

# LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

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

## APPROFONDIMENTI PROGETTUALI

APPROFONDIMENTI PER OSSERVAZIONI REGIONE PIEMONTE  
Riscontro Osservazioni nn. 8, 10, 11 (rif. lettera prot. n. CTVA-2014-0812 del 06/03/2014)

GENERALE  
COMPLEMENTI DI GEOLOGIA - NEOTETTONICA E SISMICITA'

### Relazione del rischio sismico

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/05/2014	Première diffusion / Prima emissione	D. FONTAN D. GRANDIS (SEA)	A. DEMATTEIS. V. GRISOGLIO	L.CHANTRON C. OGNIBENE
A	10/06/2014	Reception observations LTF / Recepimento osservazioni LTF	D. FONTAN D. GRANDIS (SEA)	A. DEMATTEIS. V. GRISOGLIO	L.CHANTRON C. OGNIBENE

  
**Tecnimont**  
**Civil Construction**  
Dott. Ing. Carlo Ognibene  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 8366 T

  
**Tecnimont**  
**Civil Construction**  
Dott. Ing. Francesco Magnorfi  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 8231 J



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

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3B	//	//	00	05	94	10	01
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
//



LTF sas - 1091 Avenue de la Boisse - BP 80631 - F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 - Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 - TVA FR 03439556952  
Propriété LTF Tous droits réservés - Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

## SOMMAIRE / INDICE

<b>SOMMAIRE / INDICE</b> .....	2
RESUME/RIASSUNTO .....	3
1. PREMESSA .....	8
2. PERICOLOSITÀ SISMICA DI RIFERIMENTO PER IL TERRITORIO NAZIONALE E REGIONALE .....	9
3. LA MICROZONAZIONE SISMICA - CONSIDERAZIONI GENERALI .....	10
4. LA MICROZONAZIONE SISMICA IN BIBLIOGRAFIA: L'ESEMPIO DEL PRGC DI SUSÀ .....	11
4.1    Franosità .....	11
4.2    Fattori Geolitologici (Categorie Suoli NTC 2008) .....	11
4.3    Effetti della topografia .....	12
4.4    Effetti di bordo in valli alluvionali .....	13
4.4.1    Descrizione .....	13
4.4.2    Codici di calcolo .....	14
4.4.3    Studi precedenti .....	15
4.4.4    Scelta dell'accelerogramma .....	15
4.4.5    Area di studio .....	15
4.4.6    Conclusioni .....	17
4.5    Liquefazione .....	17
4.5.1    Aspetti normativi .....	18
4.6    Stralcio della carta del PRGC di Susa .....	19
5. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA NELLE AREE DI PROGETTO .....	22
5.1    Dati ottenuti dalle indagini in situ .....	22
5.2    Elaborazione di nuova carta della pericolosità sismica .....	24
5.2.1    Zone Stabili .....	25
5.2.2    Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali .....	25
5.2.3    Zone suscettibili di instabilità – aree in frana .....	26
5.2.4    Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione .....	26
5.2.5    Caratteristiche della Piana di Susa e di Bussoleno .....	27
5.2.6    Sito di Clarea .....	38
5.2.7    Siti di Caprie e Torrazza .....	38
5.2.8    Zone suscettibili di instabilità – faglie attive e capaci .....	40
5.2.9    Zone suscettibili di instabilità – cedimenti differenziali .....	41
6. BIBLIOGRAFIA .....	42

## 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 du 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

Les investigations géophysiques MASW réalisées dans la Piana de Susa ont donné des valeurs de  $V_s$ , 30 variant entre 553 et 637 m/sec, caractéristiques d'un sol de type B. Cependant, la faible profondeur (10-15 m) du substrat sismique ( $V_S > 800$  m / s) et la vitesse réduite des dépôts en-dessus, suggèrent une classification des sols comme type E.

Dans la plaine de Suse, bien que la magnitude maximale  $M_w$  de la zone sismogénique ZS9 est égal à 6,14 et l'accélération maximale de référence est supérieure à 0,10 g, sur la base des données disponibles, des phénomènes de liquéfaction peuvent être exclues parce que la profondeur de la nappe phréatique est en moyenne autour de 30 m et les courbes granulométriques ne sont pas inclus dans les intervalles de la norme.

### Bussoleno – area imbocco est tunnel interconnessione

Les investigations géophysiques MASW

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 I-INGV non sono presenti faglie capaci.

### Piana di Susa

Le indagini geofisiche MASW realizzate nella Piana di Susa hanno fornito valori di  $V_s$ , 30 variabili tra 553-637 m/s caratteristici di un suolo tipo B. Tuttavia la bassa profondità (10-15 m) del substrato sismico ( $V_S > 800$  m/s) e le velocità ridotte della copertura sovrastante suggeriscono una classificazione dei depositi come suolo di tipo E (interpretazione geofisica).

Nella piana di Susa, sebbene la magnitudo massima  $M_w$  della zona sismogenetica ZS9 è pari a 6.14 e l'accelerazione massima di riferimento è maggiore di 0.10g, in base ai dati disponibili si escludono fenomeni di liquefazione poiché la soggiacenza della falda si attesta mediamente attorno a 30 m ed i fusi granulometrici non sono compresi negli intervalli normativi.

### Bussoleno – area imbocco est tunnel interconnessione

La prospezione sismica P6 eseguita in

réalisées dans la Piana de Susa ont donné des valeurs de  $V_s$ , 30 variant entre 553 et 637 m/sec, caractéristiques d'un sol de type B. Cependant, la faible profondeur (10-15 m) du substrat sismique ( $V_s > 800$  m/s) et la vitesse réduite des dépôts en-dessus, suggèrent une classification des sols comme type E.

Les données obtenues à partir d'essais SPT réalisés dans les sondages de ce secteur sont en accord avec la classification proposée sur la base des résultats de l'essai MASW.

Avec les données disponibles, il n'est pas possible d'exclure la présence de lentilles continues de dépôts sableux/limoneux, potentiellement susceptibles de se liquéfier. Pour cette raison, il a été appliqué le Critère de Ambraseys (1988) en utilisant le programme de calcul *LIQUEF (Programgeo)*. Les résultats obtenus montrent valeurs  $F_s$  inférieure à 1, indiquant une très faible probabilité de liquéfaction.

#### Site di Clarea

Compte tenu des caractéristiques granulométriques de sols présents il n'y a pas de conditions de susceptibilité à la liquéfaction.

#### Caprie et Torrazza - sites de stockage

Sur la base des données disponibles, le secteur du site de stockage de Caprie est constitué en partie par des terrains de catégorie de sous-sol A (rocher ou terrains très rigides) et en partie par des alluvions, qui sur la base des résultats de l'essai géophysique P8 ( $V_s$ , 30 d'environ 250 m/s) sont attribuables à la catégorie C de sol.

En ce qui concerne la susceptibilité à la liquéfaction, pour le site de Caprie, les conditions 1 et 2 (DM 14 Janvier 2008) sont satisfaites, mais aucune donnée n'est disponible concernant les caractéristiques granulométriques, la position de la nappe et les caractéristiques de résistance pénétrométrique des terrains; ne sont donc pas disponibles des données suffisantes pour évaluer la possible susceptibilité à la liquéfaction, cependant nous estimons qu'il

prossimità della zona di cantiere ha fornito un valore medio di  $V_{s,30}$  pari a circa 560 m/sec (categoria di suolo B). Tuttavia la bassa profondità (mediamente attorno a 15 m) del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) e le velocità ridotte misurate in superficie suggeriscono una classificazione dei depositi come suolo di tipo E (interpretazione geofisica).

I dati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi di questo settore sono in accordo con la classificazione attribuita con i risultati dell'indagine MASW.

Con i dati a disposizione non è possibile escludere la presenza di lenti di depositi sabbiosi/limosi continue, potenzialmente suscettibili di liquefazione. Per tale ragione è stato applicato il Criterio di Ambraseys (1988) utilizzando il programma di calcolo *LIQUEF (Programgeo)*. I risultati ottenuti evidenziano valori di  $F_s$  minori di 1, indicando una probabilità alla liquefazione molto bassa.

#### Sito di Clarea

Sulla base delle caratteristiche granulometriche dei terreni presenti non sussistono le condizioni per la suscettibilità alla liquefazione.

#### Caprie e Torrazza – siti di deposito

Sulla base dei dati disponibili 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, che sulla base dei risultati dell'indagine geofisica P8 ( $V_s,30$  pari a circa 250 m/sec) sono riconducibili alla categoria C di sottosuolo.

Per quanto riguarda la suscettibilità a liquefazione, per il sito di Caprie le condizioni 1 e 2 (DM 14 gennaio 2008) sono soddisfatte ma non sono disponibili dati relativi alle caratteristiche granulometriche, alla posizione della falda e alle caratteristiche di resistenza penetrometrica dei terreni; non sono pertanto disponibili dati sufficienti per valutare

est peu probable.

Sur la base des logs des forages disponibles en bibliographie pour le site de Torrazza Piemonte et des résultats de l'investigation géophysique P8 ( $V_s$ , 30 entre 382 et 387 m/s), le site peut être attribuée à la catégorie sismique B.

Toutefois, en raison de la proximité des valeurs obtenues avec la valeur limite inférieure de la classe B de l'absence du substrat sismique de, prudemment nous considérons les terrains comme appartenant à la catégorie C.

En ce qui concerne le site de Torrazza, les accélérations maximales atteintes au sol sont inférieures à 0,1g et donc en cohérence avec la norme en vigueur, la vérification de la susceptibilité à la liquéfaction peut être omise.

l'eventuale suscettibilità alla liquefazione, che si ritiene tuttavia poco probabile.

Sulla base delle stratigrafie dei sondaggi disponibili nell'area del sito di Torrazza Piemonte, desunte da ricerca bibliografica, e dei risultati dell'indagine geofisica P9 ( $V_{s,30}$  variabili tra 382 e 387 m/s), il sito può essere attribuito alla categoria sismica B. Tuttavia data la prossimità dei valori ottenuti con il valore limite inferiore della classe B e l'assenza del substrato sismico, cautelativamente possiamo considerare i terreni come appartenenti alla categoria C.

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

**AVVERTENZA:** In rosso sono riportate le modifiche apportate al documento consegnato in fase di progettazione definitiva (PD2\_CB3\_TS3\_0051 B: Relazione del rischio sismico), adottate per rispondere alle osservazioni n. 8, 10 e 11 della Regione Piemonte (rif. lettera prot. n. CTVA-2014-0812 del 06/03/2014):

8. *"La classificazione dei suoli dal punto di vista della risposta sismica deve essere basata sui dati delle prove sismiche alte a determinare direttamente il parametro  $V_{s30}$ , come previsto dal D.M. 14.1.2008, anziché sui dati delle prove penetrometriche standard; per le valutazioni di carattere geotecnico, vista la rilevanza dell'opera, si chiede di prendere in considerazione anche i valori caratteristici, anziché considerare i soli valori nominali desunti dalle prove geotecniche."*
10. *"Risposta sismica locale. Ai fini di aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, si richiede venga predisposta un'analisi della risposta sismica locale non semplificata per i siti interessati da opere ed infrastrutture significative dal punto di vista strutturale, da utilizzare nello sviluppo della progettazione esecutiva delle opere. In tale ambito si sottolinea l'importanza che vengano condotte modellazioni in campo 2D (ed eventualmente 3D), al fine di tener conto delle possibili influenze derivanti dalla specifica conformazione valliva. AI proposito, si osserva, tra l'altro, che anche la Relazione del rischio sismico (PD2-C3B-TS3-0051 B) e la relativa Carta del rischio sismico (PD2- C3BTS3-0052 A), già segnalano, in via preliminare, ambiti da sottoporre ad approfondimenti per effetti di bordo."*
11. *"Stabilità nei confronti della liquefazione. Si ricorda che ai sensi del par. 7.11.3.4 delle NTC deve sempre essere verificata la stabilità dei siti nei confronti della liquefazione. Nel caso specifico, con riferimento alle valutazioni espresse al par. 6.3.4 della Relazione del rischio sismico (PD2-C3B-TS3-0051 B), si segnala l'opportunità che per la determinazione del valore di Magnitudo ( $M$ ) venga utilizzato l'approccio cautelativo indicato al punto 2.8 degli ICMS (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica,*

*2008), che prevede l'uso del valore di MWMAX attesa per la corrispondente zona sismogenetica: nello specifico, per la zona di riferimento ZS 908 il valore MWMAX risulta di 6.14. Pertanto, devono essere riconsiderati i criteri di esclusione della verifica a liquefazione, provvedendo, nei casi eventualmente necessari, alla determinazione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione secondo i criteri individuali al par. 7.11.3.4.3 delle NTC."*

I paragrafi interessati dalle modifiche sono:

- cap. 4.4: Effetti di bordo in valli alluvionali
- cap. 4.5: Liquefazione
- cap. 4.5.1: Aspetti normativi
- cap 5: Valutazione della pericolosità sismica nelle aree di progetto
- cap 5.1: Dati ottenuti dalle indagini in situ
- cap 5.2.4: Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione
- cap 5.2.5: Caratteristiche della Piana di Susa e Bussoleno
- cap 5.2.6: Siti di Caprie e Torrazza
- cap 6: Bibliografia

Relazione del rischio sismico

---

## 1. 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 del Rischio sismico (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.

