

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO  
CUP C11J05000030001

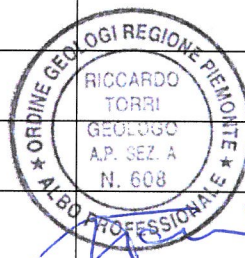
GEOLOGIE – GEOLOGIA

GENERAL – GENERALE  
COMPLEMENTS DE GEOLOGIE – COMPLEMENTI DI GEOLOGIA  
NEOTECTONIQUE ET SISMICITE – NEOTETTONICA E SISMICITA'

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	10/09/2012	Première diffusion / Prima emissione	I. STRINGA D. FONTAN M. STRA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON
A	25/01/2013	Prise en compte commentaires LTF / Recepimento commenti LTF	I. STRINGA D. FONTAN M. STRA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	31/01/2013	Passage au status AP / Passaggio allo stato AP	I. STRINGA D. FONTAN M. STRA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO

Tecnimont  
Civil Construction  
Dott. Ing. Aldo Mancarella  
Ordine ingegneri Piemonte n. 6215



CODE	P	D	2	C	3	B	T	S	3	0	0	5	1	B
DOC	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED			//	//	00	05	02	10	02
INDIRIZZO GED									

ECHELLE / SCALA
//

## SOMMAIRE / INDICE

1. RESUME/RIASSUNTO .....	3
2. PREMESSA .....	6
3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI RIFERIMENTO PER IL TERRITORIO NAZIONALE E REGIONALE .....	8
4. LA MICROZONAZIONE SISMICA - CONSIDERAZIONI GENERALI .....	9
5. LA MICROZONAZIONE SISMICA IN BIBLIOGRAFIA: L'ESEMPIO DEL PRGC DI SUSA .....	10
5.1    Franosità .....	10
5.2    Fattori Geolitologici (Categorie Suoli NTC 2008).....	10
5.3    Effetti della topografia .....	11
5.4    Effetti di bordo in valli alluvionali .....	12
5.5    Liquefazione .....	13
5.6    Stralcio della carta del PRGC di Susa .....	14
6. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA NELLE AREE DI PROGETTO	16
6.1    Dati ottenuti dalle indagini in situ .....	16
6.2    Parametri per la determinazione dell'azione sismica .....	18
6.3    Elaborazione di nuova carta della pericolosità sismica .....	19
6.3.1 Zone Stabili .....	20
6.3.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali .....	20
6.3.3 Zone suscettibili di instabilità – aree in frana .....	21
6.3.4 Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione .....	21
6.3.5 Zone suscettibili di instabilità – faglie attive e capaci .....	30
6.3.6 Zone suscettibili di instabilità – cedimenti differenziali.....	31
7. BIBLIOGRAFIA .....	32



## 1. RESUME/RIASSUNTO

En ce qui concerne la classification du risque sismique, la législation en vigueur en Italie se réfère au décret du Ministère de l'Infrastructure du 14/01/2008 (normes techniques pour les constructions), qui calcule l'action sismique. Sur la base des données sismiques et géotechniques disponibles, il a été procédé à un zonage sismique de premier niveau, sur une échelle de 1:25,000, comme l'indiquent les Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica, du Département de la protection civile.

Pour les zones de la plaine de Suse, de Bussoleno, les zones de dépôts de Caprie et Torrazza, a été produite une carte de susceptibilité d'amplification sismique simplifiée, à l'échelle 1:25.000, sur la base des données disponibles.

On précise que, dans la zone du projet en fonction du INGV il n'y-a pas de failles actives.

### Piana di Susa

D'après les données obtenues par les essais SPT réalisés dans les sondages S65, S66, S67 et S72, la plaine de Suse se compose de catégorie de sous-sol B ou C. Les phénomènes de liquéfaction sont exclus, du fait des conditions géologiques et hydrogéologiques (niveaux significatifs au dessous de la nappe phréatique et à moins de 15 m du niveau du sol). En outre, la magnitude attendue est inférieure à 5, et donc conformément à la législation, la vérification de la sensibilité à la liquéfaction peut être omise.

Les résultats préliminaires des investigations réalisées par LTF dans la période novembre-décembre 2012 (forages géotechniques et investigations sismiques type MASW) confirment en première analyse les conclusions précédentes: les résultats définitifs seront intégrés dans les prochaines phases du projet.

### Bussoleno – area imbocco est tunnel interconnessione

D'après les données obtenues à partir de la base de données de l'ARPA Piémont le

In materia di classificazione del rischio sismico, la normativa in vigore in Italia fa riferimento al Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (Norme Tecniche per le Costruzioni, GU n.29 del 04/02/2008), che consente di calcolare l'azione sismica per ogni singola opera in progetto. Sulla base dei dati geotecnici e sismici a disposizione è stata effettuata una zonazione sismica di primo livello in scala 1:25.000, secondo quanto indicato dagli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della protezione Civile.

Per le aree della Piana di Susa, della zona di Bussoleno interessata dal progetto, delle aree di depositi di Caprie e di Torrazza è stata redatta una carta di suscettibilità all'amplificazione sismica speditiva, in scala 1:25.000, sulla base dei dati a disposizione.

Si specifica che nell'area del progetto secondo l-INGV non sono presenti faglie capaci.

### Piana di Susa

Dai dati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi S65, S66, S67 e S72 la piana di Susa è costituita da “depositi di terreni a grana grossa da molto a mediamente addensati o terreni a grana fine da molto a mediamente consistenti” (categoria di sottosuolo B o C). Sono esclusi fenomeni di liquefazione, poiché risultano assenti le condizioni geologiche e idrogeologiche (significativi livelli fini sotto falda a meno di 15 m dal piano campagna). Inoltre la magnitudo attesa risulta inferiore a 5, e pertanto secondo la norma la verifica di suscettibilità a liquefazione può essere omessa. I risultati preliminari delle indagini eseguite da LTF nel periodo novembre-dicembre 2012 (sondaggi geotecnici e geofisica tipo MASW) sembrano confermare le conclusioni precedenti: i risultati definitivi di questi indagini saranno integrati nelle fasi progettuali successive.

### Bussoleno – area imbocco est tunnel interconnessione

Dai dati ottenuti dalle banca dati dell'ARPA Piemonte la zona di Bussoleno è costituita da “depositi di terreni a grana grossa mediamente

domaine de Bussoleno se compose de catégorie de sous-sol C. Avec les données disponibles, il n'est pas possible d'exclure la présence de niveaux de dépôts sableux - limoneux continus, potentiellement susceptibles à la liquéfaction. Les données concernant la profondeur des eaux souterraines sont insuffisantes. La magnitude attendue est inférieure à 5, et donc conformément à la législation, la vérification de la sensibilité à la liquéfaction peut être omise.

Les résultats préliminaires des investigations réalisées par LTF dans la période novembre-décembre 2012 (forages géotechniques et investigations sismiques type MASW) confirment en première analyse les conclusions précédentes: les résultats définitifs seront intégrés dans les prochaines phases du projet.

#### Caprie et Torrazza - sites de stockage

D'après les données obtenues à partir de la base de données de l'ARPA Piémont le site de Caprie est constitué en partie par des terrains de catégorie de sous-sol A et en partie par des terrains de la catégorie B ou C.

La stratigraphie du site sera vérifiée par les investigations prévues dans les prochaines phases de l'étude.

Le site de Torrazza est caractérisé par des terrains appartenant à la catégorie de sous-sol B.

Les résultats préliminaires des investigations réalisées par LTF dans la période novembre-décembre 2012 (forages géotechniques et investigations sismiques type MASW) confirment en première analyse les conclusions précédentes: les résultats définitifs seront intégrés dans les prochaines phases du projet.

En ce qui concerne le site de Caprie, la magnitude attendue est inférieure à 5, et donc conformément à la législation, la vérification de la sensibilité à la liquéfaction peut être omise.

En ce qui concerne le site de Torrazza, les accélérations maximales atteintes au sol en absence de bâtiments (en conditions de champ

addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti” (categoria di sottosuolo C). Con i dati a disposizione non è possibile escludere la presenza di lenti di depositi sabbioso/limosi continue, potenzialmente suscettibili di liquefazione. Non si hanno sufficienti dati relativamente alla soggiacenza della falda. La magnitudo attesa risulta inferiore a 5, e pertanto secondo la norma la verifica di suscettibilità a liquefazione può essere omessa. I risultati preliminari delle indagini eseguite da LTF nel periodo novembre-dicembre 2012 (sondaggi geotecnici e geofisica tipo MASW) sembrano confermare le conclusioni precedenti: i risultati definitivi di questi indagini saranno integrati nelle fasi progettuali successive.

#### Caprie e Torrazza – siti di deposito

Dai dati ottenuti dalle banca dati dell'ARPA Piemonte l'area del sito di deposito di Caprie è costituita in parte da “*ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.*” (categoria di sottosuolo A) e in parte da depositi alluvionali, presumibilmente riconducibili alle categorie di sottosuolo B o C. La stratigrafia dell'area potrà essere determinata a seguito delle indagini che saranno realizzate nella fase progettuale successiva.

Sulla base delle stratigrafie presenti nell'area del sito di deposito di Torrazza, desunte da ricerca bibliografica, si ritiene che il suolo di fondazione sia costituito da “*depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m* (categoria di sottosuolo B).

I risultati preliminari delle indagini eseguite da LTF in dicembre 2012 (indagini geofisiche tipo MASW) sembrano confermare queste considerazioni: i risultati definitivi di questi indagini saranno integrati nelle fasi progettuali successive.

Per quanto riguarda il sito di Caprie, la magnitudo attesa risulta inferiore a 5, e pertanto secondo la norma la verifica di suscettibilità a liquefazione può essere omessa.



Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

libre) sont inférieures a 0,1g et donc en cohérence avec la loi en vigueur, la vérification de la sensibilité à la liquéfaction peut être omise.

Per quanto riguarda il sito di Torrazza, le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1g, e pertanto secondo la norma la verifica di suscettibilità a liquefazione può essere omessa.

## 2. Premessa

La presente relazione è redatta allo scopo di fornire gli elementi necessari per la progettazione delle opere previste per il nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione, secondo quanto richiesto dalla normativa vigente in tema di suscettibilità all'amplificazione sismica.

Lo studio riguarda le aree a cielo aperto nella tratta tra il confine di stato Italia-Francia e l'innesto con la ferrovia storica a Bussoleno (Italia), e più precisamente:

- l'area dell'imbocco della galleria di ventilazione Clarea;
- l'area dell'imbocco cunicolo esplorativo della Maddalena;
- l'area dell'imbocco est del Tunnel di Base, della Piana di Susa e dell'imbocco ovest del Tunnel di Interconnessione;
- l'area dell'imbocco imbocco est del tunnel di Interconnessione e dell'innesto sulla ferrovia esistente a Bussoleno;
- le aree in cui sono previsti i siti di deposito di Caprie e Torrazza.

L'ubicazione dei siti è riportata nella carta della suscettibilità all'amplificazione sismica (elaborato PD2-C3B-TS3-0052).

Nella parte italiana dell'opera in progetto, la normativa in vigore fa riferimento al Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (Norme Tecniche per le Costruzioni, GU n.29 del 04/02/2008), che riprende sostanzialmente quanto indicato dall'EuroCodice8, che rappresenta invece la normativa in vigore nel lato francese.

Nel testo viene quindi fatto riferimento alla normativa vigente, partendo dai dati bibliografici disponibili ed integrandoli con i risultati delle indagini dirette realizzate nell'area su cui insiste l'opera in progetto, dove disponibili.

In particolare, sono state consultate le seguenti banche dati disponibili:

- webgis dell'INGV – **Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**  
<http://esse1-gis.mi.ingv.it>
- sito web del **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**  
[http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=3280&&Itemid=165](http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=3280&&Itemid=165)
- Banca dati geotecnica di **ARPA Piemonte**  
[http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo\\_dissesto/w\\_arpa\\_ib\\_geotecnica/viewer.htm](http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo_dissesto/w_arpa_ib_geotecnica/viewer.htm)

Sono inoltre stati utilizzati di dati riportati negli elaborati del **PRGC di Susa**, i cui risultati sono stati aggiornati con i risultati delle **indagini dirette** eseguite nell'ambito del presente progetto. In particolare le analisi sono state eseguite recependo i dati disponibili fino al mese di ottobre 2012. Le indagini eseguite da LTF nel periodo novembre-dicembre 2012 (sondaggi geotecnici e geofisica tipo MASW) non sono state considerate, anche se i risultati preliminari di cui si dispone sembrano avvalorare i risultati delle indagini precedenti.

