

# 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

#### PLAINE DE SUSE – PIANA DI SUSÀ

#### GENERALITES OUVRAGES A L'AIRE LIBRE – GENERALITA' OPERE ALL'APERTO GEOLOGIE, HYDROGEOLOGIE ET GEOTECHNIQUE – GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique

Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	6/9/2012	Première diffusion / Prima emissione	D. GRANDIS, I.STRINGA (SEA)	R. TORRI, C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Reception commentaires LTF / Recepimento commenti LTF	D. GRANDIS, I.STRINGA (SEA)	R. TORRI, C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO

 **Tecnimont**  
Civil Construction  
Cott. Ing. Aldo Mancarella  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 621LR



COD E DOC	<b>P</b>	<b>D</b>	<b>2</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>A</b>
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED		//	//	<b>50</b>	<b>01</b>	<b>01</b>	<b>10</b>	<b>01</b>
INDIRIZZO GED								

<b>ECHELLE / SCALA</b>
-

  
**LYON TURIN FERROVIAIRE**

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 financé par l'Union européenne (DG-TREN)



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

## SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO .....	3
1. INTRODUZIONE .....	6
1.1 Obiettivi dello studio .....	6
1.2 Inquadramento dell'area di studio .....	6
1.3 Attività svolte.....	7
2. SINTESI DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	10
2.1 Assetto stratigrafico dei depositi quaternari di fondovalle .....	10
3. RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE REALIZZATE NELLA PIANA DI SUSA.....	11
3.1 Indagini geognostiche preesistenti (ante 2010) .....	11
3.2 Indagini geognostiche realizzate nel 2010.....	13
3.2.1 Prove SPT .....	13
3.2.2 Prove di laboratorio.....	14
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	15
4.1 Parametrizzazione geotecnica.....	15
4.2 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale .....	20
4.2.1 Zone suscettibili di instabilità – aree suscettibili di liquefazione .....	21
4.2.2 Verifica della suscettibilità a liquefazione mediante Criterio di Ambraseys .....	29
5. GEOMORFOLOGIA .....	32
5.1 Forme legate alla dinamica glaciale e post-glaciale .....	33
5.2 Forme legate alla dinamica dei versanti .....	34
5.3 Forme legate alla dinamica fluvio-torrentizia.....	35
5.4 Eventi alluvionali.....	35
5.5 Fasce fluviali.....	36
5.6 Pericolosità dei conoidi.....	36
6. IDROGEOLOGIA.....	37
6.1 Grado di permeabilità dei depositi quaternari .....	37
6.2 Soggiacenza della falda freatica .....	38
6.3 Modello di flusso .....	39
ALLEGATI.....	42

## RESUME/RIASSUNTO

Dans le secteur de la Plaine de Susse concerné par les ouvrages de la Nouvelle Ligne Ferroviaire Lyon – Turin seront réalisés plusieurs ouvrages à l'air libre : la Gare Internationale de Susse, un site de sécurité, plusieurs Ponts sur la Dora et des remblais ferroviaires. Le site où est localisée la tête des galeries d'interconnexion en direction de Susse et de Bussoleno se situe également sur ce secteur. De plus, il est décrit le modèle géologique du tronçon concerné par la réalisation du site de la gare et du Parc Ferroviaire de Bussoleno.

Le modèle géotechnique est issu des résultats des investigations géologiques et géotechniques réalisées dans le secteur et des éléments extraits des plans d'aménagement du territoire (PRGC). Les investigations disponibles comprennent:

- Des forages réalisés par LTF pendant la campagne de 2010 et 2012;
- Des forages réalisés par SITAF dans le cadre du projet de l'autoroute A32;
- Des forages disponibles sur le site internet de l'ARPA Piemonte.

Le degré de fiabilité des prévisions géologiques est généralement bon; toutefois, il reste faible en ce qui concerne la caractérisation géotechnique au droit des fondations des ouvrages courants (p.ex. piles des viaducs) et de certaines infrastructures (p.ex. pont sur la Dora et tronçon en remblais de l'interconnexion à l'air libre).

La réalisation des investigations complémentaires permettra la mise à jour éventuelle des modèles géologique et géotechnique et l'augmentation, dans tous les cas, de la fiabilité des prévisions.