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 del Rischio sismico* in scala 1 :25.000 per le aree in cui si prevedono opere all'aperto (elaborato PD2-C3B-TS3-0052).

## 2. 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 forzosamente 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 maglia 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 riportati nell'Allegato B dalle NTC 2008). 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://esse1-gis.mi.ingv.it>).

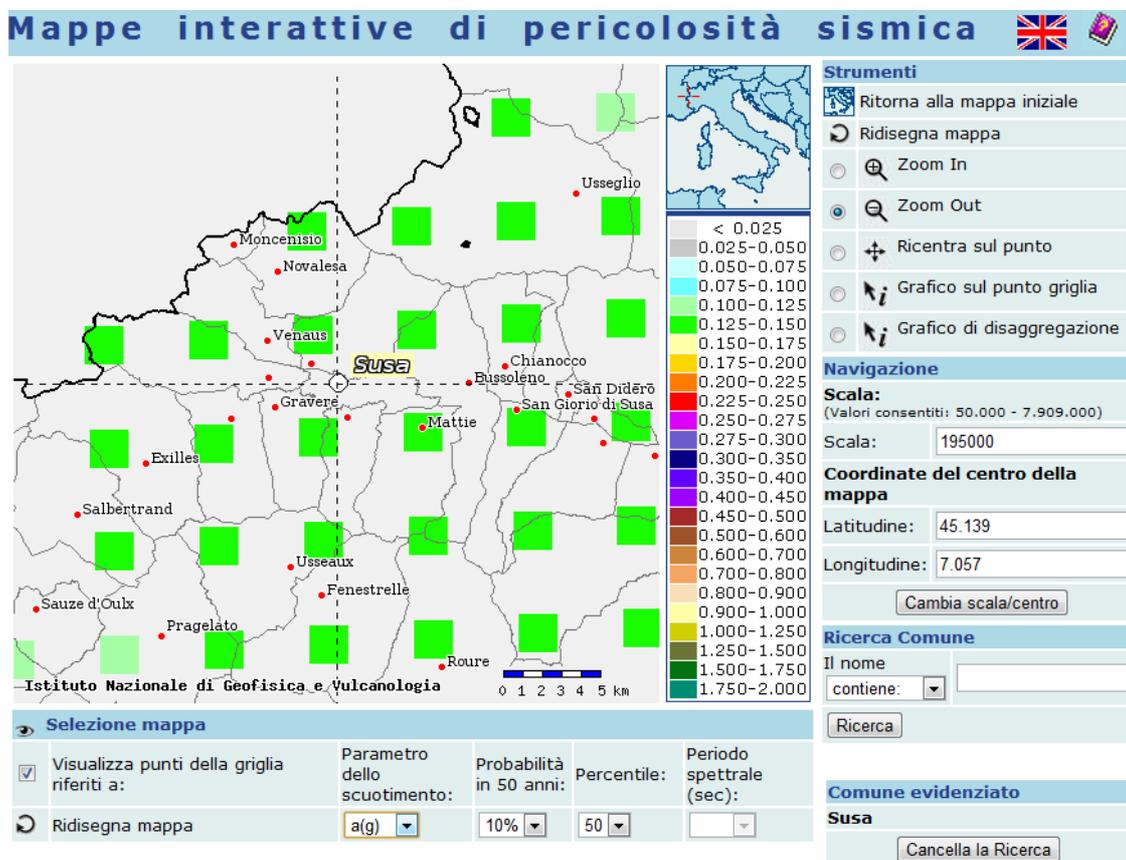


Figura 1 - Griglia con la visualizzazione dei valori di  $a(g)$  nel territorio di studio così come riportato nel webgis dell'INGV (luglio 2012).

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, siema di riferimento UTM/ED50) del punto in esame.

Il dato sismico deve essere inoltre correlato al tipo di manufatto da realizzare che condizionerà 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 della Val Susa interessati dal progetto in Zona Sismica 3, confermando per essa gli obblighi amministrativi già previsti per la precedente zona 3, e il Comune di Torrazza Piemonte in zona 4.

### 3. 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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**
- 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) allegate alla relazione geologica dello stesso.

- Campagna di indagini realizzata da LTF nell'ambito del presente progetto.

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.

#### 4. 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)

##### 4.1 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.

##### 4.2 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:

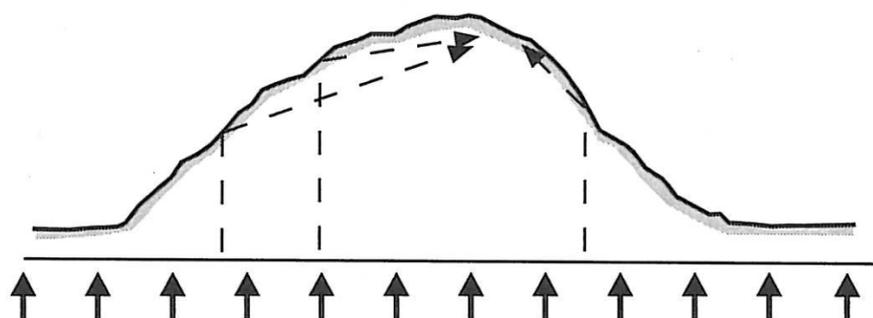
- **A:** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
- **B:** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o 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.

### 4.3 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 considerati 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 7).

#### 4.4 Effetti di bordo in valli alluvionali

##### 4.4.1 Descrizione

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 con durata prolungata, generalmente dell'ordine di decine di secondi.

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. Nella Figura 3 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.

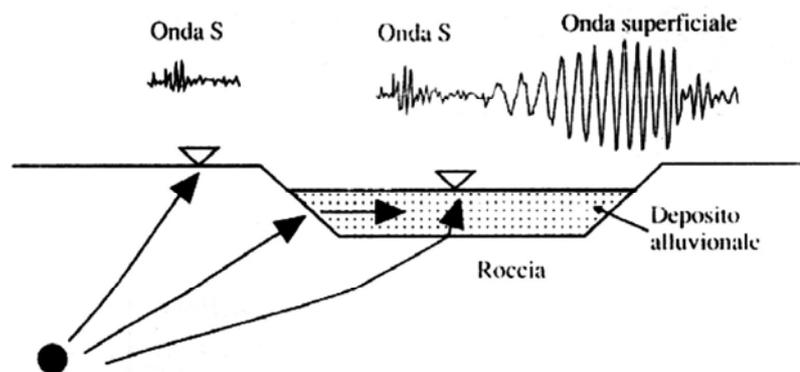


Figura 3 - Schema Schematizzazione dei fenomeni di generazione e propagazione delle onde di superficie in una valle alluvionale (Lanzo e Silvestri, 1999).

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).

Studi comparativi tra simulazioni numeriche 1-D e 2-D relativi due modelli semplificati di valli alluvionali superficiali con forma trapezoidale e valli profonde con forma a catino (es. Bard e Gariel, 1986) evidenziano che nel primo caso che il modello 1-D approssima bene quelli del modello 2-D al solo centro della valle, mentre se ne discosta avvicinandosi ai bordi, dove i fenomeni di interferenza sono più marcati. Nel secondo caso il modello 2-D fornisce una risposta molto diversa in tutte le posizioni rispetto al modello 1-D, sottostimando, rispetto a quest'ultimo, l'entità dell'amplificazione ai bordi della valle e sovrastimandola al crescere della distanza dal bordo. Da queste analisi emerge che le valli alluvionali profonde sono caratterizzate da fenomeni di interazione tra onde di volume e di superficie molto più complessi rispetto a quelli delle valli superficiali. Inoltre l'attendibilità della modellazione 1-D è limitata al centro valle per fattori di forma  $H/L$  elevati, dove  $H$  è lo spessore del deposito e  $L$  la sua semilarghezza (le valli superficiali sono caratterizzate da un fattore di forma  $H/L$  inferiore a 0.25).

#### 4.4.2 Codici di calcolo

I codici di calcolo sviluppati per le analisi bidimensionali si basano essenzialmente su due metodi fondamentali:

- i metodi ad elementi finiti (FEM) sono i più noti e sono in grado di considerare gli effetti legati alla bidimensionalità del deposito ed allo stesso tempo sono più compatibili con leggi costitutive non lineari per il comportamento del terreno. La loro forte sensibilità alle condizioni al contorno, che in corrispondenza della frontiera tra deposito e substrato, supposto infinitamente rigido, provocano riflessioni, rappresenta il maggior difetto che in genere conduce a risultati poco realistici.
- i metodi degli elementi al contorno (BEM), sono più adeguati nel rappresentare gli effetti topografici.

L'applicazione di tali metodi introduce un livello di complessità legato all'utilizzo di codici di calcolo più sofisticati che richiedono un maggiore numero di dati e quindi una maggiore affinatezza e precisione nella conoscenza geologica, geomorfologica e geotecnica dell'area di studio.

#### **4.4.3 Studi precedenti**

La carta della suscettibilità all'amplificazione sismica allegata alla proposta tecnica di Progetto Preliminare dell'adeguamento al PAI del PRGC di Susa, utilizzando criteri cautelativi propone, nei settori pianeggianti posti al piede dei versanti rocciosi, una fascia di larghezza pari a 100 m dal piede del versante con un coefficiente di amplificazione sismica pari a 1,4. Le Norme Tecniche di Attuazione permettono, sulla base di studi più approfonditi, la variazione di tale coefficiente.

#### **4.4.4 Scelta dell'accelerogramma**

Per le analisi numeriche di risposta sismica locale è necessario assegnare un moto sismico rappresentativo per il sito (di norma un accelerogramma) su affioramento roccioso ( $V_s > 800$  m/s) pianeggiante, con riferimento ad un dato periodo di ritorno  $T_R$  pari a 475 anni, utilizzando ad esempio:

1. segnali reali registrati su roccia in prossimità del sito (scelti su base deterministica);
- 2 segnali reali spettro-compatibili relativi ad altri siti con caratteristiche sismogenetiche analoghe a quello di interesse;
3. accelerogrammi spettro-compatibili generati artificialmente;
4. accelerogrammi di terremoti simulati mediante un'opportuna modellazione del meccanismo di sorgente e di propagazione.

Di norma l'input sismico è un accelerogramma reale o artificiale, con spettro elastico "sufficientemente prossimo" a quello relativo alla pericolosità sismica di base del sito definita su scala nazionale.

#### **4.4.5 Area di studio**

L'attuale morfologia della Piana di Susa è il risultato di un complesso modellamento operato da diversi agenti morfogenetici che si sono susseguiti a partire dal Pliocene, anche se solo a partire dal Pleistocene medio si hanno testimonianze. Si riconoscono forme e depositi associate al modellamento glaciale i cui relitti sono conservati prevalentemente alla fronte e ai lati dell'originaria massa glaciale, la cui distribuzione consente di ricostruire le fasi principali di espansione e di ritiro del ghiacciaio vallivo. Dopo l'ultimo ritiro, la morfologia glaciale è stata rimodellata ad opera dei processi di dinamica fluviale della Dora Riparia, fluviale torrentizia dei bacini laterali e dei processi gravitativi di versante.

Dopo la fase di massima espansione dell'ultima glaciazione (Pleistocene sup., Last Glacial Maximum - LGM) nella valle principale persisteva ancora il ghiacciaio della Val Cenischia, trasformando la media Val di Susa in valle sospesa ("gradino di Gravera").

La geometria della valle Susa in corrispondenza della stazione internazionale di Susa, area su cui si prevedono numerose opere d'arte, è condizionata, dal punto della previsione degli effetti di bordo dalla particolare e complessa geometria del basamento roccioso. Sulla base dei dati di terreno e dei pochi sondaggi profondi è ipotizzabile la presenza di morfologie sepolte a prosecuzione delle dorsali in roccia della Brunetta e delle Gorge di Susa e probabilmente del torrente Cenischia. Nelle due sezioni, orientate all'incirca N-S (Figura 4) è ipotizzato in modo schematico il probabile andamento del substrato sepolto in corrispondenza del concentrico di Susa, dove affiora in corrispondenza di Via Ortigara, di Via Oulx/Montegrappa e della della "Brunetta", e l'andamento a valle dell'autoporto. Il substrato roccioso, posto presumibilmente a profondità di circa 30-50 m in corrispondenza del concentrico di Susa, verso valle si approfondisce notevolmente come testimoniato dai sondaggi S66 e 504 terebrati presso

l'autoporto che sebbene spinti rispettivamente a 130 e 100 m non hanno intercettato il substrato roccioso.