Nella relazione viene descritta la suscettibilità all'amplificazione sismica nelle aree italiane coinvolte da tratte a cielo aperto delle opere previste in funzione del DM14-1-2008 e delle Linee guida "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (APAT 2008). Infine è stata redatta una carta della pericolosità sismica in scala 1 :25.000 per le aree in cui si prevedono opere all'aperto (elaborato PD2-C3B-TS3-0052).

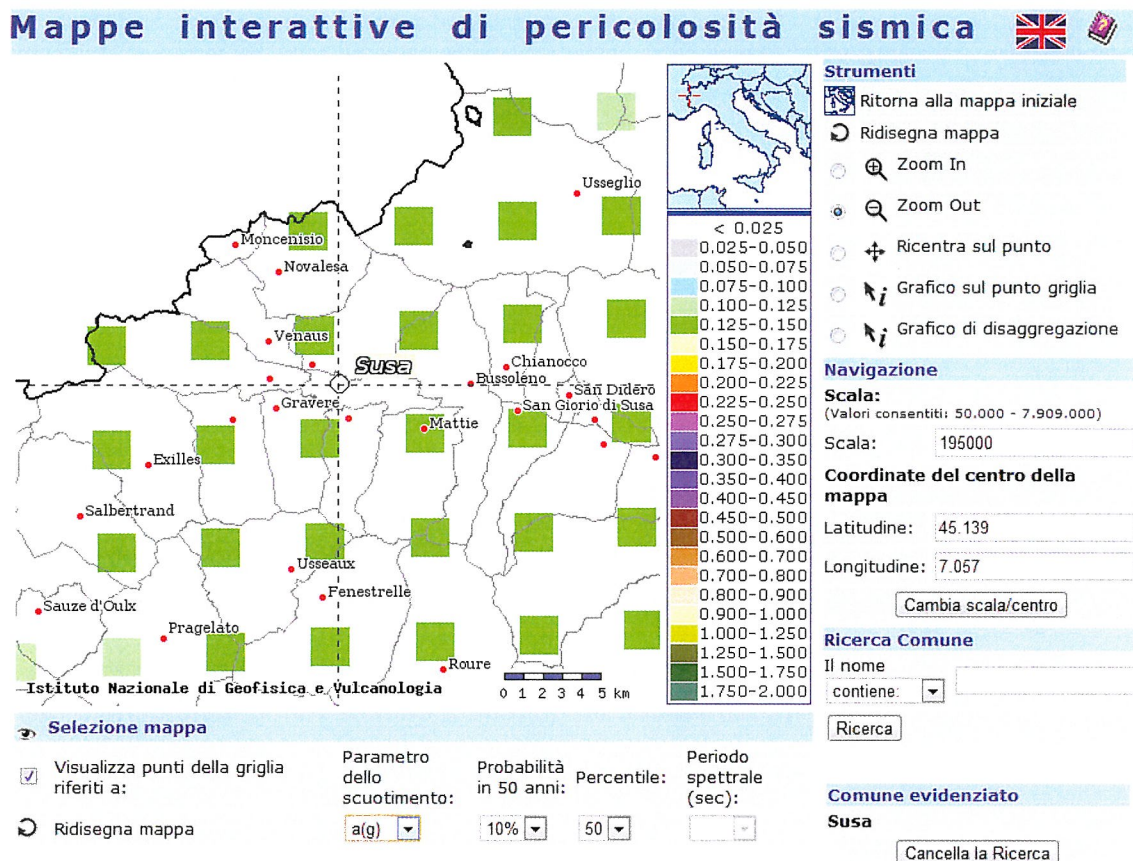


Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

### 3. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale e regionale

In materia di classificazione del rischio sismico, la normativa in vigore fa riferimento al Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (Norme Tecniche per le Costruzioni, GU n.29 del 04/02/2008). Le Norme Tecniche per le Costruzioni (in seguito NTC) superano il concetto della classificazione del territorio in zone come previsto dall'OPCM 3274 del 2003 e dall'OPCM 3519 del 2006. Quest'ultimo infatti raccomandava di classificare uno specifico sito in Zona I, II, III o IV a seconda che l'accelerazione massima al suolo ( $a(g)$  di picco, definita come PGA – peak ground acceleration), ricadesse all'interno di intervalli determinati in cui limiti definivano le soglie tra una classe e l'altra. La pericolosità sismica era quindi associata a una classe generica non forzatamente rappresentativa del sito d'indagine.

Le NTC, invece, definiscono la pericolosità sismica di un sito in termini della specifica accelerazione orizzontale massima su roccia (condizione per la quale  $a(g)$  coincide con PGA) e del corrispondente spettro elastico di risposta al sisma. Il metodo deriva direttamente dagli studi realizzati dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) commissionati dalla Protezione Civile che hanno discretizzato il territorio nazionale creando una reticolo con passo pari a 5 km. In corrispondenza dei nodi di questo reticolo si è attribuito, tramite analisi probabilistica, i valori utili di  $a(g)$  e dello spettro elastico. Tali valori sono direttamente forniti dalle NTC (nel suo Allegato B). Posizionando il sito di indagine sul reticolo è quindi possibile attribuire mediante interpolazione specifici valori di  $a(g)$  che sono amplificati considerando gli fattori litologici (categoria di suolo) e fattori topografici. Nella figura che segue, è mostrata la griglia con la visualizzazione dei valori di  $a(g)$  nel territorio di studio così come riportato nel webgis dell'INGV (<http://essel-gis.mi.ingv.it>).



**Figura 1** - Griglia con la visualizzazione dei valori di  $a(g)$  nel territorio di studio così come riportato nel webgis dell'INGV (luglio 2012).



I valori si riferiscono all'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s,30} > 800$  m/s), e per l'area di studio assumono valori compresi tra 0,125 e 0,150.

Inoltre, per semplificare la determinazione del valore di  $a(g)$  nelle singole aree, il Consiglio Superiore dei lavori pubblici mette a disposizione un file excel, scaricabile dal sito dell'ente [http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=3280&&Itemid=165](http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=3280&&Itemid=165), dal quale si possono ricavare i valori cercati inserendo le coordinate (latitudine e longitudine) del punto in esame.

Il dato sismico deve essere inoltre correlato al tipo di manufatto da realizzare che condiziona la definizione del periodo di ritorno del sisma (in funzione della vita nominale del manufatto e della sua destinazione d'uso).

Per questo motivo, secondo le norme vigenti, non è più possibile sintetizzare la zonazione sismica su carte generiche di pericolosità sismica; essa, infatti, è da intendersi piuttosto come caratteristica specifica del sito d'indagine e in funzione del manufatto da realizzarsi.

A titolo informativo, la vecchia normativa (OPCM n°3274/03 – OPCM n°3519/06) indicava, nell'area di studio, una pericolosità sismica bassa, definendo in Zona 3 (possibilità di lievi scuotimenti) tutti i comuni interessati (Giaglione, Venaus, Mompantero, Susa, Bussoleno, Mattie, Caprie), ad eccezione del comune di Torrazza Piemonte (Zona 4) in cui è previsto un sito di deposito. Questa classificazione è stata ripresa e localmente modificata dalla nuova classificazione riportata dalla D.G.R. 11-13058 del 2010 del Piemonte, che definisce gli obblighi amministrativi per le diverse zone: questa normativa individua tutti i comuni dell'area interessata dal progetto in Zona Sismica 3, confermando per essa gli obblighi amministrativi già previsti per la precedente zona 3.

#### 4. La microzonazione sismica - considerazioni generali

La risposta sismica locale (microzonazione) descrive le condizioni peculiari del territorio che possono ampliare le vibrazioni sismiche, in funzione di caratteri geologici, morfologici e idrologici. Sulla base dell'osservazione e misurazione diretta degli elementi e parametri geologici, morfologici e idrologici che caratterizzano l'area di studio è possibile redigere una mappatura dei siti caratterizzati da diversa suscettibilità all'amplificazione sismica.

In materia di classificazione del rischio sismico, la normativa in vigore in Italia fa riferimento al Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (Norme Tecniche per le Costruzioni, GU n.29 del 04/02/2008), che consente di calcolare l'azione sismica per ogni singola opera in progetto.

Tuttavia, sulla base dei pochi dati geotecnici a disposizione è stato solamente possibile effettuare una zonazione sismica di primo livello in scala 1:25.000, secondo quanto indicato dagli Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della protezione Civile.

I dati utilizzati provengono dalle seguenti fonti:

- Banca dati geotecnica di ARPA Piemonte ([http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo\\_dissesto/w\\_arpa\\_ib\\_geotecnica/viewer.htm](http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo_dissesto/w_arpa_ib_geotecnica/viewer.htm)) per quanto riguarda le indagini dirette (sondaggi e prove penetrometriche) presenti nell'area di studio, elencate in Tabella 2
- Elaborati del PRGC di Susa, ed in particolare la carta della suscettibilità all'amplificazione sismica allegata al Piano Regolatore e le indagini dirette (sondaggi e prove penetrometriche) allegata alla relazione geologica dello stesso.
- Campagna di indagini realizzata da LTF nell'ambito del presente progetto, nel 2010.

Il risultato dello studio è sintetizzato in carte di dettaglio, da cui si possono ad esempio ricavare informazioni su eventuali limitazioni di natura urbanistica, o suggerimenti per la progettazione degli edifici.

## 5. La microzonazione sismica in bibliografia: l'esempio del PRGC di Susa

Negli elaborati del PRGC di Susa la microzonazione ha come obiettivo la limitazione d'uso dei suoli (misura non strutturale) ed è stata realizzata utilizzando i risultati degli studi geologici, geomorfologici e geotecnici come indicato dalla CPGR 7/LAP e s.m.i., e ai sensi della LR 19/85 e s.m.i. e delle NTC (GU n.29 del 04/02/2008).

I fattori che potrebbero innescare fenomeni di amplificazione sismica sono i seguenti:

- Frane
- Effetti di bordo in valli alluvionali
- Effetti della topografia
- Fattori geolitologici stratigrafici (categorie suoli NTC 2008)
- Fattori idrogeologici (fenomeni di liquefazione)

### 5.1 Franosità

Le aree in frana sono generalmente più suscettibili al dissesto in quanto sono caratterizzate da parametri litotecnici più scadenti rispetto ai pendii non in frana, a causa di discontinuità strutturali (trench, fratture, superfici di rottura ecc.). Nel territorio del Comune di Susa si tratta sostanzialmente delle pareti rocciose disarticolate oggetto di crolli di singoli massi (ad es. località Tre Piloni, a sud-est del concentrico). Nell'area di progetto si indica a titolo di esempio la dgpv ubicata a monte del cantiere dell'imbocco del Tunnel della Maddalena.

### 5.2 Fattori Geolitologici (Categorie Suoli NTC 2008)

I fattori geolitologici si riferiscono alle situazioni in cui materiali di scarsa rigidità meccanica si trovano sovrapposti ad un substrato con elevata rigidità. La conformazione del substrato determina fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche, mentre lo spessore della copertura opera un "filtraggio" delle onde, con attenuazione di determinate frequenze ed amplificazione di altre; i "danni attesi" in superficie dipenderanno dalla risposta degli edifici al passaggio di determinate frequenze alle quali risultano sensibili.

