di nuova realizzazione



Planimetria di progetto edificio centrale e viabilità di accesso

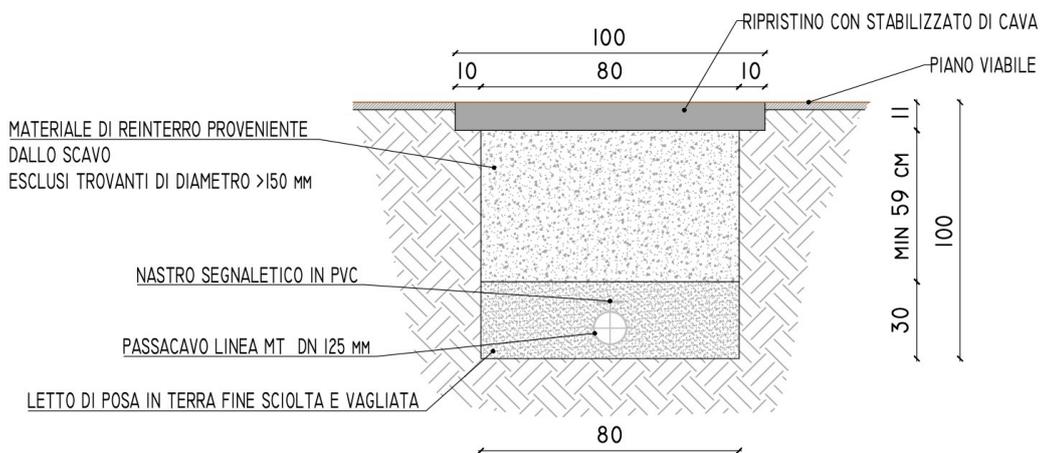


Planimetria di progetto edificio centrale



Sezione di progetto edificio centrale

A partire dalla centrale sarà posato un cavidotto interrato di consegna alla cabina di MT esistente ubicata sulla strada comunale di accesso alla loc. Tetas.



Sezione tipo di progetto cavidotto interrato

La presente “*Relazione di classificazione sismica del sottosuolo*” è stata redatta ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 “*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*”, cap. 3 “*Azioni sulle costruzioni*”, cap. 3.2 “*Azione sismica*” e illustra le azioni sismiche di progetto in base alle quali deve essere valutato il rispetto dei diversi stati limite considerati.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica

orizzontale del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, o, in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. Il riportata di seguito, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità.

Con l'obiettivo di aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione e definire le modifiche locali al segnale sismico di riferimento, in considerazione delle note caratteristiche litostratigrafiche locali e del livello di conoscenza geologica ¹, la classificazione sismica del sottosuolo è stata determinata mediante specifiche analisi di risposta sismica locale effettuate tramite indagine geofisica MASW (Multichannel Analysis Surface Waves).

Rispetto ad altre metodologie di indagine indiretta, il valore di V_s così ricavato (inteso come la media ponderata del profilo di rigidità del sottosuolo) consente di ottenere dati di risposta sismica locale con tecnica non distruttiva e non influenzata dalla qualità di altri interventi necessari ai fini della determinazione del parametro da ricercare come avviene, ad esempio, per la DOWN-HOLE che necessita di un foro di sondaggio appositamente attrezzato.

Normativa di riferimento

- **D.M. 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”**
- **D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”**

¹ I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica sono esposti nella specifica “*Relazione di modellazione geologica*” che costituisce documento separato ma parte integrante della documentazione progettuale

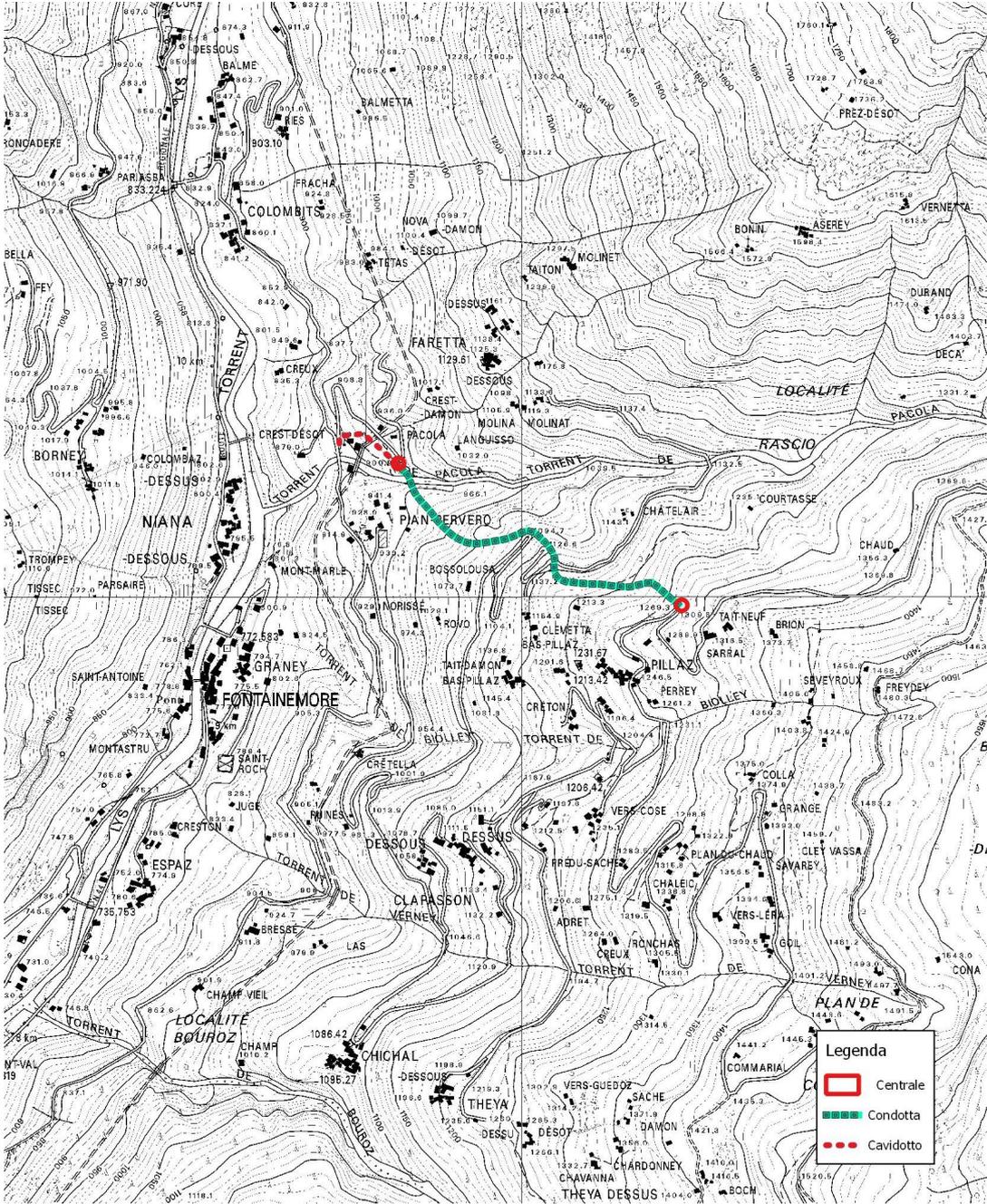
Classificazione sismica

- **O.P.C.M. 28 aprile 2006 n° 3519** *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*
- **D.G.R. 04 ottobre 2013 n° 1603** *“Approvazione delle prime disposizioni attuative di cui all’art. 3 comma 3, della L.R. 31 luglio 2012, n° 23 “Disciplina delle attività di vigilanza su opere e costruzioni in zone sismiche”. Revoca della D.G.R. n° 1271 del 02 agosto 2013”*