La geometria della zona di transizione non è nota. Tuttavia si propongono due ipotesi.

Nella prima le dorsali sepolte si raccordano dolcemente come indicato in Figura 4. Nella seconda, dato che la “zona di transizione“ è coincidente con l'andamento della cosiddetta “Zona di taglio Susa-Colle delle Finestre (ZTMF)”, importante struttura a direzione media NNE-SSW che si estende dal colle delle Finestre fino a Susa (Cadoppi et al., 2002), detta zona potrebbe essere più brusca e coincidere con il “gradino di faglia”. Nel tratto della Val Susa, dove la struttura è ben visibile, studi sulla distribuzione ed età delle tracce di fissione (Cadoppi et al., 2002b, Cadoppi e Tallone, 2002) indicano probabili movimenti polifasici (da trascorrente destra a normale) a partire dal Burdigaliano fino al Plio-Pleistocene, come testimoniato da piccole faglie N-S che dislocano i depositi glaciali presso la Chiesetta di Seghino.

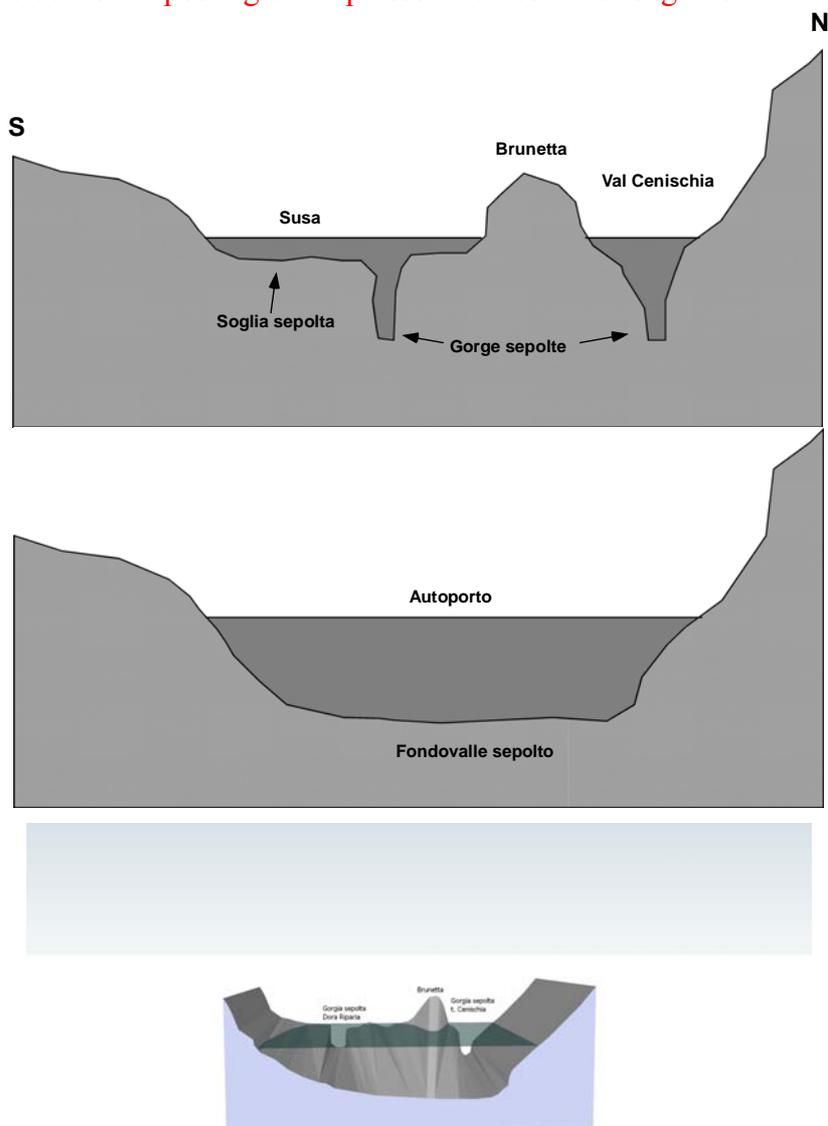


Figura 4 - Sezioni schematiche orientate N-S passanti per il concentrico di Susa (in alto) e per l'Autoporto. Si notano la soglia sepolta e le due gorge, anch'esse sepolte, il cui fondo si dovrebbe trovare a circa 460 m. Nel modello 3D proposto in basso è visualizzata la prima ipotesi.

#### 4.4.6 Conclusioni

Nelle simulazioni è particolarmente delicata la fase di schematizzazione del deposito, o meglio della sezione di analisi prescelte, delle quali dovrà essere nota con sufficientemente precisione la geometria sepolta e superficiale e la composizione stratigrafica (ricavata da sondaggi o prove geofisiche), nonché le caratteristiche fisico-meccaniche e geotecniche dei singoli strati, non solo con la profondità ma anche in direzione areale.

Quando le informazioni relative alla geometria del deposito non siano note o comunque non si ritengano affidabili e soprattutto quando la morfologia sepolta risulta fortemente irregolare e non siano presenti particolari simmetrie che consentano di ridurre l'analisi della risposta sismica locale a poche sezioni, come nel caso della piana di Susa, la qualità e l'affidabilità dei risultati ottenuti non sono in grado di descrivere completamente il problema dell'amplificazione del moto sismico in una situazione complessa.

Un'altra condizione critica è rappresentata dalla scarsa conoscenza dei parametri fisico-meccanici dei terreni in funzione della profondità. A tal fine si segnala che non vi sono praticamente dati, se non per il volume di terreno interessato dalle opere, molto superficiali rispetto alla profondità della valle, dei sopraccitati parametri tra cui i principali sono il peso dell'unità di volume dei terreni e del substrato ( $\gamma=\rho g$ ), la velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ) e di compressione ( $V_P$ ) nei terreni e nel substrato e le leggi di variazione di rigidità a taglio ( $G$ ) e smorzamento ( $D$ ) dei terreni con la deformazione tangenziale  $\gamma$ .

Vista la complessa geometria del substrato sepolto e la scarsa conoscenza delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni in funzione della profondità, la modellazione 2D/3D dell'effetto di bordo non è stata eseguita.

L'esecuzione delle simulazioni numeriche per quantificare l'effetto di bordo potranno essere eseguite sulla base dei risultati di indagini volte a determinare con maggior dettaglio la geometria della valle sepolta, la stratigrafia profonda e i parametri fisico – meccanici dei terreni e delle rocce presenti.

Nonostante questo, l'analisi sismica è considerata adeguatamente supportata da poter essere considerata valida in questa fase progettuale.

#### 4.5 Liquefazione

Con il termine "liquefazione" s'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.

La liquefazione dei sedimenti è uno dei fenomeni idrogeologici più evidenti che possono essere causati da un terremoto in zone come pianure alluvionali e pianure costiere, caratterizzate da importanti spessori di depositi prevalentemente costituiti da sedimenti fluviali (argille, limi e sabbia).

Nei depositi limosi e sabbiosi non consolidati e saturi di acqua (che è incompressibile), lo scuotimento sismico può causare il trasferimento della pressione dai contatti fra i granuli del sedimento all'acqua interstiziale (presente fra un granulo e l'altro). Quando un simile deposito si trova confinato tra due strati impermeabili (limi e argille ad esempio), la pressione dell'acqua cresce sino a un punto critico sorpassato il quale annulla la pressione tra i granuli e tutto il deposito (sedimento più acqua) si comporta come un fluido ovvero si liquefa (*Figura 5*). Il

fenomeno della liquefazione durante lo scuotimento sismico si origina preferibilmente in sedimenti posti tra 1 e circa 10-15 m di profondità. Per sfogare questa pressione in eccesso il deposito liquefatto cerca una via di fuga spingendo verso zone a minore pressione, ovvero verso l'alto, attraverso fratture o condotti, di neoformazione o preesistenti, sia naturali che artificiali (pozzi per l'acqua ad esempio). (<http://www.roma1.ingv.it/ricerca/tettonica-attiva/effetti-dei-grandi-terremoti/liquefazione-da-terremoto>).

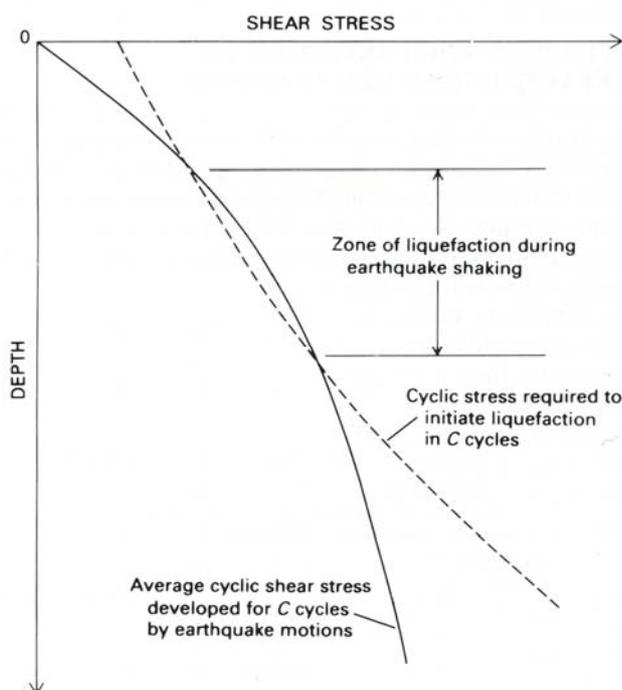


Figura 5 – Descrizione schematica che descrive i livelli di liquefazione indotti durante lo scuotimento sismico in rapporto a profondità e shear-stress (da Obermeier, 1996)

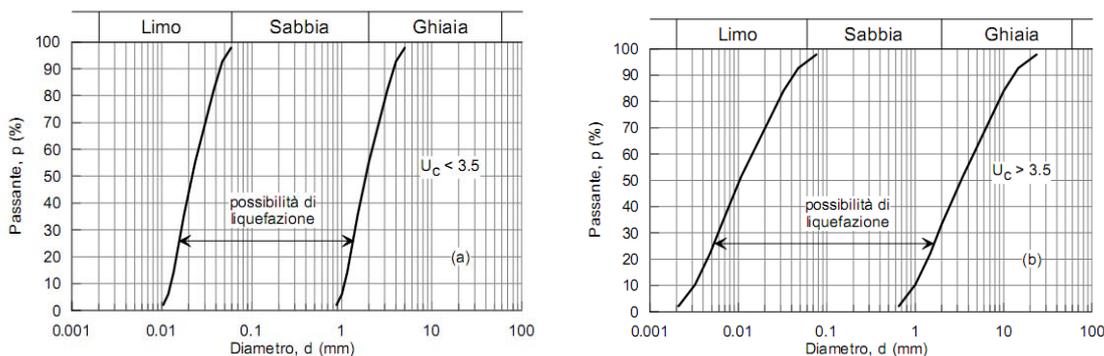
#### 4.5.1 Aspetti normativi

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008 (7.11.3.1 Risposta sismica locale), il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

Ai sensi del DM 14 gennaio 2008 (§ 7.11.3.4.2) 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  $qc_{1N} > 180$  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  $qc_{1N}$  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 6).



**Figura 6** – 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.

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 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 (7.11.3.4.3).

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.

#### 4.6 Stralcio della carta del PRGC di Susa

Nella Figura 7 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 § 4.2).

Dalla Figura 7 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 5.2.2.