Les forages réalisés dans ce secteur, incluant les forages S65, S66, S67 et le forage S72 du 2010 et les forages S68, S68/2, S69 et S71 du novembre 2012, dont on dispose que des résultats préliminaires, montrent une

Il settore della Piana di Susa interessato dalle opere della Nuova Linea Ferroviaria Torino – Lione corrisponde al tratto in cui saranno realizzate le opere all'aperto (Stazione Internazionale di Susa, area di sicurezza, Ponte sulla Dora, rilevati ferroviari) di raccordo alle tratte in galleria (Tunnel di Base e Tunnel dell'Interconnessione). Tale settore si completa con l'area d'imbocco delle galeries d'interconnessione verso Susa e verso Bussoleno; inoltre è descritto il modello geologico del tratto che prevede la realizzazione del piazzale di stazione e il parco ferroviario RFI di Bussoleno.

Il modello geotecnico deriva dai risultati delle indagini geologico-geotecniche realizzate nel settore e dai dati pregressi desunti dalle Amministrazioni Comunali (PRGC) e dagli Enti di controllo. Le indagini comprendono:

- sondaggi realizzati da LTF durante la campagna indagini 2010 e 2012;
- sondaggi realizzati contestualmente alle differenti fasi progettuali della A32 (SITAF);
- sondaggi reperibili sul GeoPortale dell'Arpa Piemonte.

Il grado di affidabilità delle previsioni è generalmente buono anche se permangono incertezze riguardo la parametrizzazione geotecnica specifica in corrispondenza delle opere correnti (p.es. pile dei viadotti) e non correnti (p.es. ponte sulla Dora e tratta in rilevato di interconnessione alla linea storica).

La realizzazione di indagini complementari permetterà l'aggiornamento eventuale del modello geologico – geotecnico aumentandone l'affidabilità delle previsioni.

I sondaggi realizzati in questo settore, tra i quali i sondaggi S65, S66, S67 nonché S72 realizzati durante la campagna geognostica dell'inverno 2010, e i sondaggi S68, S68/2, S69 e S71 realizzati nel 2012, di cui si dispone però dei soli risultati preliminari, mostrano una generale omogeneità dell'assetto

homogénéité générale du cadre stratigraphique, qui est caractérisé par des dépôts quaternaires constitués par des graviers de taille moyenne et grossiers, des sables de taille moyenne et fine dans une matrice sablo – limoneuse et limoneuse. Ces terrains sont généralement incohérents ou faiblement cohésifs. En l'état actuel des connaissances, le tronçon a été jugé homogène des points de vue géologique, géotechnique et hydrogéologique.

Les forages de LTF et de SITAF ont traversé des niveaux de conglomérats plus ou moins cimentés à des profondeurs pouvant interférer avec les fondations des ouvrages. Toutefois, ces niveaux présentent une épaisseur généralement faible (1 – 2 m) et sont discontinus à l'intérieur de la séquence stratigraphique. Ils n'ont donc pas de pertinence géotechnique pour le dimensionnement des fondations. Ces dépôts ont été regroupés dans l'unité géotechnique des dépôts alluviaux.

La profondeur du soubassement rocheux au-dessous des terrains quaternaires n'est pas connue. Le forage le plus profond est d'environ 130 mètres (S66) n'a pas rejoint le soubassement rocheux.

D'un point de vue hydrogéologique, les essais in situ fournissent des valeurs de perméabilité de l'ordre de  $1E-5$  m/s. La profondeur de la nappe phréatique mesurée dans les forages S66 et 504 est d'environ 30 mètres. Toutefois, une recharge locale de la nappe est possible au niveau de la Dora Riparia (pour les tronçons avec lit naturel) et des conoides de ses affluents (Torrent Cenischia, Ruisseau Scaglione et Ruisseau Giandula).

Les criticités hydrauliques pour ce secteur sont liées à l'interférence avec les bandes d'inondation de la Dora Riparia. En effet, les ouvrages occupent la bande C dans le secteur en amont du viaduc de la Dora à Suse. La bande B, dans ce secteur, coïncide avec les zones inondées en 2000 entre la Dora et la ligne ferroviaire Susa – Bussoleno.

La définition de l'action sismique a été

stratigraphico in cui prevalgono i depositi quaternari costituiti da ghiaie medie e grossolane, sabbie medio – fini immerse in una matrice sabbioso – limosa e limosa. Questi terreni sono generalmente incoerenti o debolmente coesivi. La tratta è stata ritenuta quindi, allo stato attuale delle conoscenze, omogenea dal punto di vista geologico, geotecnico e idrogeologico.