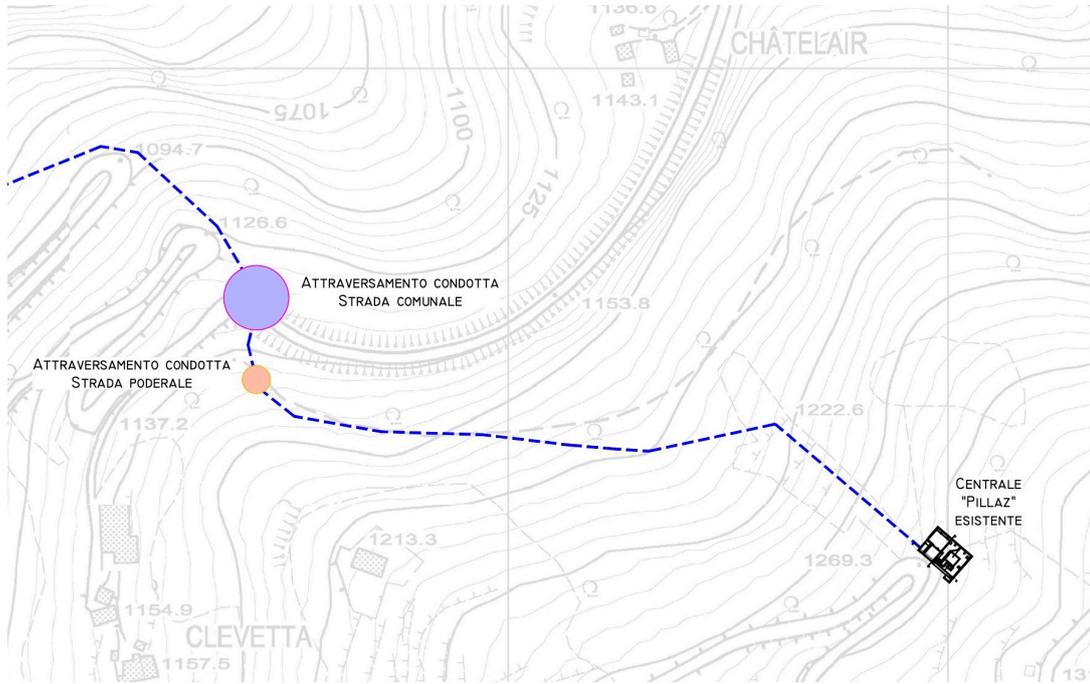
Parte integrante della presente relazione sono gli allegati:

- ❖ Relazione di modellazione geologica (D.M. 17 gennaio 2018)