Relazione del rischio sismico

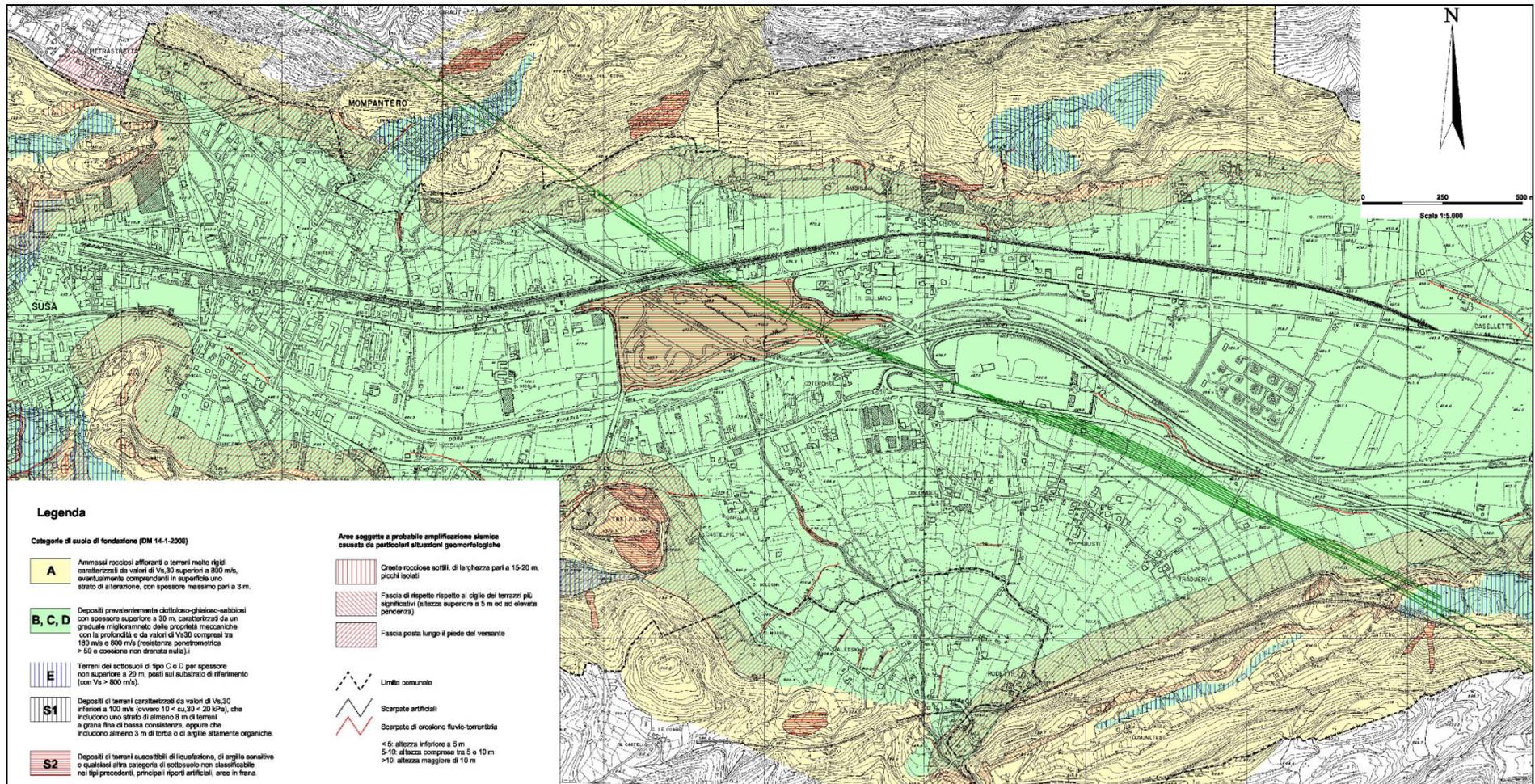


Figura 7 – Stralcio della carta di microzonazione sismica annessa al PRGC di Susa, su cui è riportato il tracciato indicativo dell'opera in progetto (linea verde)

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

Le normative vigenti prescrivono 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.

Durante la campagna di indagini eseguite da LTF nel periodo novembre-dicembre 2012 sono stati realizzate, oltre una serie di sondaggi geotecnici, alcune indagini geofisiche tipo MASW per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  ed il calcolo della  $V_{s,30}$  per la definizione della categoria sismica di sottosuolo in accordo con la normativa vigente. In particolare nelle aree di progetto sono state realizzate:

- cantiere imbocco Clarea: una prospezione sismica di tipo MASW (P7).
- cantiere imbocco cunicolo Maddalena: tre linee sismiche a rifrazione in onde di taglio e in onde di compressione (TSR1, TSR2 e TSR3); un sondaggio  $V_{s30}$  (SVs1) e due profili  $V_{s30}$  (PVs1 e PVs2).
- cantiere imbocco Mompantero: le indagini sismiche di riferimento sono quattro prove sismiche MASW (MASW1-4) realizzate in corrispondenza dell'attuale area dell'Autoporto di Susa.
- Piana di Susa: sono state eseguite complessivamente quattro prove MASW (P2-P5) per la determinazione delle  $V_{s,30}$  caratteristiche dei terreni in corrispondenza dell'area dell'attuale pista di Guida Sicura.
- cantiere innesto Bussoleno: una indagine geofisica di tipo MASW (P6).
- sito di deposito di Caprie: una indagine geofisica di tipo MASW (P8).
- sito di deposito di Torrazza Piemonte: una indagine geofisica di tipo MASW (P9).

### 5.1 Dati ottenuti dalle indagini in situ

I dati ottenuti dalle indagini in situ tipo MASW sono stati inoltre messi a confronto con i dati ottenuti dalle prove di tipo SPT, dove disponibili, realizzate nei sondaggi. In particolare sono stati considerati i risultati delle prove SPT realizzate nei sondaggi delle campagne indagini per la progettazione dell'A32 e della campagne indagini LTF del 2010 e 2012 e i dati disponibili sul portale ARPA Piemonte.

#### Cantiere imbocco Clarea

La prospezione sismica P7 eseguita in prossimità della zona di cantiere, permette di caratterizzare e classificare sismicamente le coperture quaternarie che interessano l'imbocco e le opere esterne. Il valore di  $V_{S30}$  ottenuto è di 432 m/s. La buona omogeneità delle velocità e l'assenza, entro i trenta metri di profondità, del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) suggeriscono la classificazione dei depositi come suolo di tipo B “*Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{SPT} > 50$ , o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa)*”.

### Cantiere imbocco cunicolo Maddalena

Le indagini geofisiche realizzate nel settore in oggetto hanno fornito valori di  $V_{s,30}$  piuttosto variabili, oscillanti tra circa 330 e 410 m/sec. Pertanto i terreni presenti nell'area in oggetto presentano caratteristiche al limite tra le classi B e C; in via cautelativa tali litotipi possono essere considerati appartenenti alla categoria sismica C: “*Depositi 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 (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)*”.

I valori di  $N_{SPT,30}$  ottenuti dalle prove penetrometriche che non hanno raggiunto il rifiuto realizzate nei sondaggi del settore del cunicolo Maddalena, confermano questo modello di azione sismica ( $N_{SPT,30}$  medio pari a circa 36).

### Cantiere imbocco Mompantero

Le indagini geofisiche MASW realizzate nel settore in oggetto (MASW 1-4) durante la campagna indagini del 2012 hanno fornito valori di  $V_{s,30}$  variabili tra 495 e 513 m/sec pertanto ai sensi del DM 14 gennaio 2008 il sito indagato si colloca all'interno della categoria B: “*Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{SPT} > 50$ , o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa)*”.

Con i dati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi disponibili per il settore in esame sono stati determinati i valori di  $N_{SPT,30}$  escludendo cautelativamente i dati delle prove SPT che hanno dato rifiuto; i valori ottenuti ( $N_{SPT,30}$  circa 60) indicano che i terreni attraversati ricadono nella categoria B, concordemente a quanto indicato dai risultati delle prove geofisiche.

### Piana di Susa

Le indagini geofisiche MASW realizzate nella Piana di Susa (P2-P5) hanno fornito valori di  $V_{s,30}$  variabili tra 553-637 m/s caratteristici di un suolo tipo B. Tuttavia la bassa profondità (10-15 m) del substrato sismico ( $V_S > 800$  m/s) e le velocità ridotte della copertura sovrastante suggeriscono una classificazione dei depositi come suolo di tipo E: “*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_S > 800$  m/s)*”.

I valori di  $N_{SPT,30}$  ottenuti dalle prove penetrometriche che non hanno raggiunto il rifiuto realizzate nei sondaggi del settore della Piana di Susa, confermano questo modello di azione sismica ( $N_{SPT,30}$  medio pari a 43).

### Cantiere innesto Bussoleno

La prospezione sismica P6 eseguita in prossimità della zona di cantiere ha fornito un valore medio di  $V_{s,30}$  pari a circa 560 m/sec (categoria di suolo B). Tuttavia la bassa profondità (mediamente attorno a 15 m) del substrato sismico ( $V_S > 800$  m/s) e le velocità ridotte misurate in superficie suggeriscono una classificazione dei depositi come suolo di tipo E: “*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_S > 800$  m/s)*”.

I dati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi di questo settore, ad esclusione di quelle che hanno dato rifiuto, hanno fornito un valore medio di  $N_{SPT,30}$  attorno a circa 40 che rientrano all'interno dei valori caratteristici di un suolo tipo C, in accordo con la classificazione attribuita con i risultati dell'indagine MASW.

#### Sito di deposito di Caprie

L'indagine geofisica P8 di tipo MASW ha messo in evidenza delle importanti variazioni, sia con la profondità che laterali, di velocità delle onde S. La parte NNE dello stendimento ha infatti evidenziato valori di  $V_{s,30}$  elevati (superiori a 2000 m/sec) tipici di un suolo tipo A, mentre la porzione SSW della linea ha messo in luce dei valori di  $V_{s,30}$  decisamente inferiori (circa 250 m/sec) e non è stato incontrato il substrato sismico; tale settore pertanto può essere classificato come appartenente alla categoria di sottosuolo C: *“Depositi 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 (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

#### Sito di deposito di Torrazza Piemonte

In prossimità di tale sito è stata realizzata l'indagine geofisica P9; essa ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da valori di velocità  $V_{s,30}$  variabili tra 382 e 387 m/s. Il sito indagato può essere attribuito alla categoria sismica B; tuttavia data la prossimità dei valori ottenuti con il valore limite inferiore della classe B ( $V_{s,30}$  uguale a 360 m/sec) e l'assenza del substrato sismico, cautelativamente possiamo considerare i terreni come appartenenti alla categoria C: *“Depositi 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 (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

I dati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi di questo settore, ad esclusione di quelle che hanno dato rifiuto, hanno fornito un valore medio di  $N_{SPT,30}$  inferiori a 50, confermando la classificazione realizzata con le indagini geofisiche.

## 5.2 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 8).

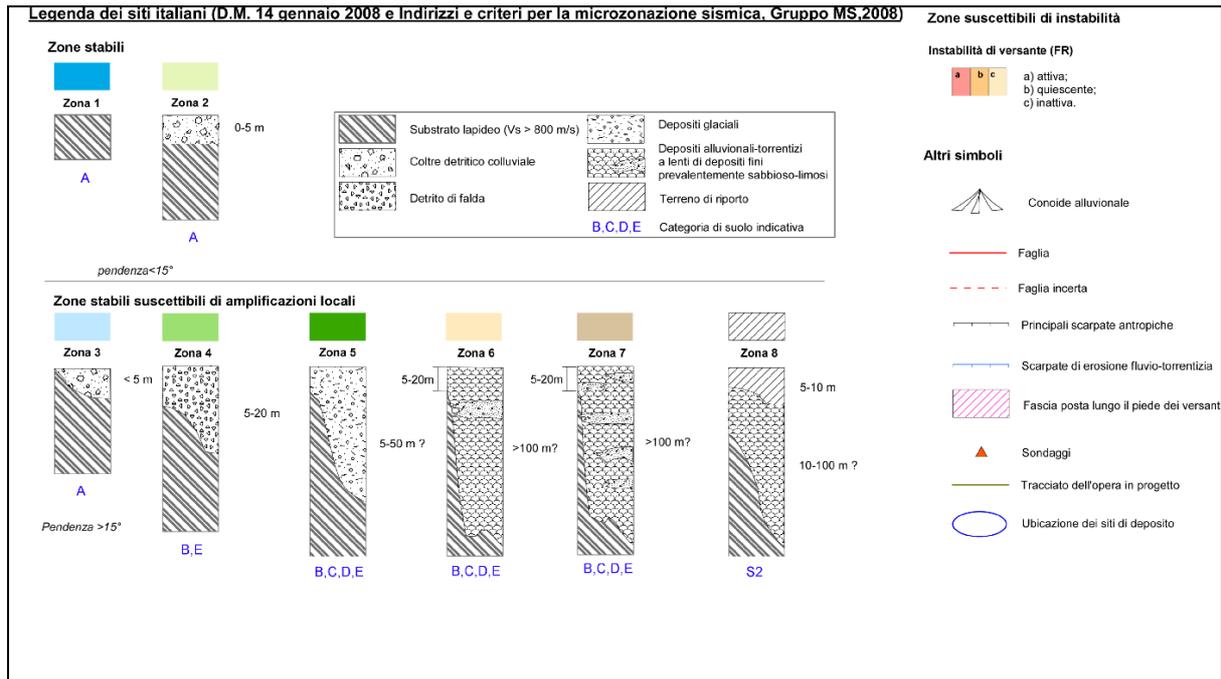


Figura 8 – Legenda della carta della suscettibilità all'amplificazione sismica (elaborato PD2-C3B-TS3-0052)

### 5.2.1 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.

### 5.2.2 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 categorie B, E.

La zona 5 corrisponde ad aree costituite da depositi glaciali indifferenziati ( $V_{s,30} < 800$  m/s), generalmente costituiti da depositi di origine fluvioglaciale, localmente cementati, con spessori molto variabili. In questa zona i terreni sono riconducibili alle categorie 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.