Le situazioni connesse ad un'elevata pericolosità per amplificazione dovuta a caratteri litologici si riferiscono alle tipologie di terreno riportate nelle NTC 2008, riportate di seguito:

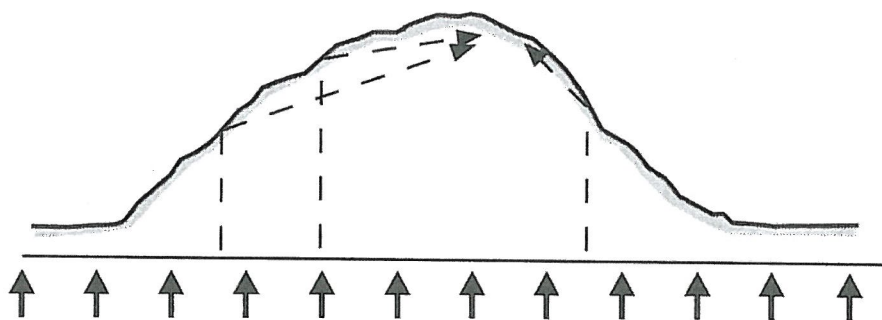
- *A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
- *B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m*, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- *C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m*, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).



- **D:** Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- **E:** Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_{s,30} > 800$  m/s).
- **S1:** Depositi di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < c_{u,30} < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
- **S2:** Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

### 5.3 Effetti della topografia

In occasione di numerosi eventi sismici sono stati riscontrati effetti locali dovuti all'influenza della topografia in particolar modo alla sommità di un rilievo. Il fenomeno fisico di amplificazione del moto alla sommità di un rilievo topografico va attribuito alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito della riflessione sulla superficie libera (Figura 2) e all'interazione fra il campo d'onda incidente e quello dell'onda rifratta.



**Figura 2** - Meccanismo di focalizzazione delle onde sismiche alla sommità di un rilievo

Sulla base delle considerazioni precedenti emerge che gli effetti di amplificazione del moto sismico legati alla topografia devono essere tenuti in conto nella progettazione antisismica di strutture localizzate in prossimità della cresta e lungo i fianchi di un pendio naturale o artificiale.

Per l'identificazione dei siti soggetti a effetto topografico sono anche considerati i picchi isolati e le zone adiacenti ai bordi di terrazzo o alle zone di ciglio su balze strapiombanti.

Lo stato attuale delle conoscenze è, però ancora oggi limitato e per certi versi contraddittorio, soprattutto per quanto riguarda la valutazione quantitativa di tali effetti. Qui di seguito è riportato un quadro riepilogativo delle indicazioni acquisite con maggiore attendibilità in merito all'influenza della topografia sul moto sismico, ricavate dai principali studi sperimentali e teorici di letteratura (da Lanzo G. e Silvestri, F., 1999):

- alla sommità di una irregolarità topografica il moto sismico è amplificato; meno alla sua base;
- l'amplificazione alla sommità di una irregolarità topografica è condizionata dalle sue caratteristiche geometriche, in quanto si verificano fenomeni di focalizzazione quando la

lunghezza dell'onda incidente è comparabile con la semilarghezza  $L$  della base della irregolarità;

- l'entità dei fenomeni di amplificazione è correlata alla forma dell'irregolarità topografica: maggiore è il fattore di forma  $H/L$  (altezza/larghezza), più elevata è l'amplificazione in sommità;
- lungo i fianchi di un'irregolarità topografica, l'interazione tra onde incidenti e difratte produce rapide variazioni del moto, in ampiezza e in frequenza. Ciò genera un complesso campo di spostamenti, con alternanza di fenomeni di amplificazione e attenuazione, che possono dar luogo a marcati movimenti differenziali;
- esiste un accordo qualitativo tra i risultati delle modellazioni numeriche bidimensionali e le osservazioni sperimentali per quanto riguarda l'amplificazione del moto del suolo alla sommità di un'irregolarità topografica ed i complessi fenomeni di amplificazione e attenuazione che si verificano lungo i fianchi;
- non esiste, invece, un accordo quantitativo tra i risultati delle modellazioni e le osservazioni sperimentali: generalmente i rapporti di amplificazione misurati sono molto maggiori di quelli teorici.

Nel settore di Susa, per esempio, le particolari condizioni geomorfologiche che possono determinare un'amplificazione locale dell'intensità sismica mediante fenomeni di concentrazione delle onde sismiche sono determinate da creste rocciose sottili/dossi, di larghezza massima pari a 15-20 m, ubicate a sud del concentrico (rif. Figura 5).

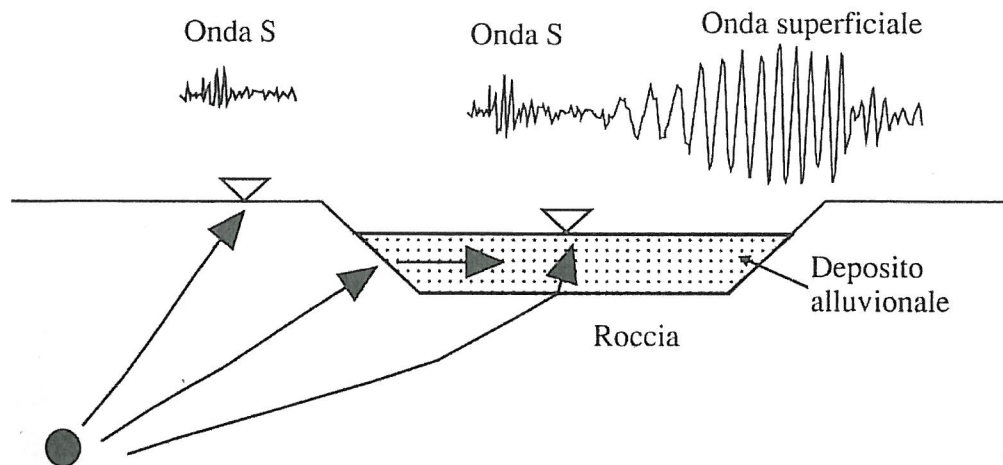
#### 5.4 Effetti di bordo in valli alluvionali

Nel caso di valle alluvionale, oltre ai fattori geolitologici, è necessario considerare due ulteriori fenomeni, che inducono effetti di bordo connessi alla geometria bidimensionale del problema.

Il primo effetto è quello della focalizzazione delle onde sismiche in aree prossime al bordo della valle a seguito dell'interferenza tra il campo d'onda riflesso e quello rifratto che, in occasione di diversi eventi sismici, è stata invocata per spiegare i danni localizzati lungo strisce di terreno poste al margine di valli alluvionali.

Il secondo effetto è quello prodotto dall'incidenza delle onde sismiche in corrispondenza dell'interfaccia non orizzontale roccia-terreno al bordo della valle, che determina la generazione di onde di superficie aventi direzione di propagazione orizzontale (Aki e Larner, 1970). Le onde di superficie così generate, in presenza di una marcata differenza di impedenza tra terreno e basamento roccioso, rimangono confinate all'interno della valle e sono soggette a riflessioni multiple sui bordi. Queste onde di superficie hanno velocità di propagazione relativamente bassa ( $<1000$  m/s) e periodi tipicamente compresi tra 0,5 e 5 s (ovvero frequenze comprese tra 0,2 e 2 Hz) e la caratteristica peculiare di queste onde è comunque rappresentata dalla durata prolungata, generalmente dell'ordine di decine di secondi.





**Figura 3** - Schema di generazione di onde di superficie prodotte da effetti di bordo ai margini di una valle alluvionale.

Una schematizzazione degli effetti di bordo appena descritti è illustrata in Figura 3 dove è rappresentata la sezione trasversale di una valle alluvionale, soggetta ad onde S incidenti al contorno del deposito di terreno. Sono indicati i sismogrammi qualitativi della componente orizzontale registrabile in due differenti postazioni, site su roccia e su terreno; il sismogramma relativo al deposito alluvionale mostra chiaramente l'arrivo di onde di superficie di lungo periodo generate dalla conversione delle onde S incidenti.

Nei settori pianeggianti posti al piede dei versanti rocciosi, per esempio, è di norma perimetrata una fascia di larghezza pari a 100 m dal piede del versante per tener conto, seppur in modo indicativo, dei fenomeni di amplificazione sismica. Una valutazione quantitativa di tali fenomeni può essere eseguita solamente con una modellazione numerica in campo 1D e 2D e con una valutazione strumentale delle amplificazioni. Il problema è molto complicato, poiché dai dati della letteratura emerge che le valli alluvionali profonde sono caratterizzate da fenomeni di interazione tra onde di volume e di superficie decisamente più complessi rispetto a quelli delle valli superficiali (da Lanzo G. e Silvestri, F., 1999).

Nell'area del Comune di Susa questa possibile amplificazione è da ricercarsi nelle aree di raccordo tra la piana di fondovalle e i versanti subverticali. Per quanto riguarda l'area interessata dal progetto, questi potenziali fenomeni sono ubicati in corrispondenza dei cantieri dell'imbocco est del Tunnel di Base e dell'imbocco ovest dell'Interconnessione Bussoleno.

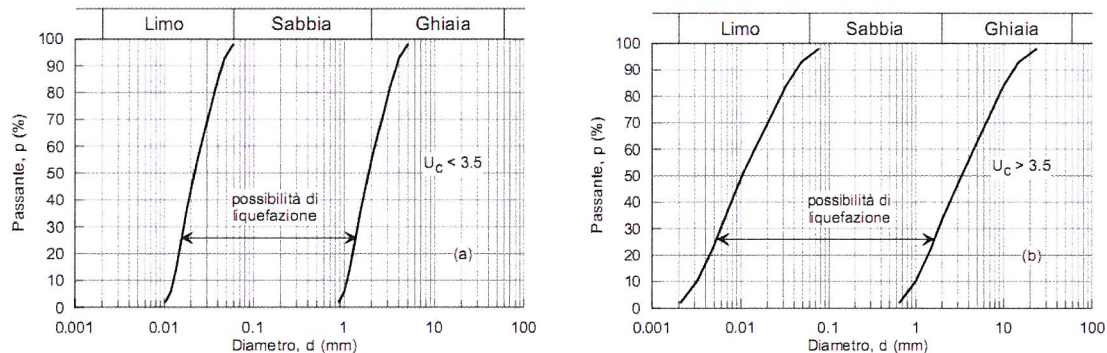
## 5.5 Liquefazione

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  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  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove

penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dal DM (Figura 4).



**Figura 4** – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione. Sinistra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$ . Destra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

### 5.6 Stralcio della carta del PRGC di Susa

Nella Figura 5 è riportato uno stralcio della carta di microzonazione sismica del PRGC del Comune di Susa ai sensi delle NTC 2008.

Sono indicati gli elementi utili alla determinazione dei parametri per la progettazione antisismica. Come si può notare, la caratterizzazione dei terreni sciolti (depositi di fondovalle) è stata genericamente attribuita a una classe unica (B, C, D) che comprende terreni con caratteristiche meccaniche differenti (vedi § 5.2).

Dalla Figura 5 si evince che in corrispondenza del sito autoporto, i riporti antropici sono stati classificati nella categoria S2, vista l'indeterminatezza dei materiali che costituiscono tali riporti.

Grazie alle indagini dirette (sondaggi) realizzati da LTF nel 2010 nell'ambito del Progetto, è stata possibile una maggior determinazione della composizione di questi terreni di riporto: si precisa tuttavia che essi sono comunque riconducibili alla categoria S2, come indicato nel paragrafo 6.3.2.