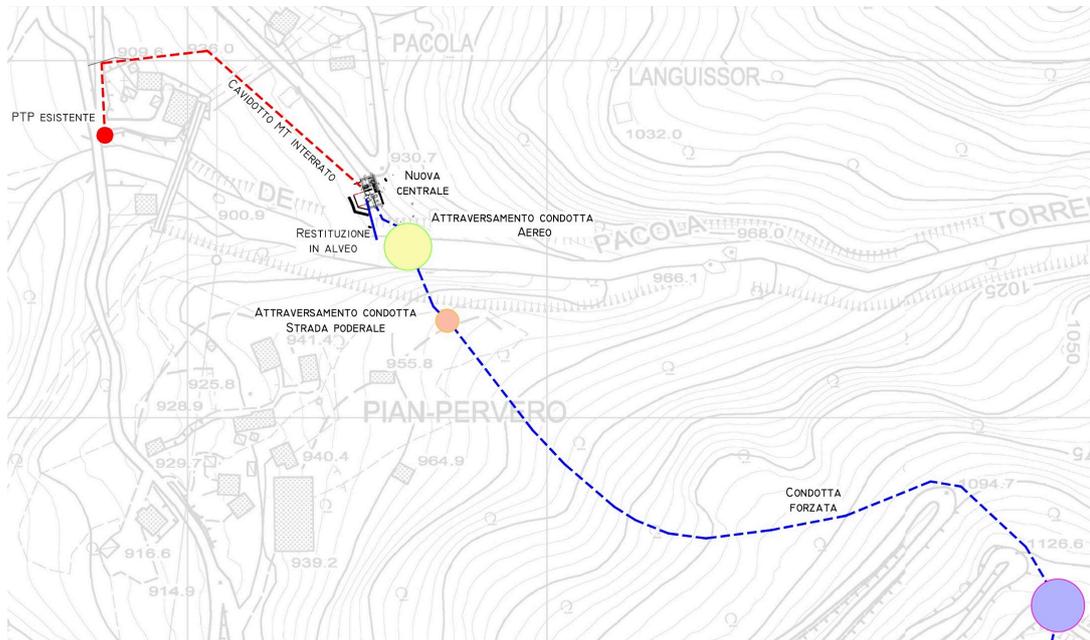
Corografia generale



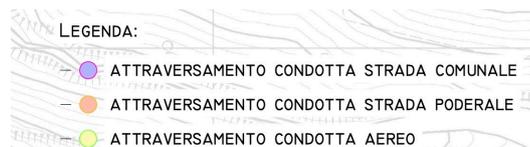
Corografia di dettaglio



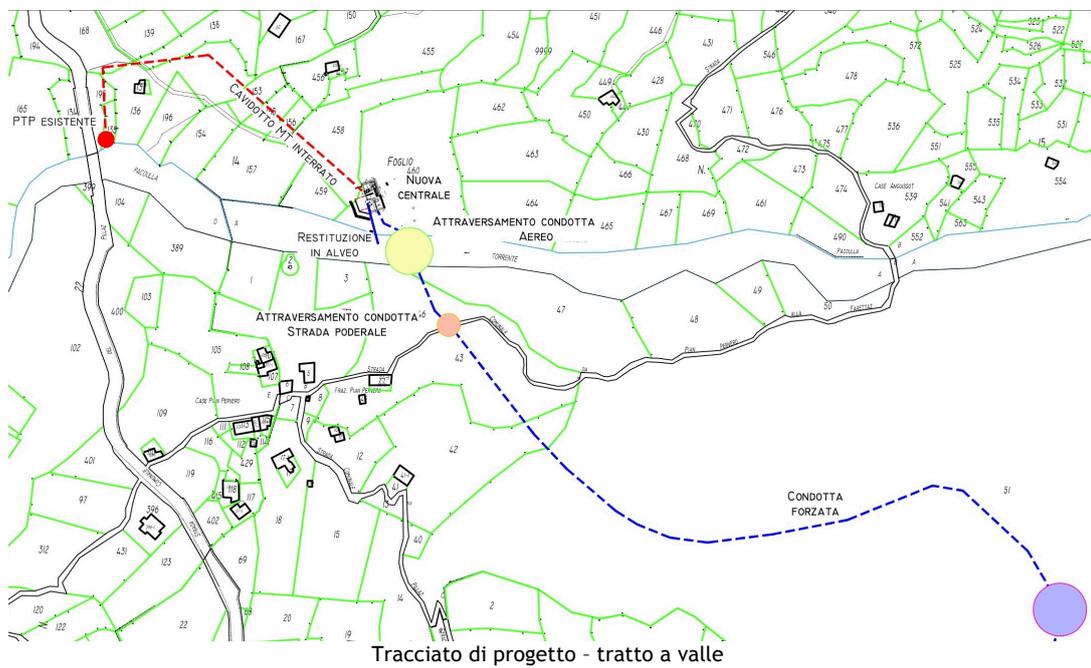
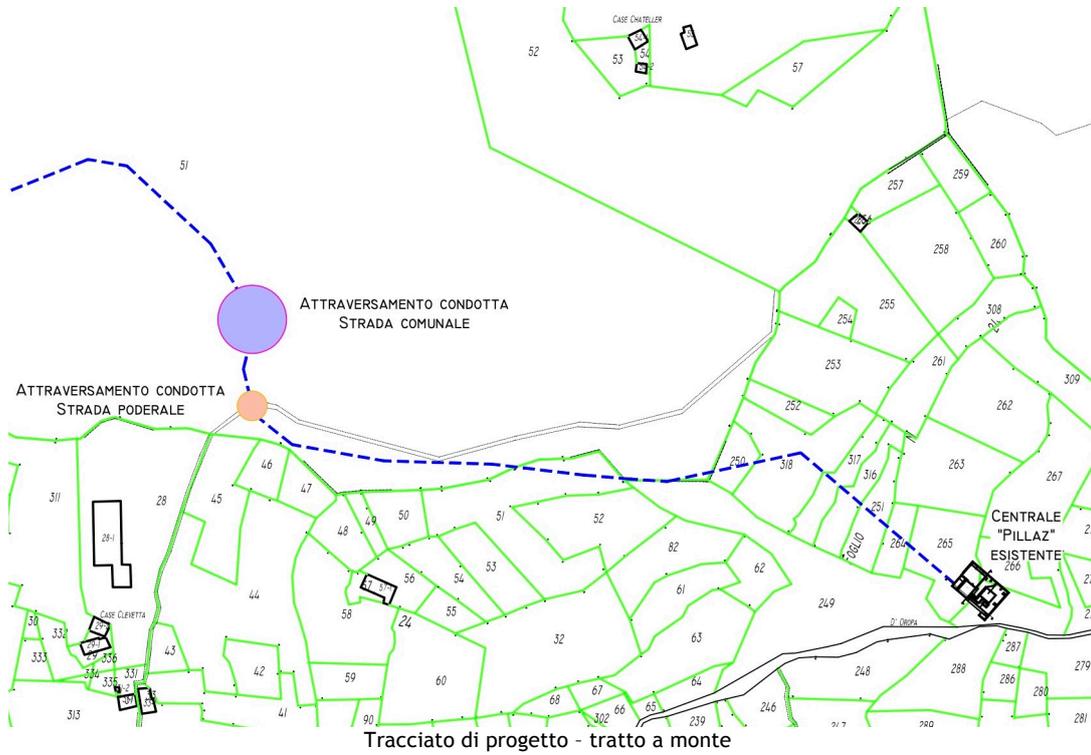
Tracciato di progetto - tratto a monte



Tracciato di progetto - tratto a valle



Estratto catastrale



Azione sismica (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2)

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “*pericolosità sismica di base*” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al cap. 3.2.2 “*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*”), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel cap. 3.2.1 “*Stati limite e relative probabilità di superamento*”, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel cap. 2.4 “*Vita nominale di progetto, classi d’uso e periodo di riferimento*”. In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_o e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

3. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2.2)

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel cap. 7.11.3 "Risposta sismica e stabilità del sito": Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_S \times a_g$ dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (cap. 7.11.3.2).

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. Il riportata di seguito, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al cap. 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica".

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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 [3.2.1]:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositati 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.</i>
D	<i>Depositati 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.</i>
E	<i>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.</i>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al cap. 3.2.3 "Valutazione dell'azione sismica".

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Si rimanda alla relazione di calcolo strutturale del progettista.

4. Valutazione dell'azione sismica (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2.3)

Impiego di storie temporali del moto del terreno (D.M. 17/01/2018, cap. 3.2.3.6)

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di **storie temporali** del moto del terreno artificiali o naturali. Ciascuna storia temporale descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali, ed una verticale) costituisce un gruppo di storie temporali del moto del terreno.

La durata delle storie temporali artificiali del moto del terreno deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di a_g e di S_s . In assenza di studi specifici, la parte pseudo - stazionaria dell'accelerogramma associato alla storia deve avere durata di 10 s e deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, in modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro di risposta elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0,15s \div 2,0s$ e $0,15s \div 2T$, in cui T è il periodo proprio di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0,15s \div 1,5T$, per le verifiche agli stati limite di esercizio. Nel caso di costruzioni con isolamento sismico, il limite superiore dell'intervallo di coerenza è assunto pari a $1,2T_{is}$, essendo T_{is} il periodo equivalente della struttura isolata, valutato per gli spostamenti del sistema d'isolamento prodotti dallo stato limite in esame.

L'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali (generati a partire da uno spettro iniziale mediante algoritmi stocastici) non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di storie temporali del moto del terreno generate mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione e che, negli intervalli di periodo sopraindicati,

l'ordinata spettrale media non presenti uno scarto in difetto superiore al 20% rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico.

L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali (ottenuti da registrazione di eventi sismici passati) o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite.

Approccio semplificato in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s

Considerato che le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (vedi pagine precedenti), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stata ricavata la risposta sismica locale applicando l'approccio semplificato in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s ricavate mediante indagine MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves.

Indagine sismica MASW

Obiettivo dell'indagine MASW è quello di definire il parametro $V_{s,eq}$ per la classificazione sismica del terreno indagato, in accordo con il D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

Cenni teorici

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla

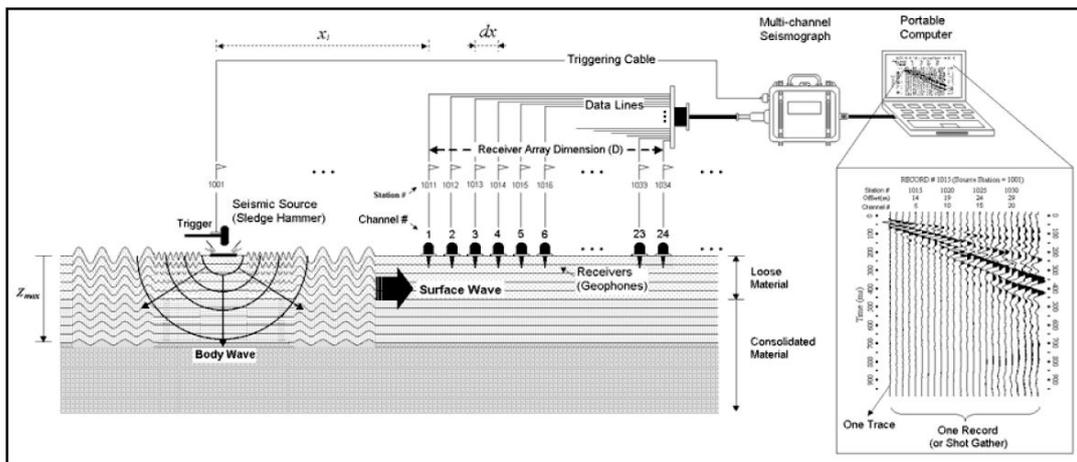
misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. Le onde di Rayleigh, in un mezzo stratificato, sono dispersive, propagandosi con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). Vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni energizzando artificialmente e poi successivamente analizzate attraverso adeguati software di calcolo.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda più corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte superiore del sottosuolo mentre le onde a bassa frequenza si propagano più in profondità, interessando gli strati inferiori del sottosuolo.