### **5.2.3 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

### **5.2.4 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 (descritte nel dettaglio nel capitolo 5.2.2).

### 5.2.5 Caratteristiche della Piana di Susa e di Bussoleno

Nel tratto a monte dell'abitato di Susa l'alveo è profondamente inciso nel substrato roccioso. La profonda e stretta incisione, denominata "Gorge di Susa", la presenza degli Orridi di Foresto e Chianocco sul fianco sinistro e la presenza di morfologie glaciali sul versante destro sono le caratteristiche geomorfologiche più singolari ed interessanti del paesaggio del tratto vallivo.

A valle dello sbocco delle Gorge, l'alveo della Dora risulta inciso nei depositi alluvionali di fondovalle. All'interno del concentrico di Susa fino all'Autoporto le sponde sono completamente definite da muri di difesa e l'alveotipo predominante è monocursale con un andamento debolmente curvilineo, determinato dall'aggiramento degli apparati conoidali dei Rii Giandula e Scaglione. Verso Bussoleno l'asta fluviale della Dora Riparia è di tipo monocursale blandamente sinuoso, localmente a canali intrecciati, con morfologie più meandriiformi abbandonate (loc. Dora Spanciata). L'andamento blandamente sinuoso è determinato dall'aggiramento delle parti distali dei conoidi alluvionali dei rii tributari laterali (in particolare dai conoidi del Rio Gerardo, Moletta e Prebech).

I terreni della piana alluvionale e dei conoidi alluvionali sono costituiti principalmente da depositi alluvionali non coesivi. La facies dominante è rappresentata da ghiaie sabbioso - limose e da ghiaie ciottolose con sabbie. In corrispondenza dell'asse vallivo i sondaggi si sono spinti fino a 130 metri di profondità senza raggiungere il basamento roccioso.

Sulla base dell'esame delle stratigrafie dei sondaggi si possono distinguere:

1. una litofacies predominante che costituisce la piana alluvionale della Dora Riparia e i depositi di conoide e che è rappresentata da ghiaie e ghiaie ciottolose sabbioso-ghiaiose *clast-supported*, mal stratificate, passanti a sabbie ghiaiose con stratificazione planare.
2. una litofacies limoso-sabbiosa che compare solo localmente, ed è costituita da sabbie limose, con uno spessore medio ridotto, pari a 1 - 2 metri.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati delle prove SPT in foro principalmente realizzate nella piana di Susa e Bussoleno nell'ambito della progettazione dell'A32 ad Autoporto<sup>1</sup> (SITAF) e della campagna LTF nel 2010 e 2012 e dei dati disponibili sul portale ARPA Piemonte. Nei sondaggi LTF 2010 sono stati prelevati campioni di terreno a differenti profondità all'interno dei depositi alluvionali di fondovalle e di conoide alluvionale; tali campioni sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio i cui risultati sono sintetizzati nella Tabella 4.

<sup>1</sup> SITAF – Collegamento tra Bardonecchia e Rivoli – Tronco III Deveys / Susa (Autoporto) Tratto Ramat Est / Susa Lotto 9° / Dora Autoporto - Relazione geologico – geotecnica (gennaio 1989) – Perizia di Variante tecnica e suppletiva – Allegato n° 7.1

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Sondaggio	Prova (n°)	Profondità (m da p.c.)	NSPT	Descrizione litologica
F3	1	3	48	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	5	12,6	94	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	8	18,4	86	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F4	1	3	33	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli
	6	14	75	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	10	22	80	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F6	3	3,3	31	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F7	1	4,2	46	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli
	7	17,5	81	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	9	21,5	87	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F8	1	3,3	31	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli
	7	14	88	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	10	19,4	92	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F9	1	3,8	49	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli
	4	9,9	92	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F10	1	2,2	28	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli
	6	11,5	86	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	9	16,4	84	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	11	19,6	87	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
	12	21	82	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli
F11	1	2,2	77	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli

*Tabella 1 – Risultati delle prove SPT, con esclusione delle prove andate a rifiuto, realizzate nei sondaggi SITAF della Piana di Susa.*

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	NSPT	Descrizione litologica
S1 (502)	6	40	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa
	8	54	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa
	10	48	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa
	12	69	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa
	14	58	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa
S2 (503)	2	26	ghiaia con sabbia e ciottoli
	4	48	ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa
	8	54	ghiaia media e fine con rari ciottoli
	10	60	ghiaia media e fine con rari ciottoli

Tabella 2 – Risultati delle prove SPT, con esclusione delle prove andate a rifiuto, realizzate nei sondaggi disponibili sul GeoPortale ARPA.

Sondaggio	Prova (n°)	Profondità (m da p.c.)	NSPT	Descrizione litologica
S65	2	6	59	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	3	9	66	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	6	18	65	sabbia limosa con ghiaia medio-fine
S66	1	4,5	18	terreno di riporto: sabbia medio fine con ghiaia medio grossolana (blocchi)
	7	30	54	sabbia medio-fine debolmente limosa con ghiaia medio-grossolana
S67	3	7,5	23	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa
	5	12	50	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
S72	3	21,5	29	sabbia limosa con ghiaia e ciottoli

Tabella 3 – Risultati delle prove SPT, con esclusione delle prove andate a rifiuto, realizzate nei sondaggi della campagna indagini 2010 realizzata da LTF

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

codice sondaggio	prof.campione		prova	Classificazione AGI (%)					peso volume naturale KN/m <sup>3</sup>	contenuto acqua %	LIMITI DI ATTERBERG			Triassiali CU	
	da	a		Ciottoli	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla			LL	LP	IP	φ	c
S72	7,2	7,4	C1	0	42,9	31,8	20,2	5,1							
	13,4	13,6	C2	0	48,2	21,5	23,7	6,4							
	17,6	17,7	C3	0	43,5	27,2	24,2	5,1							
	22,5	23	C4	0	41,4	29	25,3	4,3							
	27,5	27,7	C5	0	52,6	28,5	16	2,9							
S65	18,3	18,8	S65E	0	21,6	60,8	13,7	3,9	18,1	7,05	18	16	2	24	17
	12,6	13	S65D	0	41,7	36,3	16,6	5,3	18,4	7,65	19	16	3	28	22
S66	30	30,5	S66F	0,1	70,6	23	5,7	0,6	18,5	6,94	18	16	2	22	33
	35	35,5	S66G	0	14,8	62,2	17,8	5,2	18	7,09	16	15	1	24	32
	44	44,5	S66L	0,1	70	23,1	6	0,8	18,5	7,17	20	18	2	23	40
S67	15,5	16	S67D	0	59,1	24,9	14,5	1,5	18,6	7,25	21	18	3	24	20

Tabella 4 – Risultati delle prove di laboratorio realizzate su campioni provenienti dai sondaggi della campagna indagini 2010 realizzata da LTF. Le prove triassiali CU) sono state presumibilmente realizzate su provini a granulometria sabbioso-limoso.

Gli elaborati geologici adottati con proposta tecnica di progetto preliminare del 3 aprile 2014 ai sensi della LR 56/77 e s.m.i. dall'Amministrazione comunale di Susa riportano un'area posta in classe "IIS" definita come **Zona di Attenzione per la liquefazione (ZALQ - Livello 1)** posta presso il confine con Bussoleno dove vi potrebbero essere dei depositi sabbioso-limosi potenzialmente liquefacibili.

Gli elementi informativi utilizzati per la sua definizione derivano da criteri puramente geologici-tecnici desunti dal sondaggio S1 (Tabella 2, Figura 9) e da criteri geomorfologici (probabile presenza di un'ansa abbandonata):

1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di argilla sabbiosa, limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose ad una profondità minore di 20 m dal p.c.;
2. la falda è ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal piano campagna;

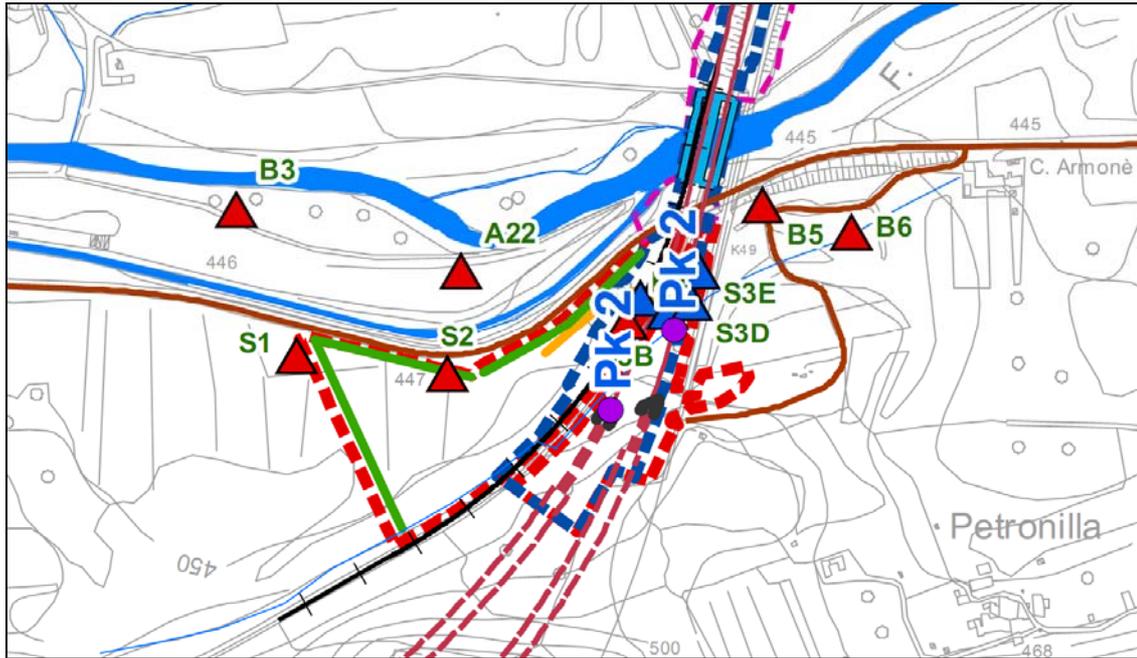


Figura 9 – Stralcio PD2\_C3B\_0144\_00-05-05\_30\_02\_Planimetria\_indagini\_eseguite\_10000\_A.Ubicazione sondaggio S1.

#### 5.2.5.1 Verifica dei punti DM 14 gennaio 2008

Sono di seguito descritte le circostanze che, ai sensi del DM 14 gennaio 2008 (§ 7.11.3.4.2), non determinano fenomeni di liquefazione:

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 D.M. 14 gennaio 2008.

#### 5.2.5.2 Magnitudo massima attesa

Secondo le raccomandazioni ICMS (2008) la magnitudo massima attesa di eventi sismici deve essere quella definita per le zone sismogenetiche ZS9. L'area ricade nella zona sismogenetica ZS9 n. 908, caratterizzata da una magnitudo massima ( $M_{w \max}$ ) pari 6.14 (Figura 10). La magnitudo massima attesa è maggiore di 5.

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Nome ZS	Numero ZS	M <sub>wmax</sub>
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

Figura 10 –Valori di Mwmax per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

### 5.2.5.3 Accelerazione

L'accelerazione massima attesa su roccia è maggiore di 0.10·g come desumibile dal D.M. 14 gennaio 2008 e dalle mappe di pericolosità di base consultabili sul sito INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) (Figura 11).