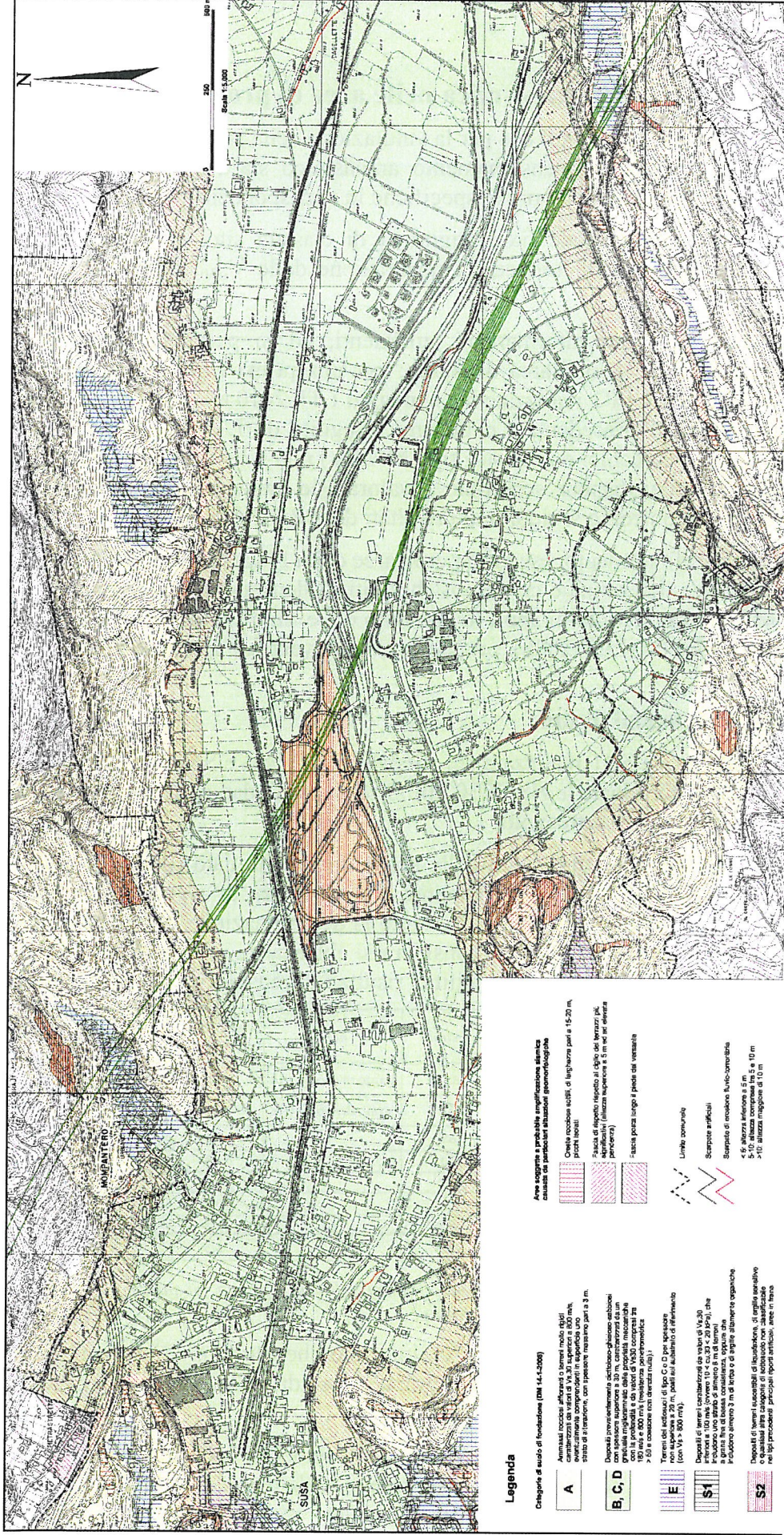


Figura 5 – Sinalcio della carta di microzonazione sismica annessa al PRGC di Susa, su cui è riportato il tracciato indicativo dell'opera in progetto (linea verde)



## 6. Valutazione della pericolosità sismica nelle aree di progetto

Le normative vigenti prescrivono quindi che per la valutazione della pericolosità sismica connessa alle opere di progetto e al loro dimensionamento antisismico sia eseguito uno studio molto dettagliato che necessita l'esecuzione di prove specifiche in corrispondenza delle singole opere.

In particolare, oltre alla ricostruzione litostratigrafica di ciascun sito, è necessario prevedere l'esecuzione di MASW o prove in foro per la misurazione delle  $V_{s,30}$ , oppure l'esecuzione di prove SPT.

Allo stato attuale non si hanno informazioni sufficienti, ed in particolare non si hanno a disposizione misurazioni di  $V_{s,30}$  nell'area di studio: per una prima caratterizzazione sono stati considerati i valori delle prove SPT realizzate nei sondaggi LTF 2010 e i dati reperiti dalle banche dati esistenti e dai sondaggi precedenti. Le indagini eseguite da LTF nel periodo novembre-dicembre 2012 (sondaggi geotecnici e geofisica tipo MASW) non sono state considerate, anche se i risultati preliminari di cui si dispone sembrano avvalorare le interpretazioni descritte in questo studio. Per completezza e confronto si riportano i risultati del PRGC di Susa.

È stato effettuato un approfondimento, eseguito per le aree della Piana di Susa, della parte ad ovest di Bussoleno, e delle aree determinate come possibili siti di deposito (cava di Caprie e Cava di otrrazza) sulla base del primo livello di approfondimento delle Linee guida "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (APAT 2008), propedeutico ad eventuali approfondimenti (livelli 2 e 3).

### 6.1 Dati ottenuti dalle indagini in situ

Con i dati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi S65, S66 e S67 e S72 (Tabella 1) nella piana di Susa sono state determinate le  $NSPT_{,30}$  utili, in assenza di dati sulle onde sismiche, per la determinazione della categoria di sottosuolo.

Si precisa che non sono stati utilizzati i dati delle prove che hanno dato rifiuto: in questi terreni infatti le prove a rifiuto sono legate generalmente alla presenza di singoli ciottoli e blocchi piuttosto che ad un maggior grado di coesione. Pertanto la determinazione della categoria di suolo mediante l'uso del  $N_{SPT,30}$  così calcolato è da considerarsi abbastanza rappresentativo, benchè non sostituisca come livello di accuratezza e affidabilità i risultati di indagini sismiche specifiche

Sondaggio	Prova (n°)	Profondità (m da p.c.)	NSPT	inizio strato	fine strato	note	spessore strato	NSPT <sub>30</sub>	Categoria di suolo
S65	2	6	59	4.5	8.4	strato diviso a metà	4.0	63	B
	3	9	66	8.4	12.4	strato diviso a metà	4.0		
	6	18	65	17.8	18.9		1.1		
S66	1	4.5	18	0.4	5.0		4.6	20	C
	7	30	54	29.0	30.0		1.0		
S67	3	7.5	23	7.5	8.3		0.8	44	C
	5	12	50	8.3	15.0		6.7		
S72	3	21.5	29	17.5	23.0		5.5	29	C

**Tabella 1** – Risultati delle prove SPT realizzate nei sondaggi della Piana di Susa. Si precisa che in tabella sono riportati solo i risultati delle prove che non hanno dato rifiuto.

Le  $N_{spt,30}$ , calcolate come indicato dal DM2008, indicano che i terreni attraversati ricadono nei terreni di tipo B o C ovvero "depositi di terreni a grana grossa da molto a mediamente addensati o terreni a grana fine da molto a mediamente consistenti".

Per quanto riguarda i depositi presenti nell'area dell'imbocco dell'interconnessione verso Bussoleno, sono stati presi in considerazione i dati presenti nella banca dati ARPA consultata su in luglio 2012 ([http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo\\_dissesto/\\_w\\_arpa\\_ib\\_geotecnica/](http://webgis.arpa.piemonte.it/website/geo_dissesto/_w_arpa_ib_geotecnica/))



[viewer.htm](#)). I dati indicano che i terreni ricadono nelle categorie di tipo C e D, rappresentanti “depositi di terreni a grana grossa da mediamente a scarsamente addensati o terreni a grana fine da mediamente a scarsamente consistenti”. Si precisa tuttavia che i dati si riferiscono ad aree ubicate al piede del versante o anche su di esso (Figura 6), e pertanto riferiti a coltre eluvio-colluviale: dal punto di vista geologico-geomorfologico e geotecnico si ritiene più corretto considerare i depositi alluvionali presenti nella Piana di Bussoleno analoghi a quelli presente nella Piana di Susa.

Codice Perforazione (ARPA)	Profondità (m)	NSPT	spessore strato	note	NSPT,30	categoria suolo
52 (B2)	1.5	39	2.8	stratigrafie non disponibili, spessore singolo strato determinato come totale sondaggio diviso numero di prove	37	C
	4.5	36	2.8			
	9	30	2.8			
	12	45	2.8			
	13.5	38	2.8			
56 (B5)	1.5	11	2.0		11	D
57 (B6)	1.5	16	1.7		22	C
	3	33	1.7			
58 (B7)	3	18	1.8		16	C
	4.5	17	1.8			
	6	11	1.8			
	7.5	11	1.8			
	9	18	1.8			
	10.5	31	1.8			
85 (S3A)	8.4	14	4.7	12	D	
	11.8	11	4.7			
	13.5	12	4.7			
87 (S3C)	7.5	10	4.3	13	D	
	9.5	16	4.3			
	12.5	14	4.3			
92 (S5)	11.8	10	12.3	10	D	

**Tabella 2** – Risultati delle prove SPT realizzate in sondaggi ubicati in prossimità dell'imbocco dell'interconnessione verso Bussoleno. Dati desunti dalla banca dati webgis dell'ARPA Piemonte. Si precisa che in tabella sono riportati solo i risultati delle prove che non hanno dato rifiuto.

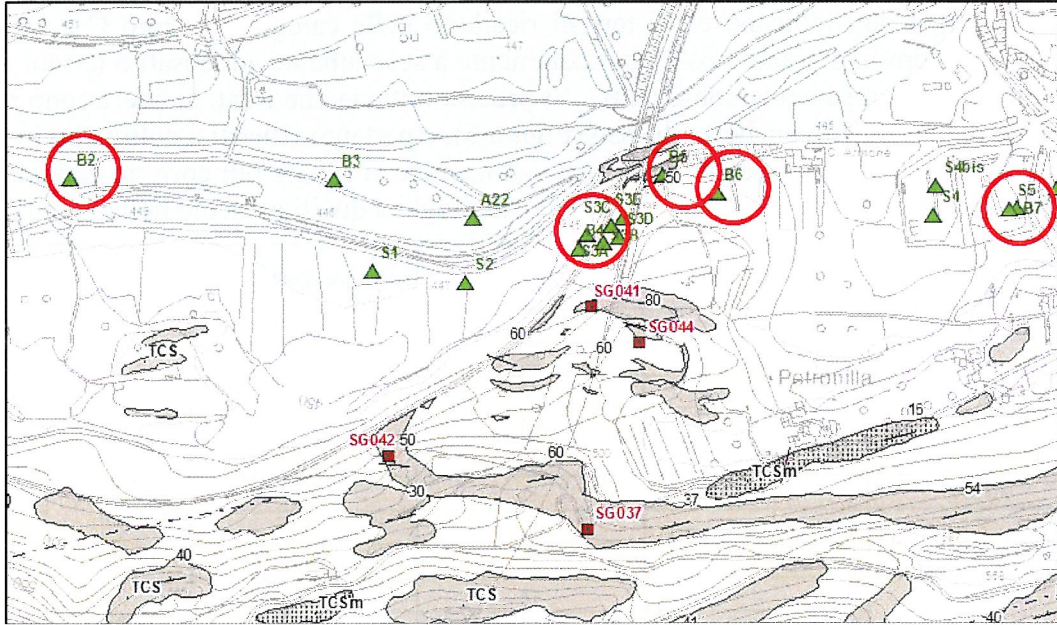


Figura 6 – Stralcio della carta geologica, con l'ubicazione dei sondaggi riportati in Tabella 2 (evidenziati con cerchio rosso)

In base ai risultati delle indagini, in assenza di dati diretti sulla  $V_{s,30}$  dei terreni su cui saranno fondate le opere in progetto, i depositi alluvionali della piana di Susa e della zona di Bussoleno possono essere considerati di tipo C. Si specifica che tale classificazione è da considerarsi cautelativa, poiché per la determinazione della  $N_{spt,30}$  non sono stati considerati i risultati delle prove che danno rifiuto.

L'area del sito di deposito di Caprie sarà ubicata in una cava ubicata all'interno delle serpentiniti antigoritiche. L'antistante piazzale di cava è costituito da presumibilmente da depositi antropici legati all'attività di cava che ricoprono in parte il substrato roccioso e in parte i depositi alluvionali. Il suolo di fondazione può essere considerato di tipo A. Tuttavia si presume che le porzioni più esterne del piazzale, ubicate in depositi alluvionali, siano costituite da depositi di tipo B o C. Una più precisa stratigrafia, finalizzata a determinare l'estensione dei depositi alluvionali presenti nel piazzale della cava, sarà individuata dalle indagini geologiche che verranno realizzate nelle fasi progettuali successive.