L'analisi delle onde superficiali avviene essenzialmente in tre fasi:

1-Acquisizione dati in sito



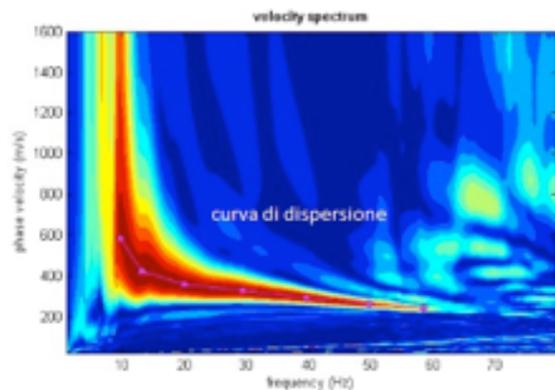
2-Elaborazione e identificazione curva dispersione

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

La metodologia più diffusa per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza - numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio - tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di

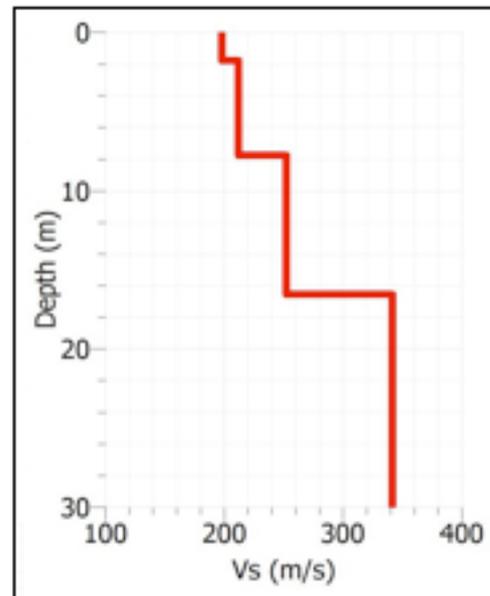
ottenere la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, nell'ipotesi che: nell'intervallo di frequenze analizzato, le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh; le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali, nonché un comportamento dispersivo delle stesse.

Le coppie di valori $V_r - f$, vengono riportati in un grafico denominato spettro di velocità, sul quale è possibile ottenere la "curva di dispersione" individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r , così determinabile: $V_r(f) = 2\pi f/k$



3-Inversione della curva di dispersione

Attraverso un processo di inversione, il programma utilizzato può ricavare l'andamento della velocità delle onde di taglio, secondo la configurazione correlata alla curva di dispersione teorica che meglio approssima la curva di dispersione sperimentale. Si tratta di un processo iterativo, preceduto dalla parametrizzazione del sottosuolo che viene di norma considerato un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei e isotropi, in cui le caratteristiche meccaniche degli strati rappresentano l'eterogeneità: quando la



differenza tra il set di dati sperimentali e quello dei dati calcolati è minimizzata, utilizzando i parametri adeguati per il modello, l'elaborazione viene terminata. Ciò che si ottiene è un grafico in cui si osservano le variazioni di velocità delle onde di taglio con la profondità.

Strumentazione utilizzata

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 12 canali dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (Pasi mod. GEA24). Lo strumento è fornito di una connessione USB per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito software (GEA24® v.2.2.4) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.



I geofoni verticali utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari 4,5 Hz con distorsione inferiore allo 0,2%.

L'energizzazione si è ottenuta con massa battente da 6 Kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Acquisizione ed elaborazione dei dati

In data 13 ottobre 2021 stato realizzato uno stendimento seguendo le "Linee guida di base per acquisizioni dati finalizzati ad analisi MASW/ReMi/ESAC/HSVR" (Dal Moro G., 2017).

La schematizzazione della strumentazione in sito è descritta nella seguente tabella:

N geofoni	12
Distanza intergeofonica ($d_x = 2 \div 8$ m)	2,5
Lunghezza stendimento ($D = d_x \times N - 1$ m)	27,5
Distanza sorgente ($x_1 = 3 \div 20$ m)	S1 = 3 S2 = 6
Tempo di acquisizione (sec)	2
Intervallo di campionamento (ms)	1
Impulsi sismici	4



Come evidenziato nell'estratto alla pagina successiva, derivante dal capitolo 2.2.1 di "*Surface wave analysis for near surface applications*", Dal Moro G., 2014, l'utilizzo di 12 geofoni risulta più che sufficiente per stendimenti con lunghezza pluridecametrica.

2.2.1 Multichannel Acquisition (MASW)

The determination of surface-wave phase velocities requires the acquisition of multichannel datasets and Table 2.2 summarizes the fundamental parameters to consider while dealing with active acquisitions. Figures 2.7 and 2.8 are used to comment about the recording time and the number of channel issues (which are both site-dependant quantities to fix also considering the goals of the survey).

There is in fact a myth to dispel about the (minimum) number of geophones to use while acquiring surface waves for MASW (*lato sensu*) analyses. Very often it is believed that the more the better but while this idea can be somehow relevant for high-resolution reflection/refraction studies, the same does not hold for surface waves.

Figure 2.8 reports the seismic traces and the phase velocity spectra computed according to the phase-shift approach (Park et al., 1998; Dal Moro et al., 2003) while

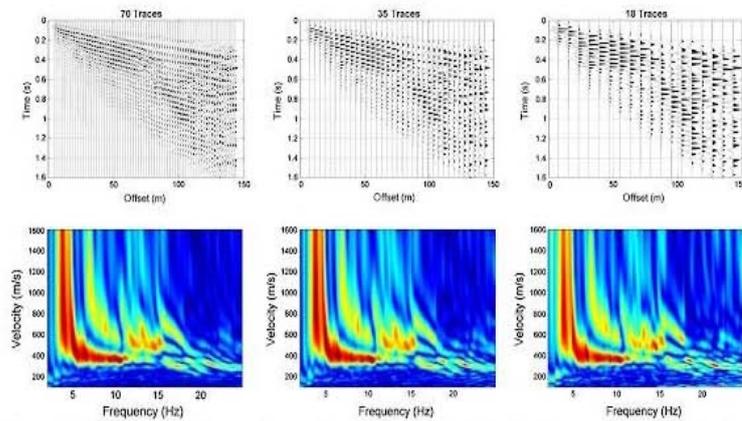


Figure 2.8 The number of channels to use for multichannel analysis of surface waves analyses. On the left column, the original 70-trace dataset and the corresponding phase-velocity spectrum; in the middle, the data after removing half of the original traces; on the right, the data after further removing half of the traces. Is there any significant difference in the velocity spectra?

considering 70, 35, and 18 traces, respectively. It is quite apparent that the velocity spectra are absolutely comparable (if not identical) and the very minor differences are simply related to the fact that, dealing with a smaller number of traces, the summation (i.e., averaging) process intrinsic in the velocity spectra computation via phase shift is slightly more influenced by “noise” related to scattered events and so forth (please note that the array considered in Figure 2.8 is quite long—almost 150 m—and that the very last traces show clear evidences of some local discontinuity).