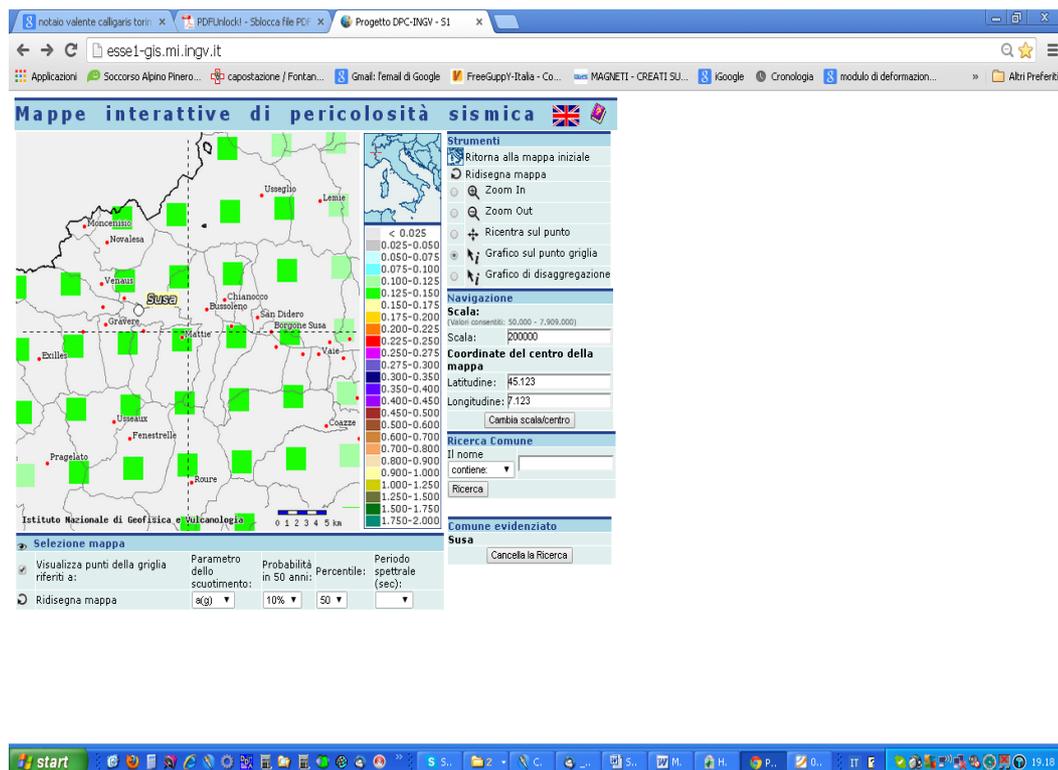


Figura 11 –Accelerazione massima attesa su roccia (da <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

#### 5.2.5.4 Profondità media della falda

##### Piana di Susa

Nell'area di fondovalle le scarse misure a disposizione indicano che è presente una falda libera con una soggiacenza media di circa 30 m; essa è apparentemente alimentata sia dall'idrografia secondaria e dalle acque provenienti dal versante. È il caso delle alimentazioni provenienti dagli ampi conoidi che bordano il fondovalle (conoidi del rio Scaglione e del rio Giandula). In questi settori la soggiacenza della falda diminuisce progressivamente verso le aree di alimentazione.

La direzione di deflusso coincide con l'asse vallivo principale. Come indicato in Figura 13 sono ipotizzabili dei flussi provenienti dai conoidi laterali con direzione trasversale alla direzione di flusso della falda di fondovalle.

Per quanto riguarda il settore d'interconnessione a valle delle gallerie, non si dispongono dati di misurazione diretta della falda freatica ma si ipotizza che essa si trovi a una profondità compresa tra 30 e 20 metri con una soggiacenza che diminuisce da ovest verso est ovvero da monte verso valle. Nel grafico che segue sono riportati gli andamenti dei livelli piezometrici rilevati nel settore della Piana di Susa durante il monitoraggio in corso LTF in relazione alla quota della Dora Riparia nello stesso settore.

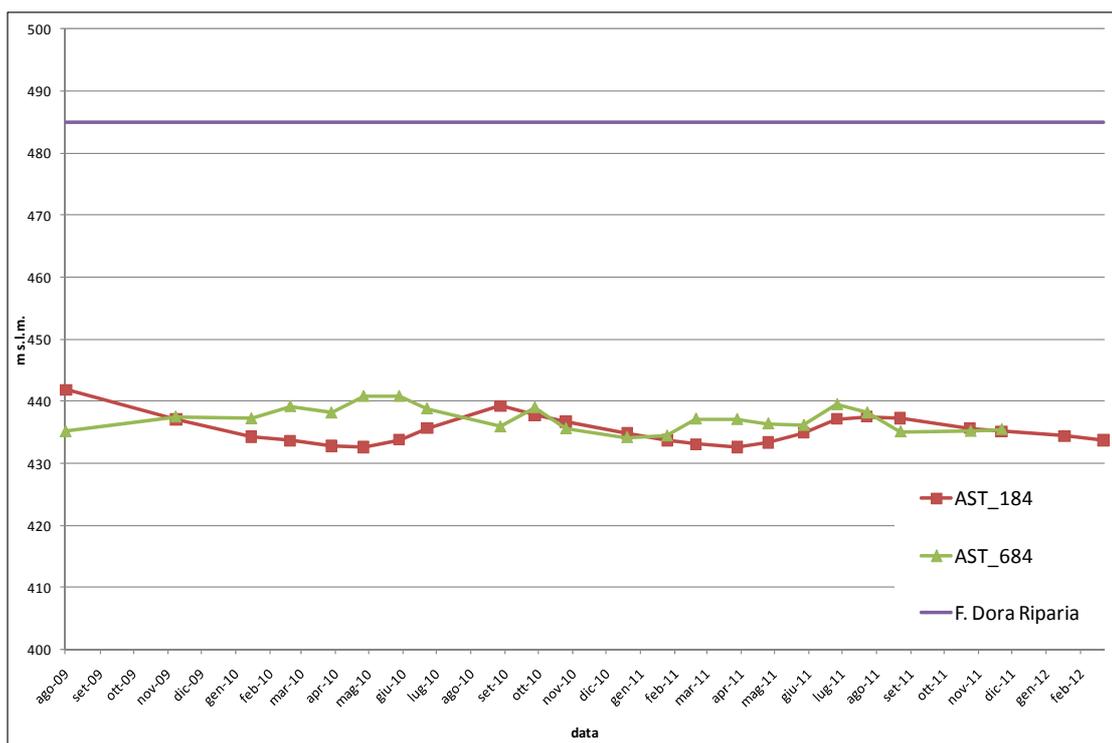


Figura 12 – Andamento della falda freatica nella Piana di Susa. L'ubicazione dei punti di misura è indicata nella figura sottostante. I punti ST684 corrispondono al sondaggio LTF S66 mentre i punti AST184 al sondaggio SITAF 504.

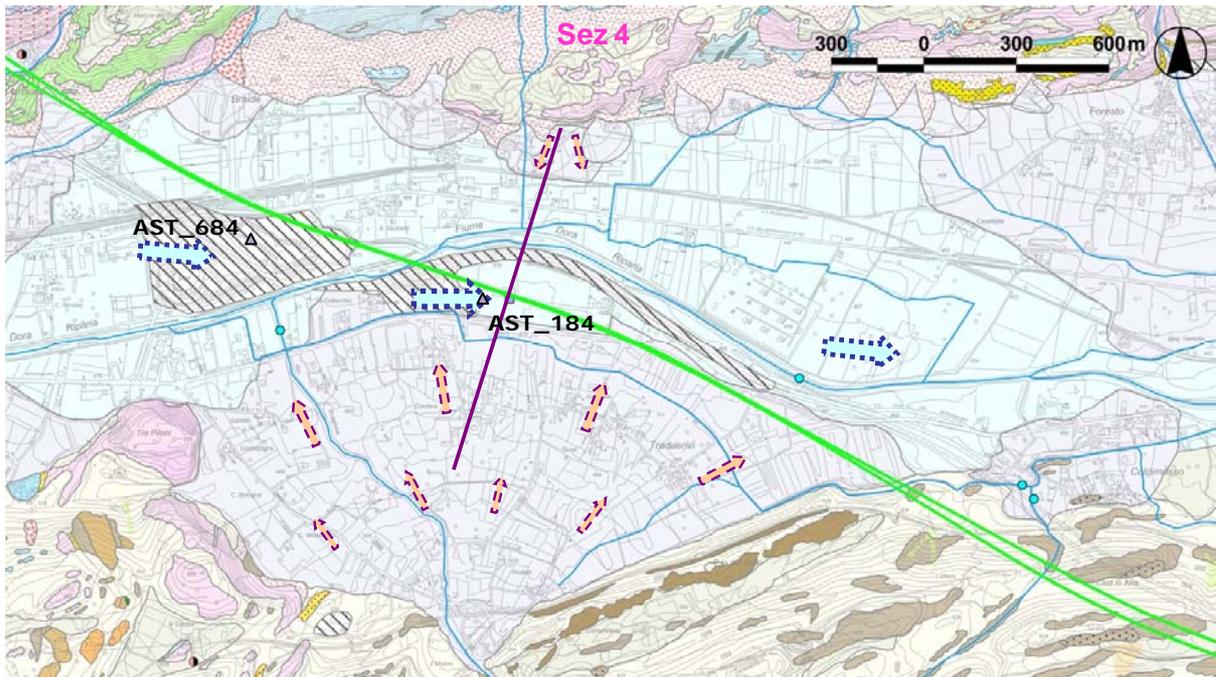


Figura 13 –Linee di flusso che indicano i circuiti idrici principali riconoscibili nel settore della Piana di Susa. Le linee azzurre indicano la direzione di deflusso della falda di fondovalle. Le linee rosa le linee di flusso associate ai flussi presenti nella vasta zona di conoidi del rio Scaglione. La sezione idrogeologica indicata in figura con la dicitura Sez.4 è riportata in Figura 14.

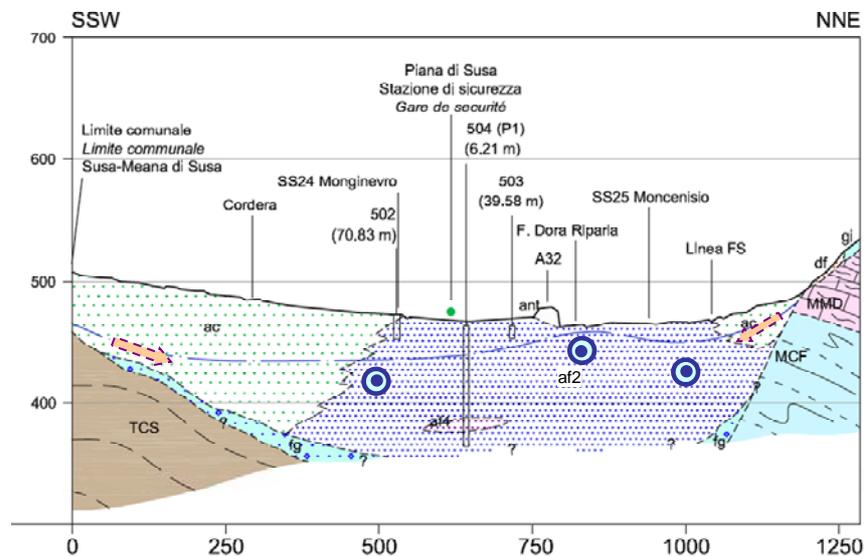


Figura 14 – Sezione idrogeologica (Sez.4 di Figura 13). I cerchi blu con il punto centrale indicano flussi uscenti verso chi guarda la figura. Sono indicati con le frecce rosa i flussi trasversali all'asse vallivo e provenienti dai conoidi laterali.

## Area Bussoleno

Nel novembre 2001, una campagna di misura piezometrica, condotta nel concentrico durante gli studi per la redazione del PRGC, ha permesso di tracciare curve isopiezometriche, con equidistanza di 5 m, da cui si evince che la falda è alimentata sia dall'idrografia secondaria e dalle

acque provenienti dal versante, sia dalla Dora Riparia (Figura 15), come accade per la Piana di Susa. Nel fondovalle alluvionale la soggiacenza media stagionale della falda è mediamente inferiore a 15 m (tra 7 e 20 m).

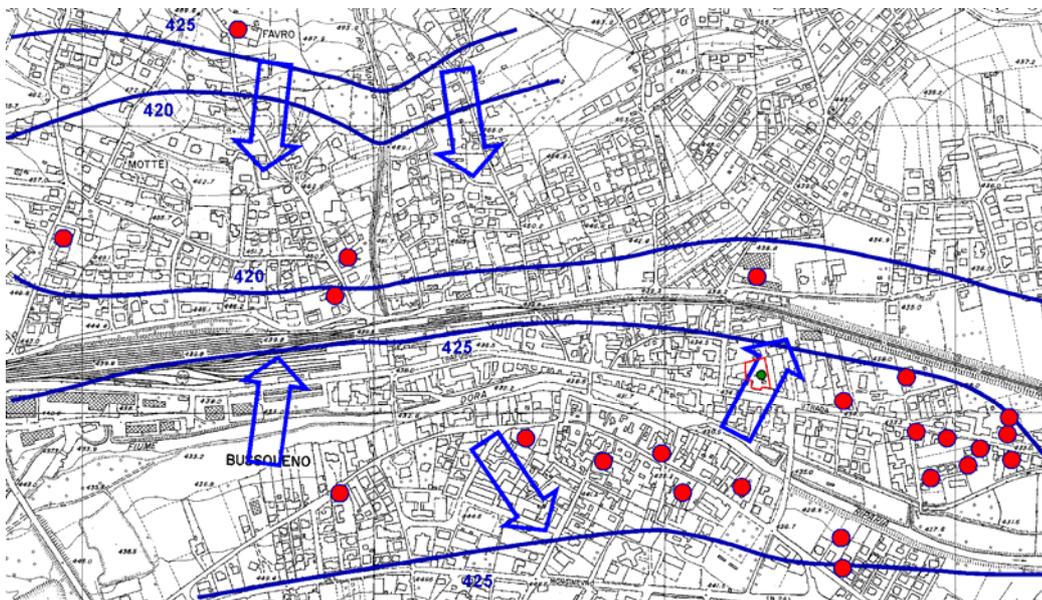


Figura 15 – Carta idrogeologica del concentrico di Bussoleno (dal PRGC di Bussoleno). Le frecce si riferiscono al flusso della falda superficiale. I punti rossi corrispondono ai pozzi censiti (fonte: PRGC).