L'area del sito di deposito di Torrazza sarà ubicata in una cava ubicata all'interno di depositi ghiaioso-sabbiosicon locali intercalazioni lentiformi di materiali fini limosi, al cui tetto è presente un solo bruno-marrone limoso-sabbioso di spessore generalmente inferiore al metro. Nell'area non sono presenti prove SPT o indagini sismiche utili per la determinazione della categoria di suolo di fondazione. Tuttavia, sulla base della stratigrafie presenti nell'area, si ritiene che il suolo di fondazione sia costituito da "depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m (categoria di sottosuolo B).

Durante i mesi di novembre e dicembre 2012 sono state realizzate stese geofisiche di tipo MASW per la misura della  $V_{s30}$ . I risultati di queste indagini, disponibili al momento in via preliminare: i risultati definitivi saranno interpretati e integrati allo studio nelle successive fasi di progettazione.

## 6.2 Parametri per la determinazione dell'azione sismica

Nella successiva Tabella 3 sono riportati i principali fattori che portano alla determinazione dell'azione sismica (DM 14 gennaio 2008), da utilizzare per il dimensionamento delle fondazioni delle opere in progetto. Le verifiche alla liquefazione sono effettuate agli Stati Limite di Vita (SLV) considerando una vita nominale  $\geq 100$  anni e una classe d'uso pari a IV (grandi opere



strategiche). Si precisa che i dati di input della tabella sono presi dal file Spettri-NTCver.1.0.3.xls (individuazione della pericolosità del sito effettuata per comune, indicando Susa, Bussoleno e Novalesa). Le sigle e la nomenclatura dei parametri riportati in tabella fanno riferimento a quanto riportato nei capitoli 2, 3 e 7 del DM 14 gennaio 2008.

Come categoria topografica è stata presa in considerazione la T1 (superfici piane con pendenza inferiore a 15°), sia per le aree della Piana di Susa e di Bussoleno, che per le aree che ospiteranno i cantieri degli imbocchi Maddalena e Clarea.

Stati limite	Piana di Susa				Area di Bussoleno				Area di cantiere imbocco Clarea				Area di cantiere imbocco Maddalena			
	SLE		SLU		SLE		SLU		SLE		SLU		SLE		SLU	
	SLO	SLD	SLV	SLC	SLO	SLD	SLV	SLC	SLO	SLD	SLV	SLC	SLO	SLD	SLV	SLC
Vn	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Classe d'uso	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
Cu	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Vr	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Pvr	81%	63%	10%	5%	81%	63%	10%	5%	81%	63%	10%	5%	81%	63%	10%	5%
Tr	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag	0.080	0.098	0.204	0.219	0.079	0.098	0.203	0.219	0.079	0.098	0.203	0.218	0.078	0.097	0.202	0.218
Fo	2.428	2.436	2.531	2.547	2.420	2.429	2.530	2.546	2.430	2.439	2.530	2.546	2.433	2.441	2.530	2.545
Tc	0.246	0.253	0.281	0.285	0.244	0.252	0.280	0.283	0.246	0.254	0.281	0.285	0.246	0.254	0.282	0.285
Categ. Suolo	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
βs	0.200	0.200	0.240	0.240	0.200	0.200	0.240	0.240	0.200	0.200	0.240	0.24	0.200	0.200	0.240	0.24
Ss	1.583	1.557	1.390	1.365	1.585	1.557	1.392	1.365	1.585	1.557	1.392	1.367	1.586	1.558	1.393	1.367
St	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.583	1.557	1.390	1.365	1.585	1.557	1.392	1.365	1.585	1.557	1.392	1.367	1.586	1.558	1.393	1.367
a <sub>max</sub>	0.127	0.153	0.284	0.299	0.125	0.153	0.283	0.299	0.125	0.153	0.283	0.298	0.124	0.151	0.281	0.298

Tabella 3 - Principali fattori che portano alla determinazione dell'azione sismica (DM 14 gennaio 2008).

### 6.3 Elaborazione di nuova carta della pericolosità sismica

Nella carta, redatta in scala 1:25.000, vengono riportate tre tipologie di zone, individuate secondo quanto definito dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (APAT 2008 – livello 1):

- zone stabili
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, corrispondono alle aree in frana ed alle aree in cui le condizioni stratigrafiche ed idrogeologiche potrebbero dare luogo a fenomeni di liquefazione, alle faglie attive e capaci, alle aree caratterizzate da cedimenti differenziali.

Per una migliore leggibilità della relazione si riporta la legenda della carta della pericolosità sismica (elaborato PD2-C3B-TS3-0052, Figura 7).

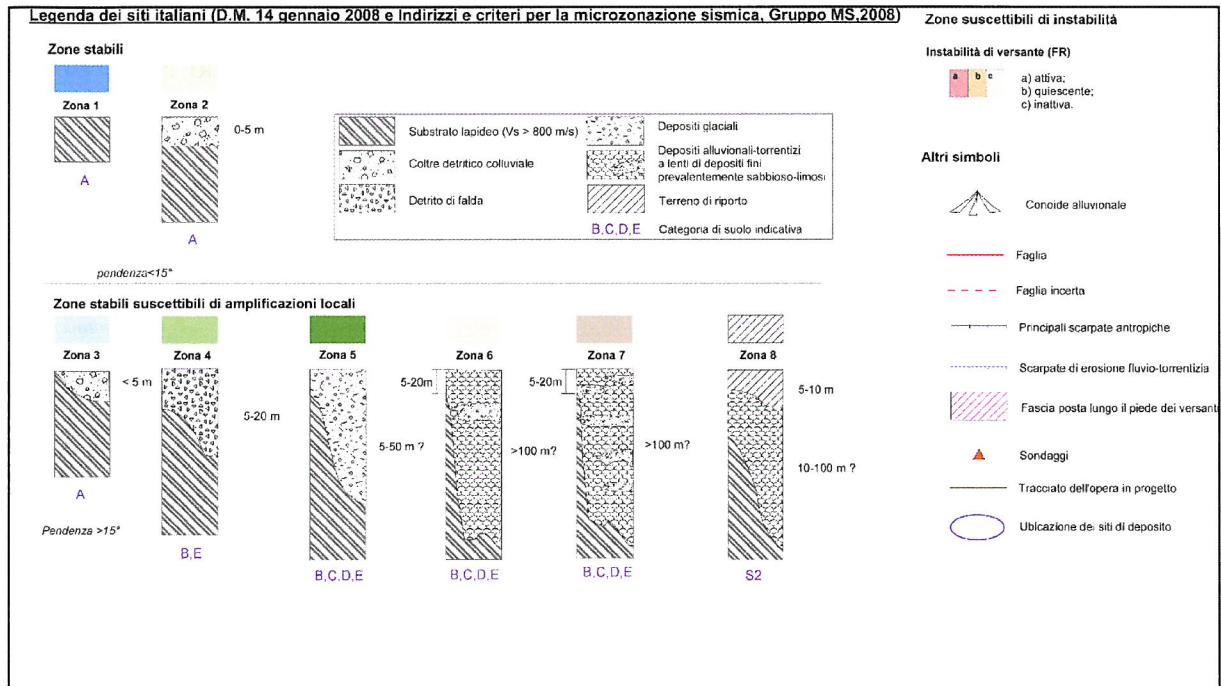


Figura 7 – Legenda della carta della suscettibilità all'amplificazione sismica (elaborato PD2-C3B-TS3-0052)

### 6.3.1 Zone Stabili

All'interno delle zone stabili sono state distinte due zone omogenee.

La zona 1 corrisponde a zone stabili caratterizzate da  $V_{s,30} \geq 800$  m/s, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento. Corrisponde alle aree di affioramento del substrato metamorfico (Bedrock) con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa  $15^\circ$ ).

La zona 2 corrisponde alle aree in cui il bedrock è ricoperto da suoli e prodotti di origine detritico-colluviali con spessori inferiori a 3 m, con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a circa  $15^\circ$ ).

In entrambe le zone i terreni sono riconducibili alla categoria A.

### 6.3.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Tra le zone stabili sono state distinte cinque zone omogenee:

La zona 3 corrisponde ad aree in cui il bedrock ( $V_{s,30} \geq 800$  m/s) affiora o è coperto da depositi per spessori inferiori a 3 m e le pendenze della superficie topografica sono superiori a  $15^\circ$ . In questa zona i terreni sono riconducibili alla categoria A.

La zona 4 corrisponde ad aree in cui il bedrock è ricoperto da depositi con  $V_{s,30} < 800$  m/s ed in particolare da coltre detritico-colluviale o da detrito di falda, per spessori presunti inferiori a 20 m. In questa zona i terreni sono riconducibili alle categoria B, E.

La zona 5 corrisponde ad aree costituite da depositi glaciali indifferenziati ( $V_{s,30} < 800$  m/s), generalmente costituiti da depositi di origini fluvio-glaciale, localmente cementati, con spessori molto variabili. In questa zona i terreni sono riconducibili alle categoria B, C, D, E.

La zona 6 corrisponde alla piana di fondovalle, costituite da depositi alluvionali o depositi fluvio-torrentizi che costituiscono gli apparati dei principali conoidi. I depositi, sciolti, caratterizzati da



depositi con  $V_{s,30} < 800$  m/s e a granulometria prevalentemente grossolana, hanno uno spessore non stimabile ma generalmente superiore al centinaio di metri. La falda nei punti più alti si attesta a profondità superiori a 20 m di profondità, e generalmente è ubicata a profondità superiori ai 35 m. Sulla base dei risultati dei sondaggi e dei dati a disposizione, i terreni di questa zona 6 sono riconducibili principalmente alla categorie B o C, sebbene non si escludano terreni di categoria D o E.

La zona 7, corrisponde alle aree di fondovalle costituite da depositi alluvionali di fondovalle o depositi fluvio-torrentizi, e si differenziano dai precedenti per la maggior presenza di lenti a granulometria più fine. Si trovano principalmente nel fondovalle nei pressi della cava di Caprie, e costituiscono la piana alluvionale dell'area della cava di Torrazza Piemonte. I depositi, sciolti e caratterizzati da  $V_{s,30} < 800$  m/s, presentano una granulometria fortemente variabile con abbondanza di livelli sabbioso-limosi; anche i livelli più grossolani sono spesso caratterizzati da presenza di matrice sabbiosa più rappresentata rispetto ai depositi della zona 6. Lo spessore dei depositi non è noto ma sulla base dei sondaggi si attesta almeno superiore al centinaio di metri. La falda è decisamente superficiale, oscillando tra 10 m di profondità e il piano campagna.

Sulla base dei risultati dei sondaggi e dei dati a disposizione, in questa zona i terreni sono riconducibili principalmente alla categorie B o C, sebbene non si escludano terreni di categoria D o E,

La zona 8: corrisponde alle aree di fondovalle costituite da terreni di riporto di varia natura, caratterizzati da  $V_{s,30} < 800$  e spessori inferiori a 10 m che ricoprono terreni della zona 6. In questa zona i terreni sono riconducibili alla categoria S2.

### **6.3.3 Zone suscettibili di instabilità – aree in frana**

Le aree in frana vengono distinte per tipologia:

- Crolli, presenti sulle pareti rocciose subverticali ubicate ad esempio a ridosso del versante (località Tre Piloni)
- Frane rotazionali e frane per movimento complesso, ubicate lungo versanti ma in aree non insistenti sul fondovalle.
- Colamenti veloci (soil-slip)

e per attività:

- Frane Attive
- Frane Quiescenti

### **6.3.4 Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione**

Con il termine "liquefazione" si intende una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Dal punto di vista geologico, le condizioni stratigrafiche tali far ipotizzare la possibilità di fenomeni di liquefazione potrebbero essere presenti nelle zone 6, 7 e 8.