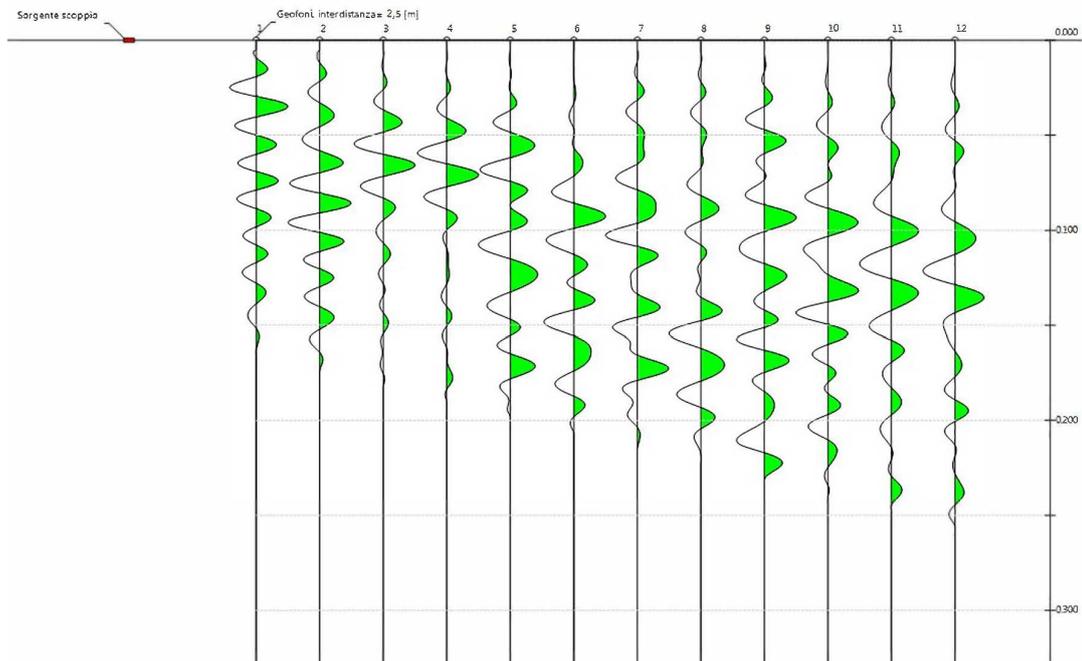
The moral is quite straightforward: very often, if the length of the array is not too large, 12 traces are absolutely sufficient and there is no need for a larger amount of channels that are instead important if the dispersive properties are determined via $f-k$ transform, which is clearly subject to problems related to *spatial aliasing* (see Dal Moro et al., 2003).

Further examples are reported in Chapter 3 (while speaking about the *spatial aliasing*) and in Chapter 6 (while speaking about the *Full Velocity Spectra* inversion).

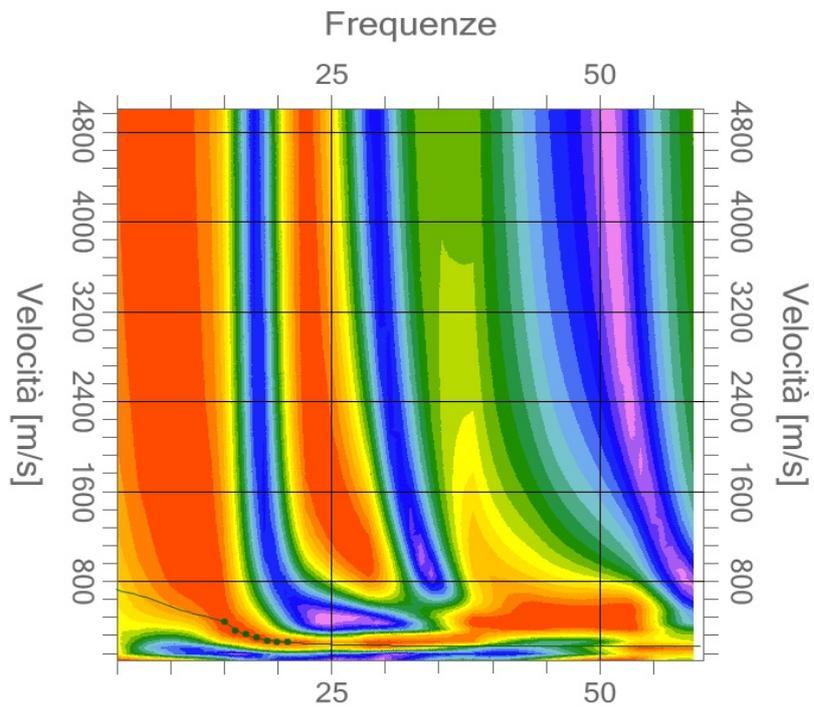
It must be always considered that the total length of the array fixes the maximum penetration depth, which can be roughly estimated in half of the length of the array (which is the distance between the first and the last geophones).

Risultati dell'indagine

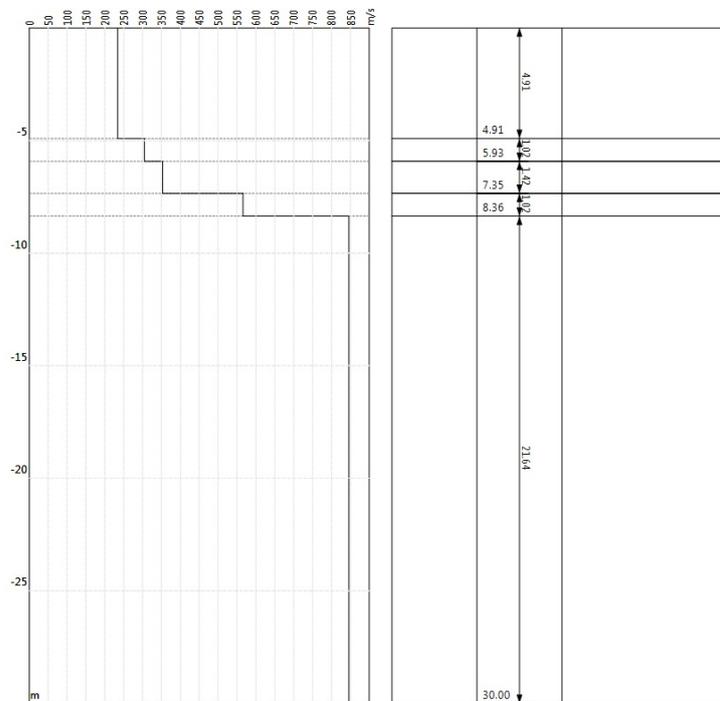
In base ai risultati della prova MASW appositamente effettuata il valore di $V_{s,eq}$ risulta 396,84 m/s (piano di posa fondazioni 5,50 m da p.c.) mentre la velocità di 800 m/s è stata raggiunta a profondità di circa 8 m pertanto il sottosuolo dell'area di intervento rientra all'interno della categoria 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" di cui al D.M. 17/01/18.



sismogramma



Spettro di velocità e curva di dispersione

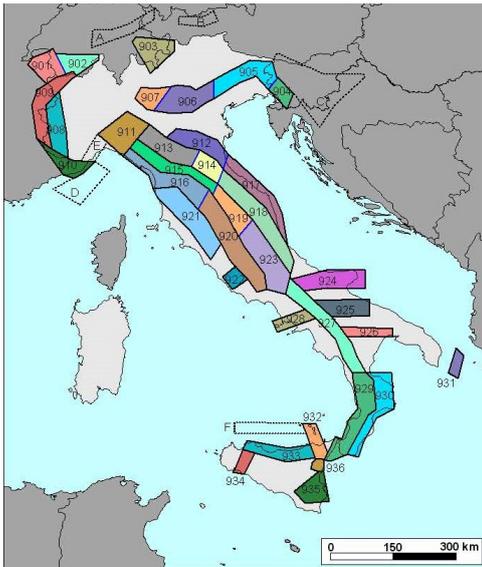


sismostratigrafia

5. Modellazione sismica del sito

Stima della magnitudo attesa

Come riportato negli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica- Gruppo di lavoro MS 2008”, un metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare per il sito è il seguente:



Siti ricadenti in una zona sismogenetica.