In conclusione si può affermare che nella Piana di Susa la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m mentre, per la piana di Bussoleno i dati disponibili indicano che profondità media stagionale della falda, in alcuni settori, è inferiore a 15 m.

#### 5.2.5.5 Granulometria

L'analisi delle curve granulometriche dei campioni prelevati nei sondaggi terebrati da LTF nella Piana di Susa e di Bussoleno evidenziano l'assenza di livelli potenzialmente suscettibili di liquefazione.

Nella Figura 16 sono riportati i dati granulometrici disponibili determinati da campioni prelevati in foro prelevati da livelli ubicati a profondità inferiore a 15 m. Le curve granulometriche, caratterizzate da un coefficiente di uniformità maggiore di 3.5, non ricadono negli intervalli del DM 2008.

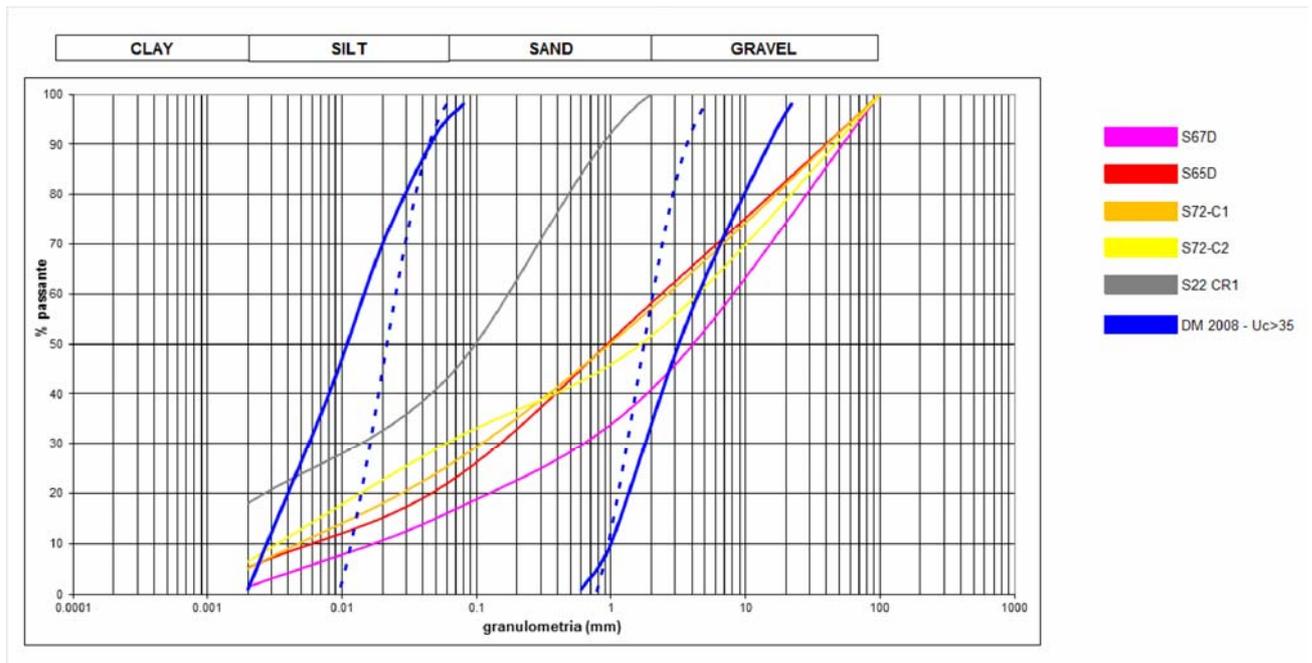


Figura 16 – Curve granulometriche di campioni prelevati nella Piana di Susa nei sondaggi effettuati da LTF, a profondità inferiori a 15 m. In blu continuo ( $U_c > 3.5$ ) e tratteggiato ( $U_c < 3.5$ ) sono indicati i limiti al cui interno si possono verificare fenomeni di liquefazione secondo il DM 2008.

### 5.2.5.6 Conclusioni

Il presente studio di stabilità nei confronti della liquefazione è stato condotto secondo le richieste della Regione Piemonte, ovvero utilizzando “per la determinazione dei valore di Magnitudo ( $M$ )” “l’approccio cautelativo indicato al punta 2.8 degli ICMS (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, 2008), che prevede l’uso del valore di  $MWMAX$  attesa per la corrispondente zona sismo genetica: nello specifico, per la zona di riferimento ZS 908 il valore  $MWMAX$  risulta di 6.14.”.

Nella piana di Susa, sebbene la magnitudo massima  $M_w$  della zona sismogenetica ZS9 è pari a 6.14 e l’accelerazione massima di riferimento è maggiore di 0.10g, in base ai dati disponibili si escludono fenomeni di liquefazione poiché la soggiacenza della falda si attesta mediamente attorno a 30 m ed i fusi granulometrici non sono compresi negli intervalli normativi. Nella zona di Bussoleno la soggiacenza della falda superficiale è minore e si attesta mediamente tra 7 e 20 m e non si dispongono di granulometrie e di misure  $N_{SPT}$  per verificare le circostanze “4” e “5”.

L’evoluzione quaternaria e le stratigrafie a disposizione indicano che l’evoluzione quaternaria post-glaciale della valle Susa è dominata dalla sedimentazione dei depositi legati alla dinamica fluviale della Dora Riparia. Tali depositi sono prevalentemente grossolani (ghiaie e ciottoli) e più raramente fini, come sabbie e limi. La sedimentazione di quest’ultimi è legata all’andamento sinuoso del corso della Dora. In corrispondenza delle maggiori anse abbandonate la Dora ha, infatti, deposto sedimenti a granulometria limoso-sabbiosa come si osserva tra Coldimosso e Bussoleno (reg. Dora Spanciata) e nella regione di Crotte. È quindi molto improbabile che i depositi fluviali di fondovalle comprendano “strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda fino alla profondità di 15 m”. Tuttavia, data la mancanza di dati (sondaggi ecc.), non è possibile escludere a priori la presenza di tali strati e lenti, anche se, sono probabilmente poco diffusi e sulla base delle granulometrie disponibili su livelli analoghi, (Figura 16) non dovrebbero avere fusi granulometrici che rientrano all’interno dei fusi “liquefacibili” del DM 2008.

Le indagini MASW eseguite indicano un suolo prevalente di categoria “B” con bedrock sismico mediamente attorno a 15-20 m di profondità. Tuttavia la bassa profondità del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s) e le velocità ridotte della copertura sovrastante suggeriscono una classificazione dei depositi come suolo di tipo E. Non sono state rilevate categorie di sottosuolo “S2” (*Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti*).

Una ulteriore verifica dell'assenza di fenomeni di liquefazione deriva dell'applicazione del Criterio di Ambraseys (1988) che correla la distanza epicentrale del sito indagato (R in km) con la magnitudo di soglia del sisma, cioè con quella magnitudo che può indurre fenomeni di liquefazione in terreni suscettibili ( $M_s$ ).

La relazione è la seguente:

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

Sono stati utilizzati i dati degli eventi sismici con magnitudo superiore a 4 registrati dall'anno 217 a.c. all'anno 1992 d.c. contenuti nel Catalogo sismico italiano (CPTI2) per la zona sismogenetica ZS9 n. 908.

La serie storica può essere utilizzata per determinare la probabilità di superamento del valore di soglia per un sisma con un determinato tempo di ritorno. Quindi, chiamando M la magnitudo del sisma attesa nel sito per un determinato tempo di ritorno, se il rapporto  $M/M_s$  è maggiore o uguale a 1 sarà probabile il verificarsi di fenomeni di liquefazione.

L'elaborazione è stata fatta utilizzando il programma di calcolo *LIQUEF (Programgeo)*. I risultati, riportati nella seguente tabella, evidenziano  $F_s$  minori di 1, indicando una probabilità alla liquefazione molto bassa.

Anno	Magnitudo	Distanza epicentro (km)	Località epicentro	Probabilità di superamento	Tempo di superamento	$F_s = M_a/M_l$
1966	4.08	99.4	CUNEESE	0.02632	1.03	0.441
1905	4	93.5	VALDIERI	0.05263	1.06	0.4411
1913	4	92.2	VALDIERI	0.07895	1.09	0.443
1916	4.02	93.1	VINADIO	0.10526	1.12	0.4439
1849	4.3	111.7	LIMONE	0.13158	1.15	0.4466
1892	4.3	106.5	LIMONE	0.15789	1.19	0.4541
1885	4.3	104.7	LIMONE	0.18421	1.23	0.4568
1887	4	77.3	S.DAMIANO	0.21053	1.27	0.4674
1835	4.3	97.7	Boves	0.23684	1.31	0.4674
1901	4.3	95.9	BOVES	0.26316	1.36	0.4703
1502	4.3	88.9	CUNEO	0.28947	1.41	0.4818
1958	4.1	75.7	DRONERO	0.31579	1.46	0.482
1955	4.07	66.2	ALPI COZIE	0.34211	1.52	0.4965
1550	4.6	92	CUNEO	0.36842	1.58	0.5099
1971	4.3	72	CELLE DI MACRA	0.39474	1.65	0.5127
1883	4.3	65.3	REVELLO	0.42105	1.73	0.5265
1878	4.3	62.3	VILLANOVA	0.44737	1.81	0.533
1584	4.6	78.4	DRONERO	0.47368	1.9	0.5353
1611	4	40.2	Luserna	0.5	2	0.5484
1956	4.3	51.8	M. VISO	0.52632	2.11	0.5577

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

Anno	Magnitudo	Distanza epicentro (km)	Località epicentro	Probabilità di superamento	Tempo di superamento	Fs=Ma/MI
1502	4.8	78.7	TARANTASCA	0.55263	2.24	0.558
1909	4	36.8	TORRE PELLICE	0.57895	2.38	0.5582
1878	4.8	77	S.DAMIANO	0.60526	2.53	0.5615
1311	4.3	34.4	PINEROLO	0.63158	2.71	0.608
1858	4.3	33.8	Valle del Chisone	0.65789	2.92	0.61
1969	4.22	23.4	GIAVENO	0.68421	3.17	0.6379
1507	4.3	20.6	<b>PINASCA</b>	0.71053	3.45	<b>0.6629</b>
1449	4.3	20.6	<b>PINASCA</b>	0.73684	3.8	<b>0.6629</b>
1901	4	7.5	<b>M. LERA</b>	0.76316	4.22	<b>0.7011</b>
1980	4.7	24.2	GIAVENO	0.78947	4.75	0.7066
1927	4.42	15.4	<b>VAL DI SUSÀ</b>	0.81579	5.43	<b>0.7102</b>
1753	4.92	24.7	Valle del Chisone	0.84211	6.33	0.7373
1886	4.95	21.2	<b>VAL DI SUSÀ</b>	0.86842	7.6	<b>0.7598</b>
1808	5.55	37.1	Valle del Pellice	0.89474	9.5	0.7733
1914	5.08	21.6	<b>TAVERNETTE</b>	0.92105	12.67	<b>0.7775</b>
1943	4.4	5.3	<b>VAL DI SUSÀ</b>	0.94737	19	<b>0.8004</b>
1785	4.8	9.3	<b>M. ORSIERA</b>	0.97368	37.99	<b>0.8212</b>
			Latitudine del sito(°):	45.14		
			Longitudine del sito (°):	7.08		
			Tempo di ritorno (anni):	200		
			Magnitudo attesa al sito (Ma):	7.256		
			Magnitudo minima necessaria per la liquefazione (MI):	7.3799		

Tabella 5 – Stima del rischio di liquefazione per l'area considerata. In carattere "grassetto" sono stati evidenziati gli epicentri più prossimi all'area di studio (inferiori a circa 20 km).

### 5.2.6 Sito di Clarea

Sulla base delle caratteristiche granulometriche dei terreni presenti non sussistono le condizioni per la suscettibilità alla liquefazione.

### 5.2.7 Siti di Caprie e Torrazza

Nelle aree di Caprie e di Torrazza, dove sono previsti siti di deposito, non sono disponibili dati sufficienti in merito alla stratigrafia (in particolar modo sulla granulometria dei sedimenti), né sulle caratteristiche di resistenza penetrometrica e sulla posizione della falda (in particolare per Caprie) per poter valutare l'eventuale suscettibilità alla liquefazione.

Si riportano inoltre i dati relativi ai nodi ubicati a Caprie (Figura 17) e a Torrazza (Figura 18). Nel caso del sito di Caprie la condizioni 1 e 2 sono soddisfatte ma non sono disponibili dati relativi alle caratteristiche granulometriche e alla posizione della falda. Si ritiene tuttavia, per analogia con i settori limitrofi della Piana di Susa, che la probabilità alla liquefazione possa essere molto bassa.