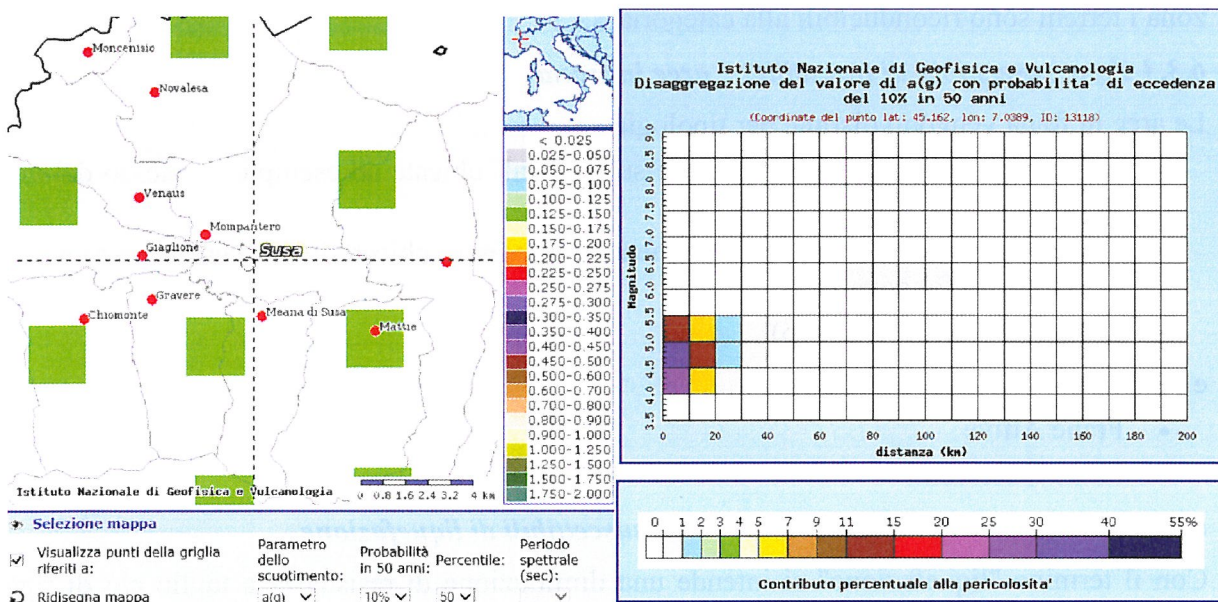
Come già indicato nel paragrafo 5.5, ai sensi del DM 14 gennaio 2008 la verifica a liquefazione può essere omessa in presenza di almeno una delle cinque situazioni definite. Qualora nessuna delle condizioni 1, 2, 3, 4, 5 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo

storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere anche valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Per quanto riguarda la Piana di Susa e la zona di Bussoleno, nell'area indagata sulla base delle conoscenze non sono presenti spessori significativi e continui di depositi fini tali da far ipotizzare fenomeni di liquefazione, sebbene rimanga un po' di incertezza dato l'esiguo numero di sondaggi. Inoltre i dati di soggiacenza della falda, disponibili per la Piana di Susa, indicano profondità decisamente superiori a 15 m dal piano campagna.

Nelle aree di Caprie e di Torrazza, dove sono previsti siti di deposito, non essendo a disposizione dati sufficienti né sulla stratigrafia, né sulla posizione della falda, la necessità di eseguire la verifica di suscettibilità a liquefazione potrà essere valutata a seguito dell'esecuzione di indagini di dettaglio.

Per la maggior parte delle aree esaminate (piana di Susa, piana di Bussoleno, imbocco Maddalena, imbocco Clarea) la **condizione 1 è soddisfatta** in quanto la magnitudo media attesa è di 4.710, inferiore a 5, come desunto dal sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>). Si riporta il dato relativo al nodo ubicato a nord-ovest di Susa (Figura 8): si precisa che i dati relativi agli altri nodi limitrofi e ai nodi presso Bussoleno forniscono lo stesso risultato di magnitudo attesa.





Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

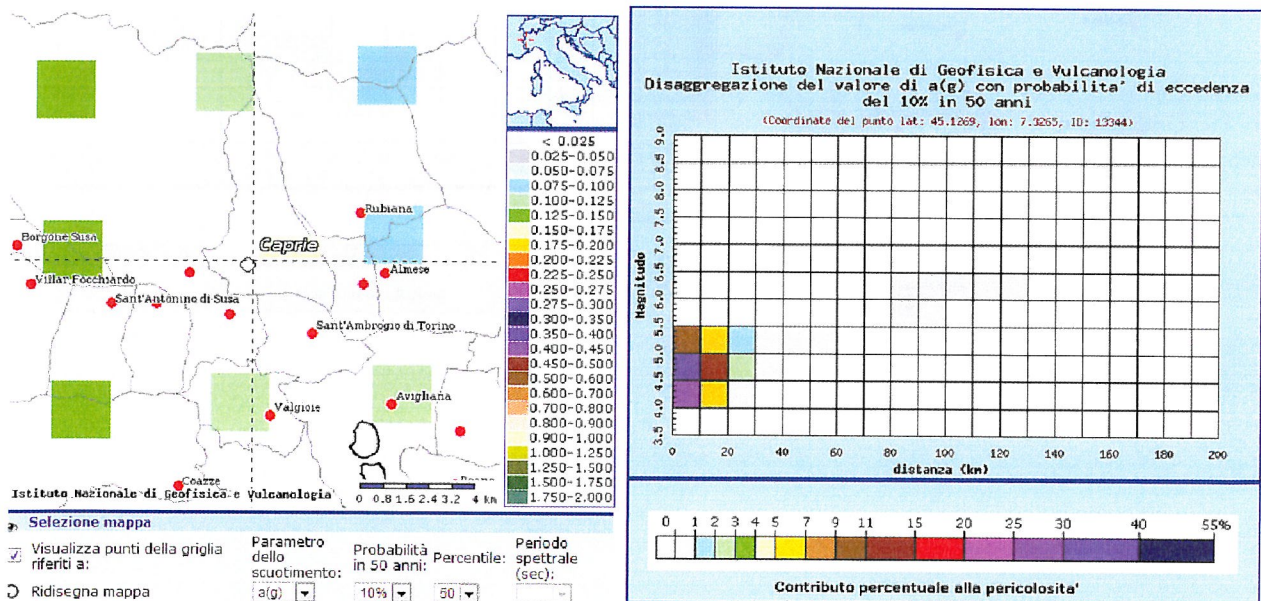
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.162, lon: 7.0389, ID: 13118)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	26.600	34.900	11.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	5.770	11.500	6.650	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.166	1.130	1.430	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.016	0.204	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.710	7.730	0.828

Figura 8 – Mappe indicanti le accelerazioni in campo libero nel territorio tra la Val di Susa e la Val Cenischia (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV).

Si riportano inoltre i dati relativi ai nodi ubicati a Caprie (Figura 9) e a Torrazza (Figura 10). Nel primo caso la condizione 1 è soddisfatta, mentre nel secondo caso non lo è. Tuttavia si ribadisce che, in assenza di ulteriori dati sulle caratteristiche e la stratigrafia delle aree non è possibile valutare la necessità di eseguire la verifica di suscettibilità a liquefazione. La necessità di eseguire tale verifica sarà stabilita a valle della realizzazione di indagini geognostiche e sismiche in situ.





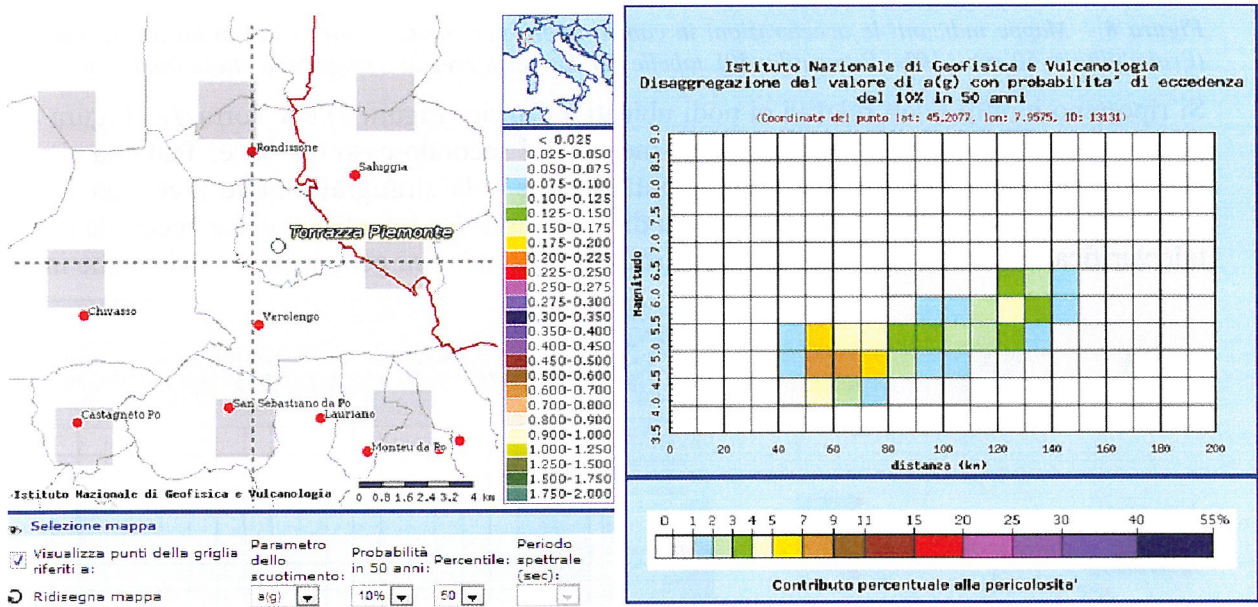
Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.1269, lon: 7.3265, ID: 13344)										
	Magnitudo										
	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	0.000	27.500	33.900	10.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.090	11.100	5.760	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.555	2.070	1.830	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.172	0.512	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.700	8.070	0.642

Figura 9 – Mappe indicanti le accelerazioni in campo libero presso Caprie (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV).





Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.2077, lon: 7.9575, ID: 13131)											
	Magnitudo											
	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	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
10-20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20-30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
30-40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
40-50	0,000	0,995	1,900	1,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
50-60	0,000	4,000	8,340	5,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
60-70	0,000	2,900	7,150	4,990	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
70-80	0,000	1,500	5,110	4,530	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
80-90	0,000	0,362	2,770	3,400	0,188	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
90-100	0,000	0,040	1,610	3,070	1,320	0,248	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
100-110	0,000	0,001	1,010	2,780	1,990	0,360	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
110-120	0,000	0,000	0,538	2,250	2,260	0,720	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
120-130	0,000	0,000	0,718	3,220	4,830	3,320	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
130-140	0,000	0,000	0,264	1,920	3,150	2,310	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
140-150	0,000	0,000	0,081	0,885	1,550	1,340	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	
150-160	0,000	0,000	0,015	0,463	0,919	0,788	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	
160-170	0,000	0,000	0,000	0,152	0,347	0,220	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	
170-180	0,000	0,000	0,000	0,056	0,171	0,116	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	
180-190	0,000	0,000	0,000	0,031	0,150	0,129	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	
190-200	0,000	0,000	0,000	0,016	0,148	0,133	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5,200	91,900	1,990

Figura 10 – Mappe indicanti le accelerazioni in campo libero presso Torrazza Piemonte (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV).

Pertanto, essendo soddisfatta la prima condizione, **ai sensi del DM2008 per i terreni nella Piana di Susa, della piana di Bussoleno e degli imbocchi Maddalena e Clarea non è necessaria la verifica di suscettibilità a liquefazione.** Tuttavia, data l'importanza dell'opera in progetto, in via cautelativa si è proceduto alla verifica delle altre condizioni richieste dalla normativa. Inoltre per le aree di Susa e di Bussoleno, interessate dalle opere con le fondazioni più significative, è stato verificato in via preliminare il potenziale di liquefazione con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto (Criterio di Ambraseys).