Si considera la zonazione sismogenetica (ZS 9), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{wmax} . Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come M il valore di M_{wmax} .

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tabella - Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

6. Determinazione delle azioni sismiche di progetto

In seguito alla definizione dei caratteri di sito specifici è stato possibile definire le azioni sismiche di progetto; di seguito si riportano gli spettri di risposta, la variabilità dei parametri ed i valori di a_g , F_0 e T_c riferiti al sito in oggetto calcolati con il programma SPETTRI-NTC ver. 1.0.3.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

7,86583

LATITUDINE

45,65305

Ricerca per comune

REGIONE

Valle d'Aosta

PROVINCIA

Aosta

COMUNE

Fontainemore

Elaborazioni grafiche

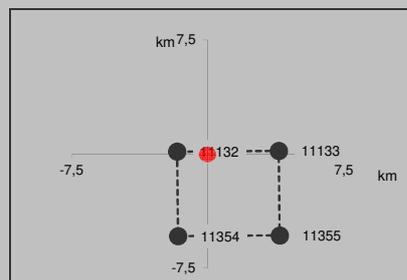
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

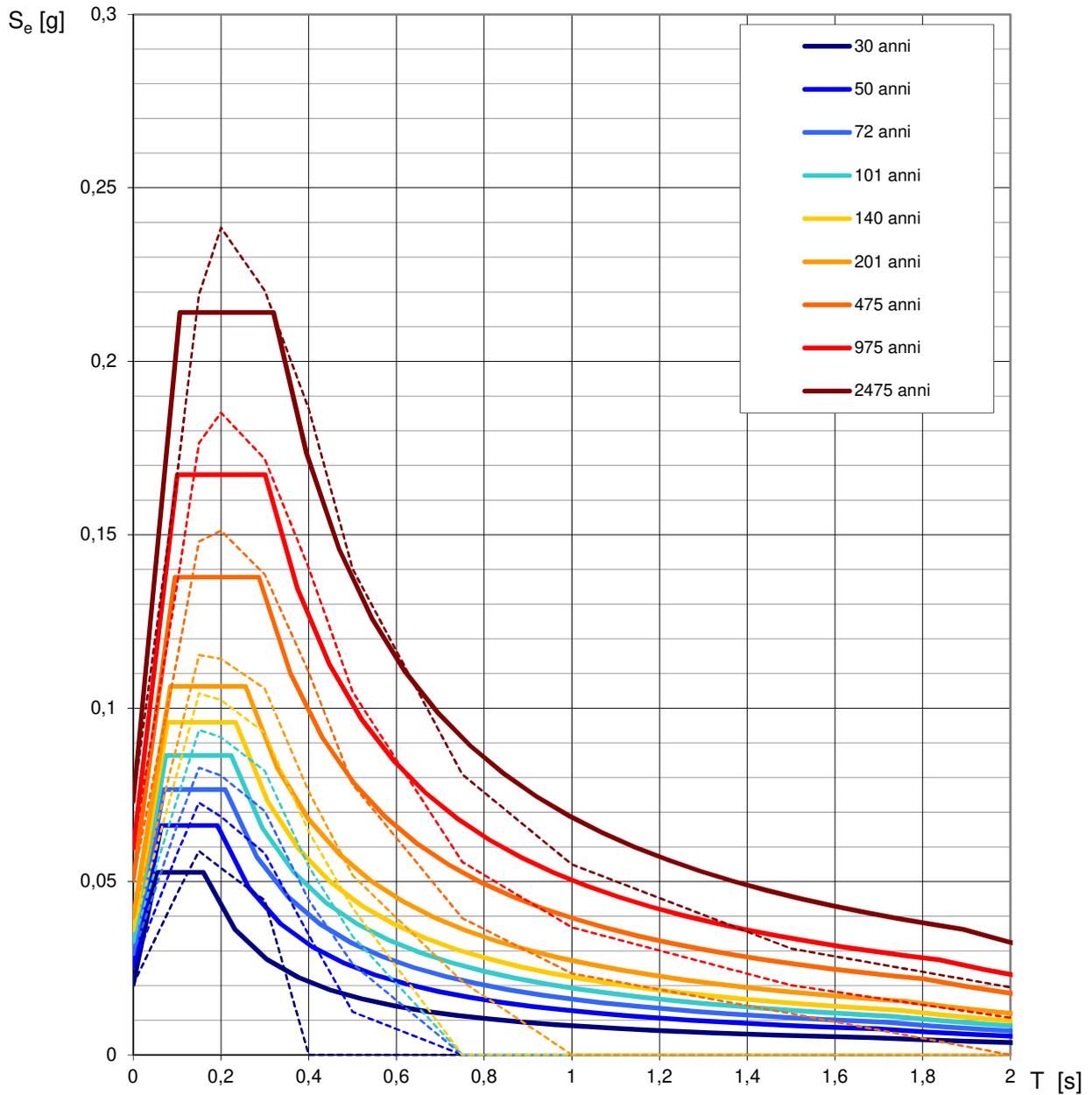
INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