Nel caso del sito di Torrazza invece l'accelerazione massima attesa è inferiore di 0.10g e pertanto si esclude la possibilità che si possano verificare fenomeni di liquefazione.

Rapport del l'Alea sismique – Relazione del rischio sismico

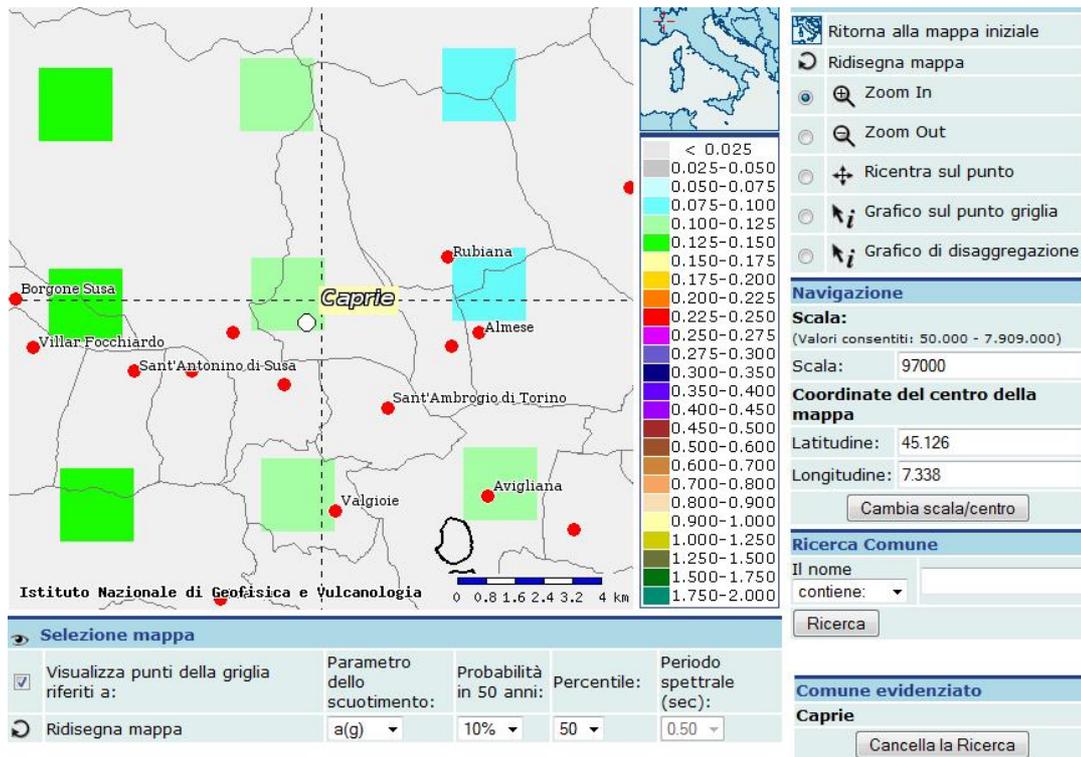


Figura 17 – Accelerazione massima attesa per il sito di Caprie (da <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

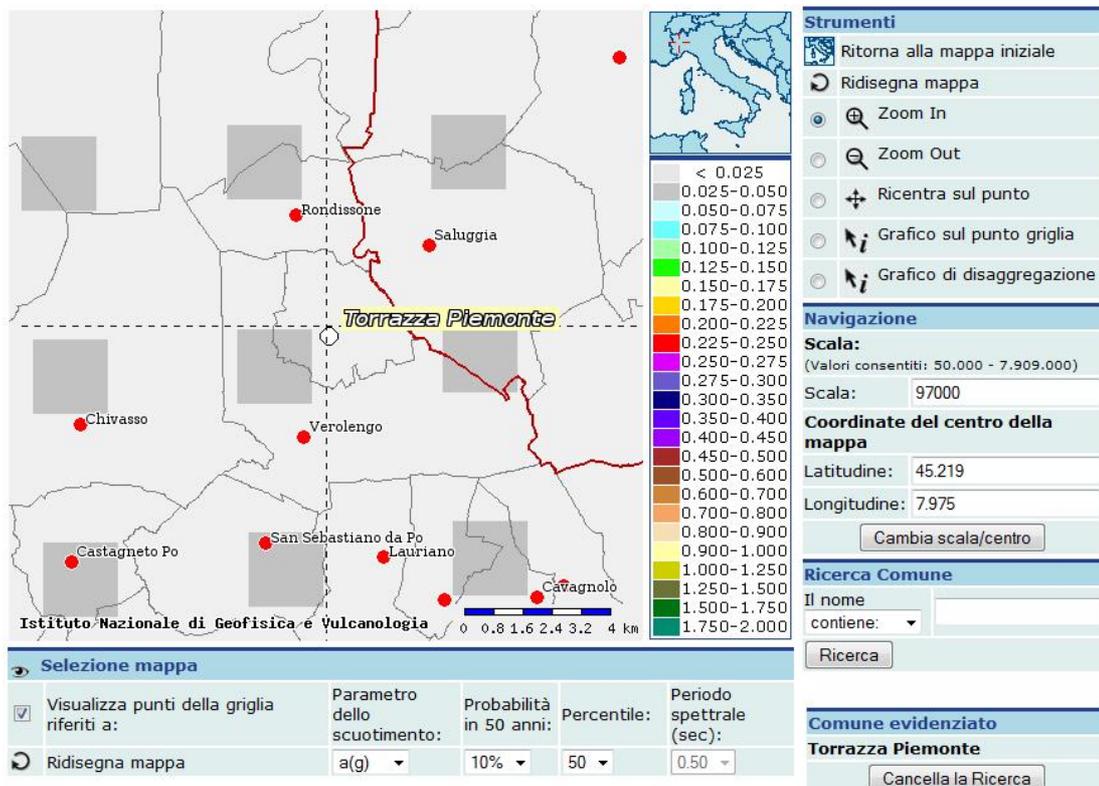
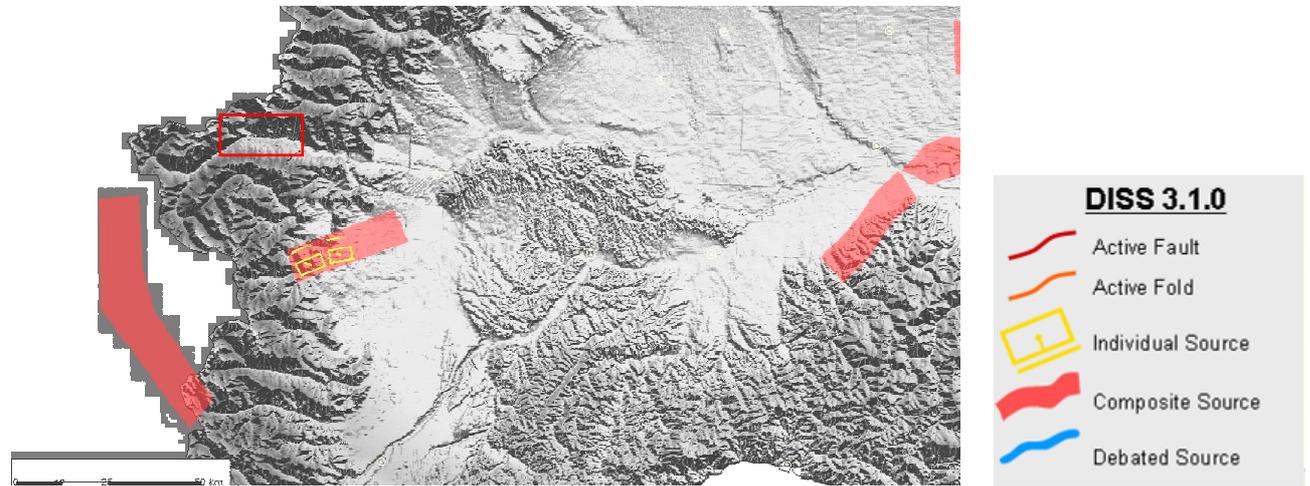


Figura 18 – Accelerazione massima attesa per il sito di Torrazza (da <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

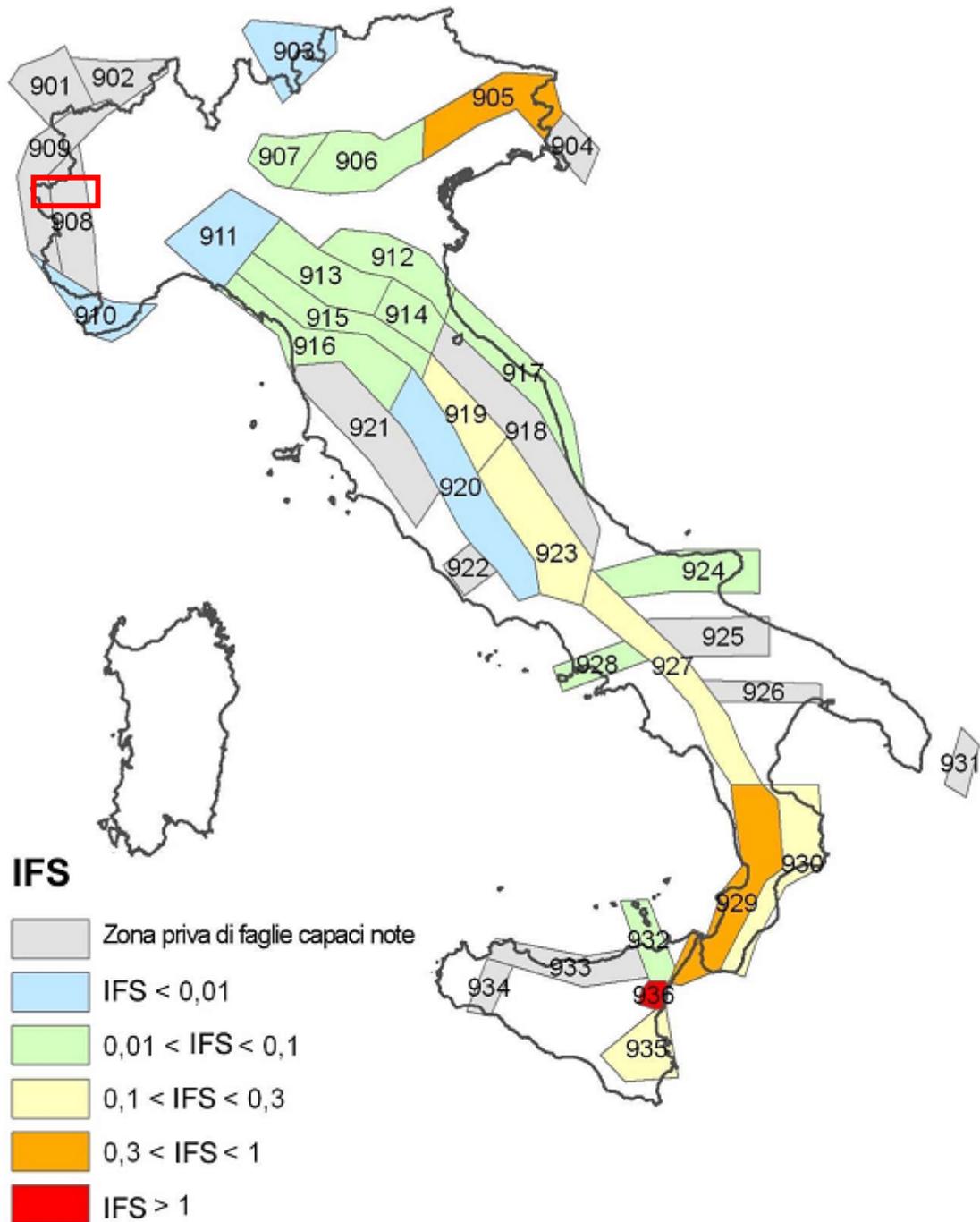
### 5.2.8 Zone suscettibili di instabilità – faglie attive e capaci

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 19).



**Figura 19** – 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” note, 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 20** - 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>.

### 5.2.9 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.

## 6. Bibliografia

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

**Aki K., Larner K. L. (1970)** - Surface motion of a layered medium having an irregular interface due to incident plane SH waves' Jour. Geoph. Research, vol. 70.

**Ambraseys (1988)** – Engineering seismology: earthquake engineering and structural dynamics, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 17, 1–105.

Bard P.-Y., Gariel J. C. (1986). The seismic response of two-dimensional deposits with large vertical velocity gradient. *Bull. Seism. Soc. of America*, Vol.76.

**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 R. (2005)** - Ground effects of large morphogenic earthquakes. *J. Geodyn.*, 40, 2-3, 113-118.

**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.

**Obermeir S.F., (1996)**. Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis – An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. *Engineering Geology*, 44, 1-76.