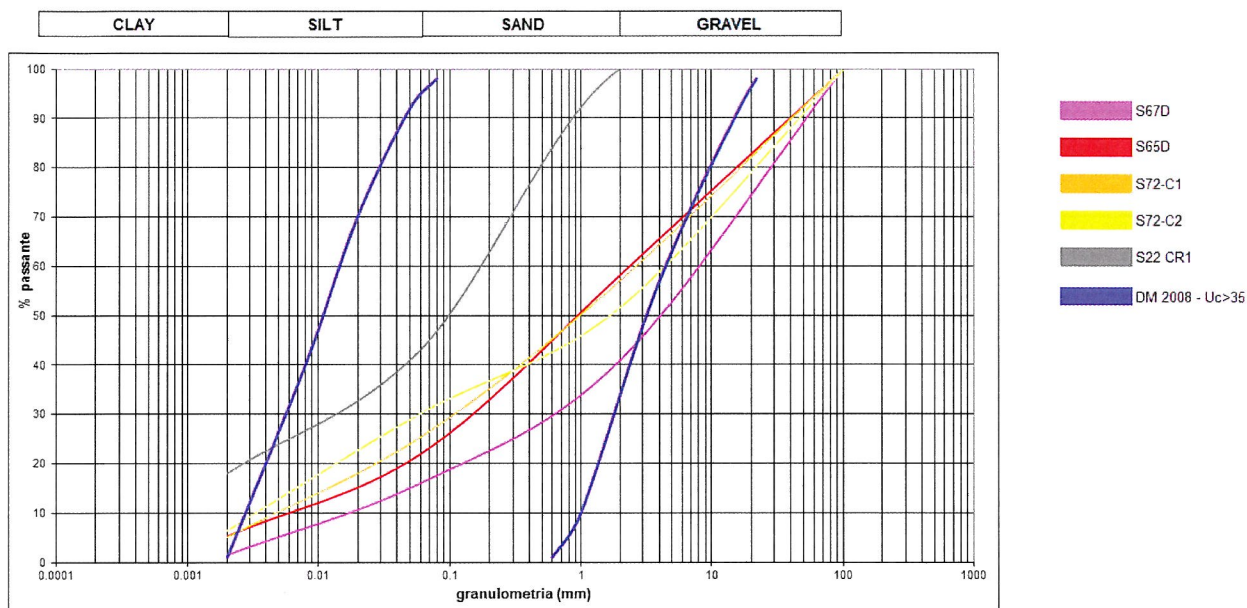
La **condizione 2** non è soddisfatta per le aree nella piana di Susa, piana di Bussoleno, imbocco Maddalena, imbocco Clarea e sito di deposito di Caprie: come già evidenziato in Figura 8 e in Figura 9, infatti, le accelerazioni attese al suolo sono superiori a 0,1 g. Per quanto riguarda Torrazza, invece, questa condizione è verificata (Figura 10) e pertanto anche per questo sito la verifica di suscettibilità alla liquefazione può essere omessa.

Per quanto riguarda la piana di Susa inoltre è parzialmente soddisfatta anche la **condizione 3**: la soggiacenza della falda infatti è mediamente superiore a 15 m dal piano campagna. Per quanto riguarda l'area di Bussoleno, non si hanno a disposizione dati sufficienti: presumibilmente la falda si attesta a quote più superficiali di quelle riscontrate nella piana di Susa. Nelle aree degli imbocchi Clarea e Maddalena la condizione non è soddisfatta, poiché la falda è presumibilmente meno profonda di 15 m dal p.c. (rif. elaborato PD2\_C3B\_0125\_33-03-00\_10\_01). Per quanto riguarda Caprie e Torrazza non si hanno a disposizione dati sufficienti.

La **condizione 4** non è soddisfatta, poiché i terreni di fondazione sono molto eterogenei e non riconducibili a sabbie pulite.

Per quanto riguarda la **condizione 5**, l'analisi delle curve granulometriche dei campioni prelevati nei sondaggi terebrati da LTF nella Piana di Susa evidenziano l'assenza di livelli potenzialmente suscettibili di liquefazione (rif. par.5.5) ad eccezione di un caso riscontrato nel sondaggio S22, realizzato a Crotte a circa 500 m di distanza dall'opera in progetto: il campione,

prelevato a circa 7.5 m di profondità in depositi alluvionali, è relativo ad un livello fine il cui spessore risulta di circa 11 m. Si precisa inoltre che sono stati considerati solo i campioni prelevati da livelli ubicati a profondità inferiore a 15 m.



**Figura 11** – Curve granulometriche di campioni prelevati nella Piana di Susa nei sondaggi effettuati da LTF, a profondità inferiori a 15 m. In blu sono indicati i limiti al cui interno si possono verificare fenomeni di liquefazione secondo il DM2008.

Pertanto, si può cautelativamente affermare che nella Piana di Susa la condizione 5 non è verificata. Si precisa che la presenza di livelli suscettibili di liquefazione non è stata osservata nei sondaggi realizzati nell'area del progetto. Poiché negli altri siti non si hanno a disposizione dati granulometrici, non è possibile definire se la condizione 5 è verificata

Di seguito si riporta una tabella con la sintesi della verifica delle condizioni indicate dal DM2008.

Condizione		Piana di Susa	Bussoleno	Imbocco Clarea	Imbocco Maddalena
1	eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5	SI	SI	SI	SI
2	accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g	NO	NO	NO	NO
3	profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali	SI	NO	NO	NO



<i>Condizione</i>		<i>Piana di Susa</i>	<i>Bussoleno</i>	<i>Imbocco Clarea</i>	<i>Imbocco Maddalena</i>
4	depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 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 qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa	NO	NO	NO	NO
5	distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dal DM (Figura 4)	NO	? (dati non sufficienti)	? (dati non sufficienti)	? (dati non sufficienti)

**Tabella 4** – Riassunto della verifica delle condizioni indicate dal DM 2008 per la verifica della suscettibilità a liquefazione.

### **Verifica della suscettibilità a liquefazione mediante Criterio di Ambraseys**

La formula empirica di Ambraseys (1988) correla la distanza epicentrale del sito (R) indagato con la magnitudo di soglia del sisma ( $M_s$ ), cioè con quella magnitudo che può indurre fenomeni di liquefazione in terreni suscettibili.

La relazione è la seguente:

$$M_s = 4.64 + 2.65 \times 10^{-3} R + 0.99 \log_{10} R$$

Per effettuare il calcolo è stato utilizzato il software *Liquef 2.2* della *ProgramGeo* che utilizza i dati degli eventi sismici principali (magnitudo richter superiore a 4) registrati dall'anno 217 a.c. all'anno 1992 d.c. contenuti nel Catalogo sismico italiano per la zona sismogenetica in cui ricade l'area in studio (area 908 -ZS9). Nel software, i cui risultati sono riportati in Figura 12 e Figura 13, la magnitudo di soglia è indicata come MI, e viene confrontata con la magnitudo massima prevedibile con un determinato tempo di ritorno ( $M_a$ ) calcolata partendo dagli stessi dati storici trattati con un approccio probabilistico-statistico di Gumbel.

L'elaborazione, i cui risultati sono riportati in Figura 12 e Figura 13, determina il valore dei fattori di sicurezza  $F_s$ , calcolati come rapporto tra la magnitudo massima attesa e la magnitudo di soglia: per le aree esaminate i valori calcolati sono sempre inferiori a 1, salvo in un caso per il quale il rapporto è poco superiore ad 1 (terremoto in Val Pellice del 1808, vedi Figura 13). Quindi nelle aree della Piana di Susa e dell'innesto Bussoleno, la probabilità che si verifichino fenomeni di liquefazione è molto bassa. Si precisa che la liquefazione potrebbe manifestarsi in presenza di livelli fini ubicati a meno di 15 m di profondità sotto falda: tale condizione non è stata riscontrata dalle indagini realizzate finora (Tabella 5). Si precisa che i dati relativi ai sondaggi 2012 sono disponibili in versione preliminare: le assunzioni considerate dovranno essere verificate alla luce dei dati definitivi.

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

<b>Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Ambraseys (1988)</b>						
Anno	Magnitudo	Distanza epicentro (km)	Località epicentro	Probabilità supera mento	Tempo supera mento(anni)	F <sub>s</sub> =Ma/Ml
1966	4.08	99	CUNESE	0.02632	1.03	0.4416
1905	4	93	VALDIERI	0.05263	1.06	0.4418
1913	4	91.7	VALDIERI	0.07895	1.09	0.4438
1916	4.02	92.6	VINADIO	0.10526	1.12	0.4446
1849	4.3	111.2	LIMONE	0.13158	1.15	0.4473
1892	4.3	106	LIMONE	0.15789	1.19	0.4548
1885	4.3	104.2	LIMONE	0.18421	1.23	0.4575
1887	4	76.9	S.DAMIANO	0.21053	1.27	0.4681
1835	4.3	97.2	Boves	0.23684	1.31	0.4682
1901	4.3	95.5	BOVES	0.26316	1.36	0.4709
1502	4.3	88.5	CUNEO	0.28947	1.41	0.4825
1958	4.1	75.2	DRONERO	0.31579	1.46	0.4829
1955	4.07	65.8	ALPI COZIE	0.34211	1.52	0.4973
1550	4.6	91.6	CUNEO	0.36842	1.58	0.5106
1971	4.3	71.5	CELLE DI MACRA	0.39474	1.65	0.5137
1883	4.3	64.8	REVELLO	0.42105	1.73	0.5276
1878	4.3	61.9	VILLANOVA	0.44737	1.81	0.5339
1584	4.6	77.9	DRONERO	0.47368	1.9	0.5363
1611	4	39.7	Luserna	0.5	2	0.5498
1956	4.3	51.4	M. VISO	0.52632	2.11	0.5587
1502	4.8	78.3	TARANTASCA	0.55263	2.24	0.5588
1909	4	36.3	TORRE PELLICE	0.57895	2.38	0.5597
1878	4.8	76.6	S.DAMIANO	0.60526	2.53	0.5624
1311	4.3	34	PINEROLO	0.63158	2.71	0.6093
1858	4.3	33.4	Valle del Chisone	0.65789	2.92	0.6114
1969	4.22	23.3	GIAVENO	0.68421	3.17	0.6383
1507	4.3	20.2	PINASCA	0.71053	3.45	0.6649
1449	4.3	20.2	PINASCA	0.73684	3.8	0.6649
1901	4	7.7	M. LERA	0.76316	4.22	0.6991
1980	4.7	23.9	GIAVENO	0.78947	4.75	0.708
1927	4.42	15.4	VAL DI SUSÀ	0.81579	5.43	0.7102
1753	4.92	24.2	Valle del Chisone	0.84211	6.33	0.7397
1886	4.95	21	VAL DI SUSÀ	0.86842	7.6	0.7609
1808	5.55	36.6	Valle del Pellice	0.89474	9.5	0.7754
1914	5.08	21.4	TAVERNETTE	0.92105	12.67	0.7786
1943	4.4	5.3	VAL DI SUSÀ	0.94737	19	0.8004
1785	4.8	9	M. ORSIERA	0.97368	37.99	0.8243

<p>Latitudine del sito (°): 45.1357      Longitudine del sito (°): 7.080208</p> <p>Tempo di ritorno (anni): 200      Rapporto Ma/Ml: 1.0188</p> <p>Magnitudo attesa al sito (Richter) (Ma): 7.381</p> <p>Magnitudo minima necessaria per la liquefazione (Richter) (Ml): 7.245</p>
--

**Figura 12** – Stima del rischio di liquefazione per l'area della Piana di Susa (fonte: elaborazione del software Liquef 2.2 della ProgramGeo, che utilizza i dati del Catalogo sismico italiano (area 908 –zona sismogenetica ZS9)



Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Ambraseys (1988)						
Anno	Magnitudo	Distanza epicentro (km)	Località epicentro	Probabilità superamento	Tempo superamento(anni)	Fs=Ma/Ml
1901	4	32.1	M. LERA	0.02632	1.03	0.4432
1905	4	18	VALDIERI	0.05263	1.06	0.4452
1913	4	87.1	VALDIERI	0.07895	1.09	0.451
1883	4.3	76.7	REVELLO	0.10526	1.12	0.4704
1916	4.02	18	VINADIO	0.13158	1.15	0.4708
1927	4.42	90.1	VAL DI SUSÀ	0.15789	1.19	0.4721
1502	4.3	76.8	CUNEO	0.18421	1.23	0.473
1909	4	38.5	TORRE PELLICE	0.21053	1.27	0.4733
1858	4.3	23.2	Valle del Chisone	0.23684	1.31	0.4768
1966	4.08	6.7	CUNEESE	0.26316	1.36	0.4793
1311	4.3	35.3	PINEROLO	0.28947	1.41	0.4798
1502	4.8	95.8	TARANTASCA	0.31579	1.46	0.5014
1449	4.3	109.9	PINASCA	0.34211	1.52	0.5034
1878	4.3	31.6	VILLANOVA	0.36842	1.58	0.5057
1785	4.8	60	M. ORSIERA	0.39474	1.65	0.5214
1886	4.95	75.6	VAL DI SUSÀ	0.42105	1.73	0.526
1507	4.3	63.4	PINASCA	0.44737	1.81	0.5269
1971	4.3	103	CELLE DI MACRA	0.47368	1.9	0.5306
1849	4.3	18.2	LIMONE	0.5	2	0.5608
1611	4	75.9	Luserna	0.52632	2.11	0.5637
1955	4.07	104.6	ALPI COZIE	0.55263	2.24	0.5829
1892	4.3	5.2	LIMONE	0.57895	2.38	0.5948
1878	4.8	94.2	S.DAMIANO	0.60526	2.53	0.6007
1956	4.3	91.9	M. VISO	0.63158	2.71	0.605
1914	5.08	35	TAVERNETTE	0.65789	2.92	0.6083
1887	4	90.8	S.DAMIANO	0.68421	3.17	0.628
1943	4.4	18.3	VAL DI SUSÀ	0.71053	3.45	0.632
1958	4.1	92.1	DRONERO	0.73684	3.8	0.6447
1969	4.22	12.3	GIAVENO	0.76316	4.22	0.6636
1901	4.3	2.2	BOVES	0.78947	4.75	0.6649
1584	4.6	65.1	DRONERO	0.81579	5.43	0.6963
1835	4.3	50.6	Boves	0.84211	6.33	0.7113
1980	4.7	74	GIAVENO	0.86842	7.6	0.7214
1885	4.3	97.9	LIMONE	0.89474	9.5	0.763
1753	4.92	20.2	Valle del Chisone	0.92105	12.67	0.7718
1550	4.6	70.9	CUNEO	0.94737	19	0.9132
1808	5.55	21.2	Valle del Pellice	0.97368	37.99	1.0115

Latitudine del sito(°): 45.1334      Longitudine del sito (°): 7.1207

Tempo di ritorno (anni): 200      Rapporto Ma/Ml: 1.0671

Magnitudo attesa al sito (Richter) (Ma): 7.412

Magnitudo minima necessaria per la liquefazione (Richter) (Ml): 6.946

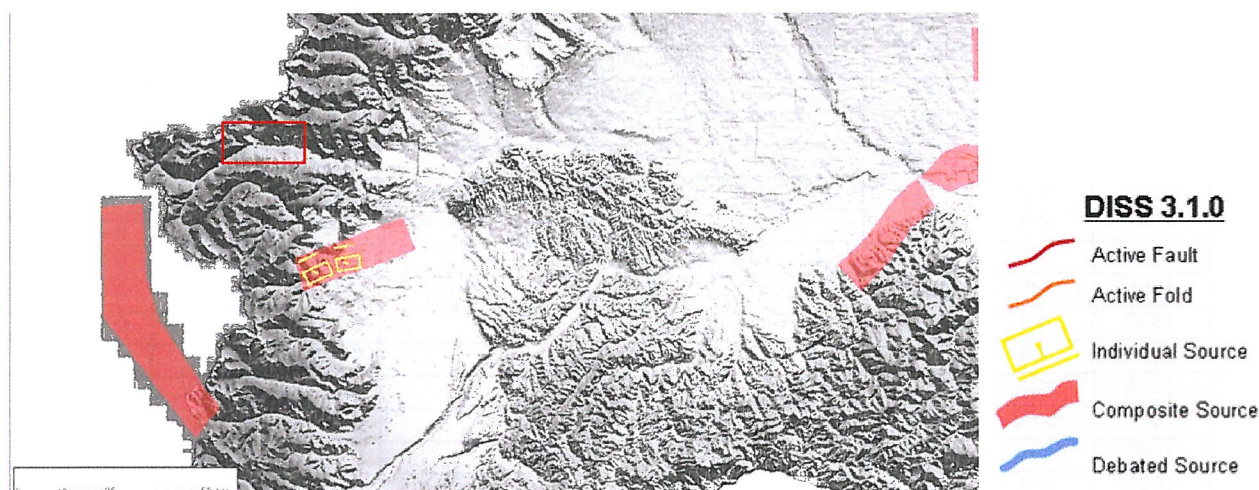
**Figura 13** – Stima del rischio di liquefazione per l'area della zona a nord dell'imbocco est di Bussoleno fonte: elaborazione del software Liquef2.2 della ProgramGeo, che utilizza i dati del Catalogo sismico italiano (area 908 – zona sismogenetica ZS9)

Anno di esecuzione	Codice sondaggio	Soggiacenza falda < 15 m	Presenza livelli fini tra 0 e 15 m dal p.c.
2010	S65	NO	SI (riporto)
2010	S66	NO	NO
2010	S67	NO	NO
2012	S68	NO (?)	NO
2012	S68/2	NO (?)	NO
2012	S69	NO	SI (naturale)
2012	S71	NO	NO
2010	S72	NO	SI (riporto e naturale)

**Tabella 5** – Presenza delle condizioni stratigrafiche per cui si può verificare liquefazione in caso di simsa nei sondaggi terebrati da LTF. Si precisa che i dati relativi ai sondaggi 2012 sono disponibili in versione preliminare.

### 6.3.5 Zone suscettibili di instabilità – faglie attive e capaci

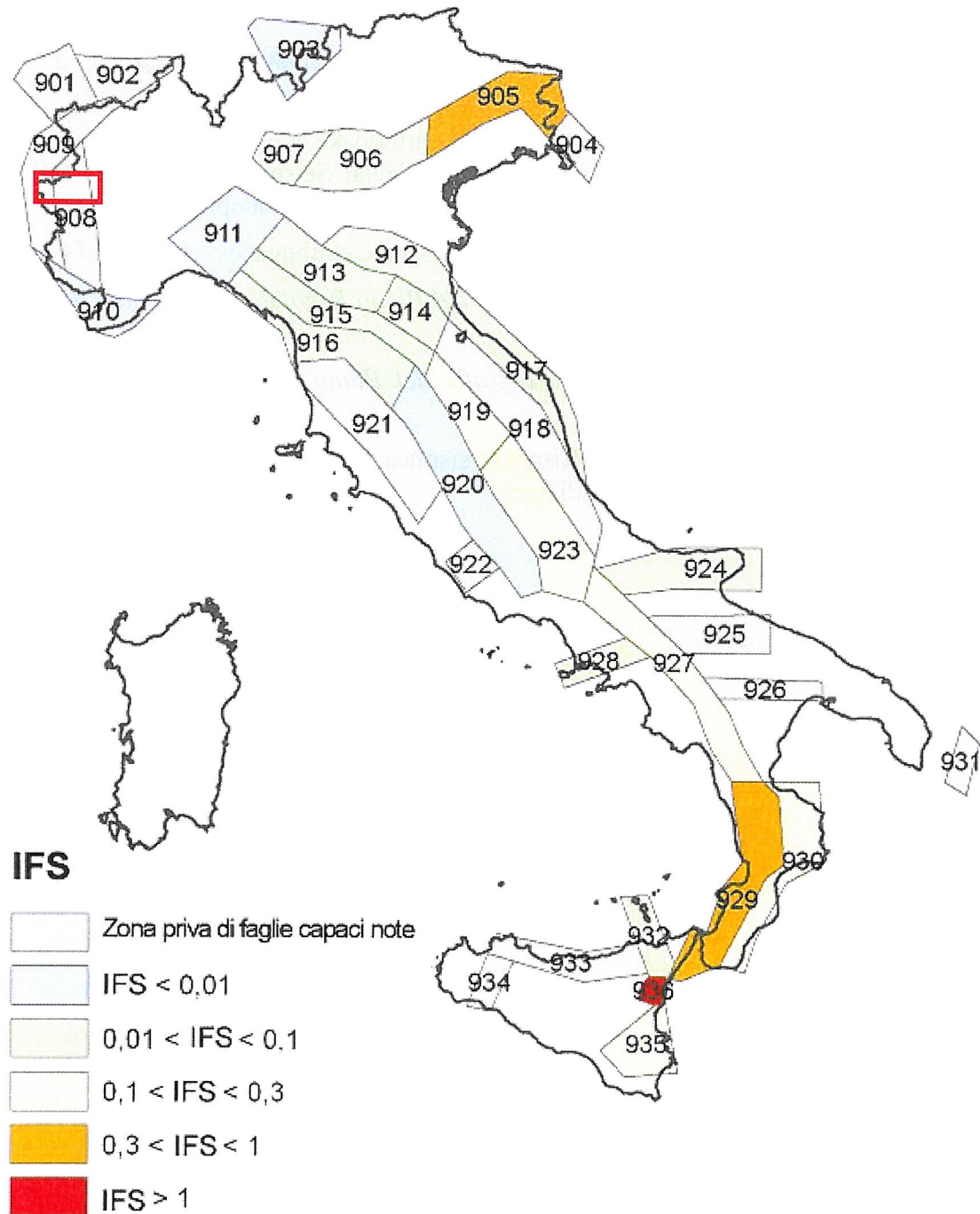
I dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Basili R., et al., 2008; DISS Working Group, 2009) concernenti le faglie attive presenti nel "Database of Individual Seismogenic Sources" (DISS) non riportano per la Valle Susa strutture note sismicamente attive (Figura 14).



**Figura 14** – Stralcio webgis DISS. Il rettangolo rosso indica l'aea del progetto

Nella successiva figura, che riporta la mappatura dell'Indice di Fagliazione Superficiale (IFS – fonte: si evidenzia come nell'area interessata dal tracciato di progetto non vi siano “faglie capaci”, ovvero faglie attive in grado di produrre, attraverso terremoti morfogenici (Caputo, 2005), fagliazione superficiale, dislocazioni e/o deformazioni significative della superficie terrestre o in prossimità di essa (IAEA, 2003).





Fonte: APAT, INGV

**Figura 15** - Classificazione delle zone sismogenetiche ZS9 in funzione dell'indice IFS (Indice di Fagliazione Superficiale). Il rettangolo rosso indica l'area interessata da progetto: si evidenzia come non siano presenti faglie capaci nell'area. Estratto da <http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/annuario-2009/14-rischio-naturale.pdf>.

### 6.3.6 Zone suscettibili di instabilità – cedimenti differenziali

Il possibile verificarsi di cedimenti differenziali a causa di eterogeneità granulometriche nei livelli costituenti i terreni di fondazione, può verificarsi in alcuni livelli presenti nelle zone 6, 7 e 8.

## 7. Bibliografia

**AA.VV., Dipartimento della Protezione Civile (2008)**- “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” - APAT

**Ambraseys (1988)** – Engineering seismology: earthquake engineering and structural dynamical.

**Basili R. et al. (2008)** - The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake - Tectonophysics, Volume 453

**Caputo (2005)** - Ground effects of large morphogenic earthquakes - Journal of Geodynamics

**Fontan D. (2008)** - *Relazione e cartografie del Piano Regolatore Comunale del Comune di Susa*. Sea Consulting s.r.l.

**Fontan D. (2008)** - *Relazione e cartografie del Piano Regolatore Comunale del Comune di Bussoleno*. Sea Consulting s.r.l.

**Lanzo G., Silvestri F., (1999)**. Risposta sismica locale: teoria ed esperienze. - Argomenti di Ingegneria Geotecnica, Hevelius Edizioni.