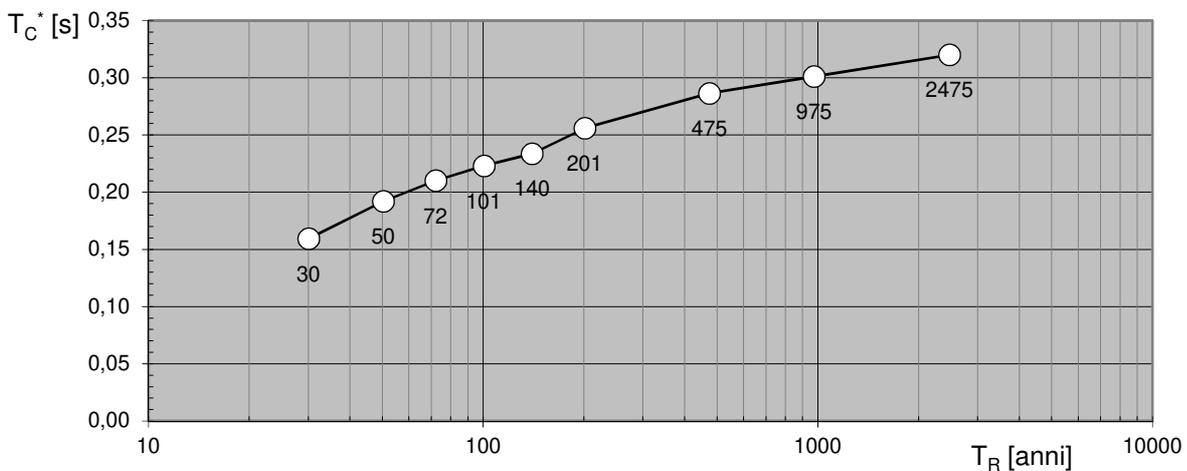
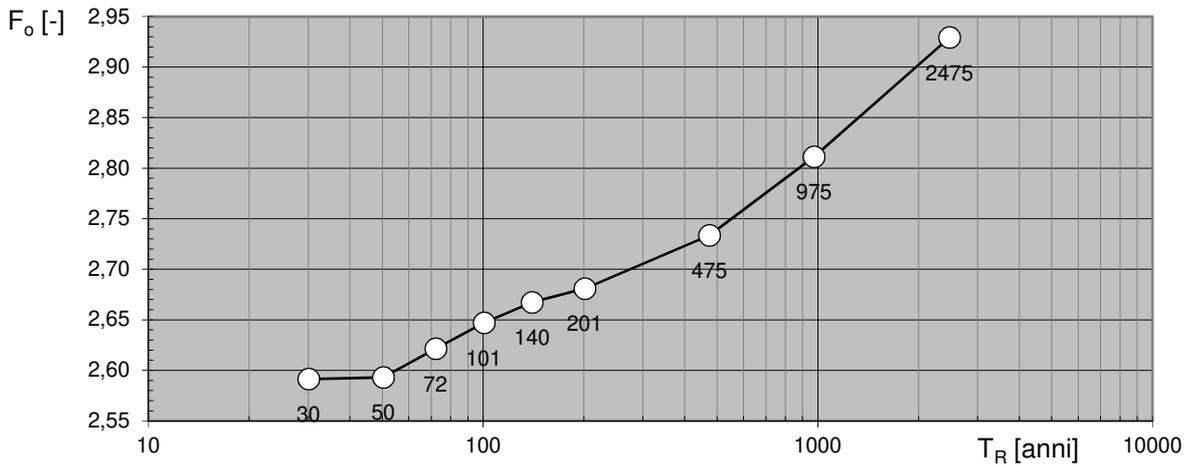
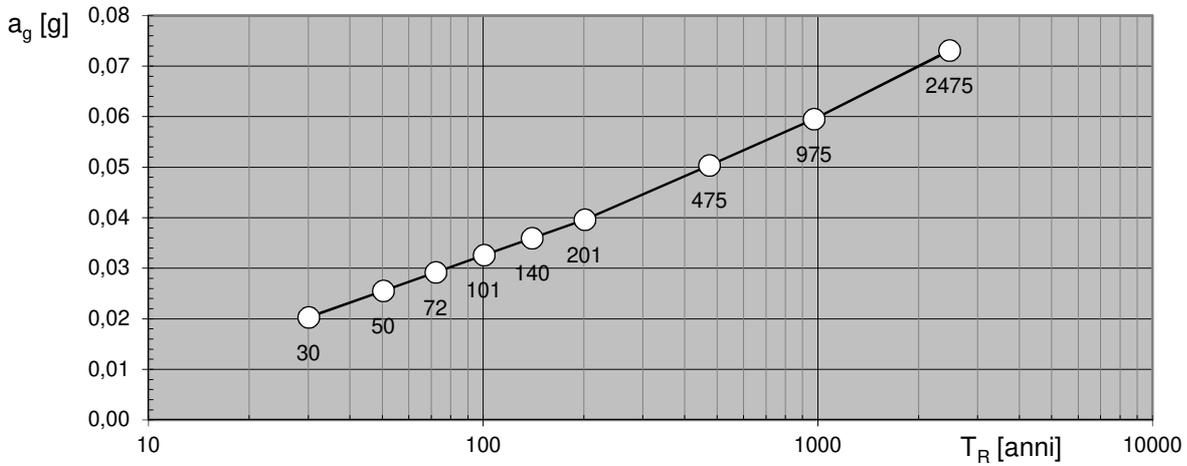


NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,020	2,591	0,159
50	0,026	2,593	0,192
72	0,029	2,621	0,210
101	0,033	2,647	0,223
140	0,036	2,667	0,234
201	0,040	2,681	0,256
475	0,050	2,734	0,286
975	0,060	2,811	0,301
2475	0,073	2,929	0,320

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$
SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$
SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

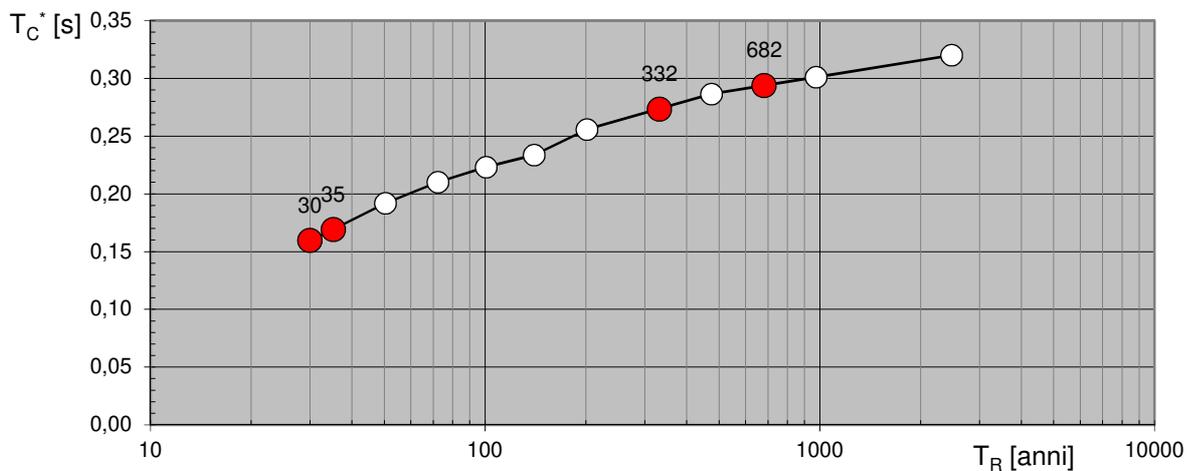
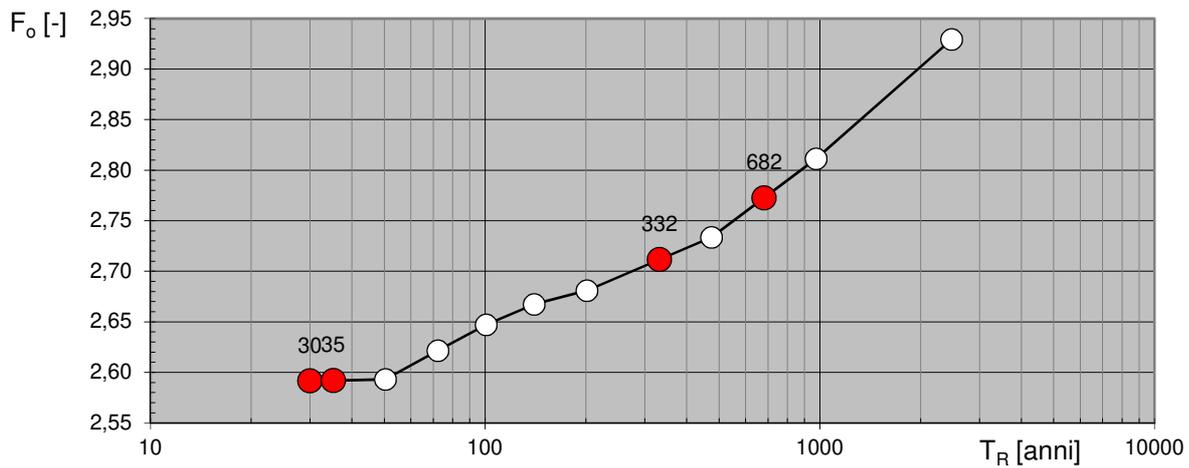
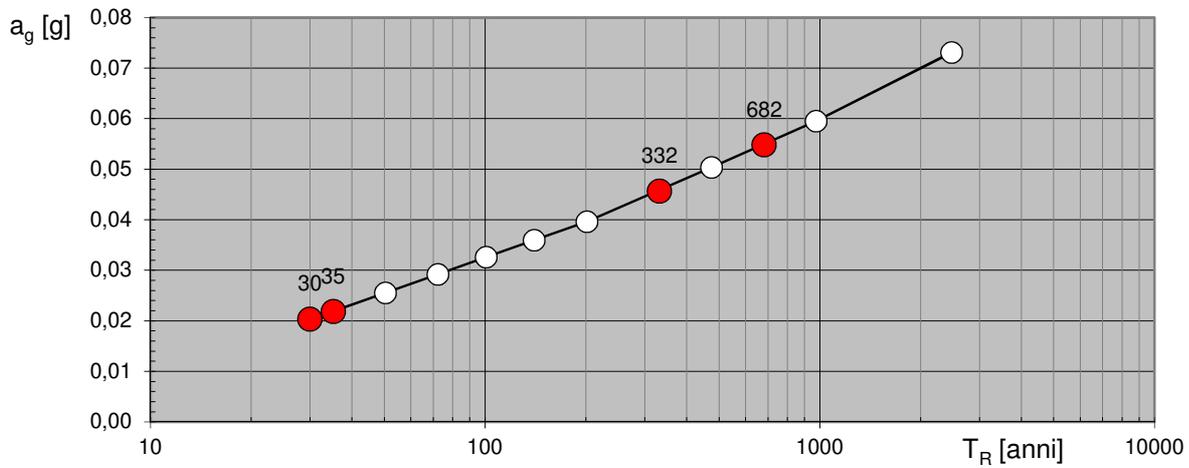
INTRO

FASE 1

FASE 2

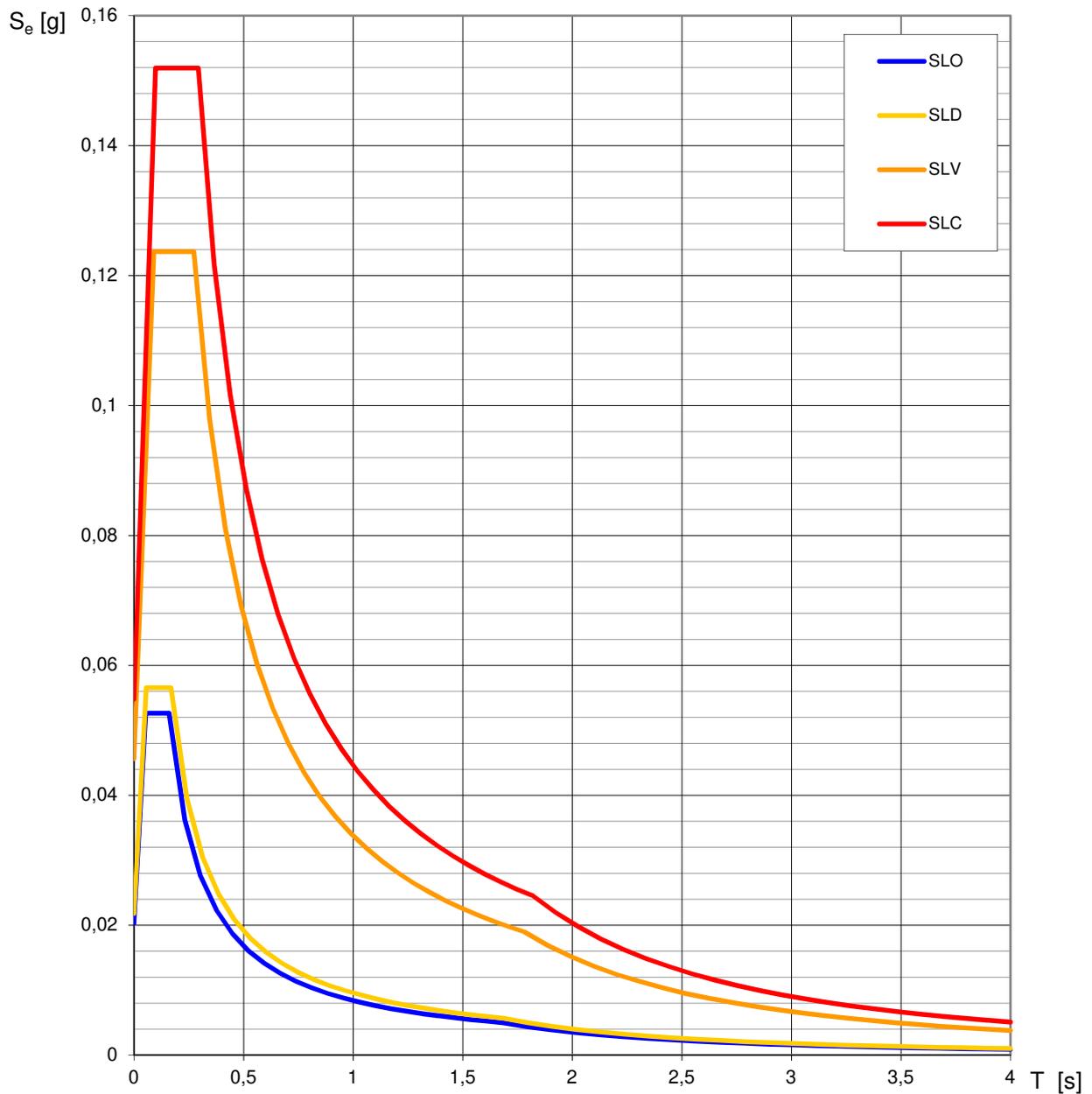
FASE 3

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,020	2,591	0,159
SLD	35	0,022	2,592	0,169
SLV	332	0,046	2,712	0,273
SLC	682	0,055	2,772	0,294

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

7. Stabilità nei confronti della liquefazione (D.M. 17/01/2018, cap. 7.11.3.4)

Esclusione della verifica a liquefazione (D.M. 17/01/2018, cap. 7.11.3.4.1)

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g, accelerazione massima desunta dalla tabella valori accelerazione pagine precedenti);
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 $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ 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 efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

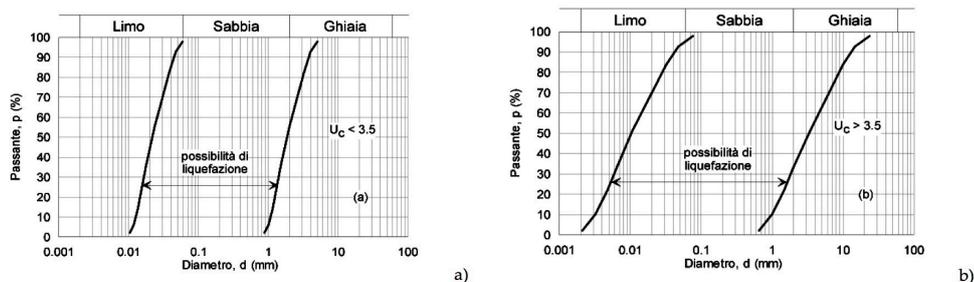


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Essendo verificata la condizione 1 sono state omesse le verifiche di stabilità nei confronti della liquefazione.

ottobre 2021