Livelli di conglomerati più o meno cementati sono stati individuati all'interno dei sondaggi LTF e SITAF a profondità variabili e potenzialmente interferenti con le opere di fondazione: essi si presentano però con potenza ridotta (1 – 2 metri) e estremamente discontinui all'interno dei depositi alluvionali e non presentano rilevanza geotecnica ai fini del dimensionamento delle opere di fondazione. Tali depositi sono stati quindi accorpati assieme ai depositi alluvionali in un'unica unità geotecnica.

La profondità del basamento roccioso al di sotto dei depositi alluvionali non è conosciuta. Il sondaggio più profondo realizzato (S66) ha raggiunto una profondità di 130 metri senza incontrare il basamento roccioso.

Dal punto di vista idrogeologico, le prove di permeabilità forniscono valori di conducibilità idraulica di circa  $1E-5$  m/s. La presenza della falda freatica è stata rilevata a una profondità di circa 30 metri all'interno dei sondaggi S66 e 504. Si ipotizza, tuttavia, una ricarica locale della falda sia ad opera della Dora Riparia (nei tratti in alveo naturale) che dei conoidi e corsi d'acqua tributari (Torrente Cenischia, Rio Scaglione e Rio Giandula).

Le criticità idrauliche connesse a questo settore sono dovute all'interferenza con le fasce fluviali della Dora Riparia. Le opere, infatti, attraversano la fascia C di rispetto nel settore a monte del viadotto sulla Dora a Susa. La fascia B in questo settore coincide con le aree di inondazione dell'evento 2000 che dunque ha interessato l'area interclusa tra la Dora e il rilevato della linea Susa - Bussoleno.

La definizione dell'azione sismica è stata realizzata sulla base delle prove in sito a

réalisée sur la base des essais in situ à disposition. Les terrains ont été classifiés indistinctement en classe C. L'analyse des investigations réalisées récemment (MASW du novembre 2012) permettront la caractérisation sismique de détail pour les ouvrages du projet.

disposizione. I terreni sono stati indistintamente classificati in classe C. L'analisi de dettaglio delle indagini recentemente realizzate (MASW del novembre 2012) permetteranno di affinare la caratterizzazione sismica in corrispondenza delle singole opere.

## 1. Introduzione

La presente relazione geotecnica descrive il Modello Geotecnico del settore compreso tra gli imbocchi del Tunnel di Base a Susa (pk 61+200 circa) e della galleria di Interconnessione a Coldimosso (pk 63+800 circa), nonché del settore presente a Est della galleria di Interconnessione nel settore di Bussoleno.

### 1.1 Obiettivi dello studio

La presente relazione s'inquadra nelle attività di Revisione del Progetto Definitivo della Nuova Linea Ferroviaria Torino - Lione per conto di LTF - SAS in ottemperanza alle prescrizioni CIPE emerse in sede di approvazione del Progetto Preliminare.

Lo scopo principale è la descrizione dettagliata del Modello Geotecnico dell'area di studio riportato graficamente nel profilo geotecnico (PD2\_C3B\_0035\_50-01-01\_10-01\_Profilo geologico geotecnico), la descrizione sintetica dei risultati delle indagini realizzate e la sintesi dei principali parametri geotecnici delle unità geotecniche distinte. Il Modello Geotecnico rappresenta una interpretazione dell'assetto litostratigrafico dell'area di progetto ed è stato definito sulla base dei risultati delle indagini in sito ed in laboratorio realizzate.

Va sottolineato che tale classificazione geotecnica rappresenta comunque una semplificazione dell'assetto litostratigrafico presente nell'area in esame, viste le numerose intercalazioni e interdigitazioni delle diverse facies e in funzione del dettaglio delle conoscenze. Pertanto all'interno dell'unità geotecnica rappresentata dalle ghiaie, ad esempio, è possibile la presenza di orizzonti sabbiosi e/o limoso-sabbiosi. Le unità geotecniche vanno pertanto intese come unità le cui caratteristiche geotecniche sono definite prevalentemente dalla facies dominante; locali variazioni di granulometria e quindi di caratteristiche geotecniche sono possibili ma attualmente non valutabili. Per tale motivo, il dettaglio delle valutazioni arriva a definire tratte potenzialmente omogenee da un punto di vista geologico e geotecnico ma non permette di caratterizzare in modo specifico le singole opere o, come nel caso dei ponti sulla Dora, le singole spalle. Le conoscenze stratigrafiche della Piana di Susa sono sufficientemente dettagliate; le incertezze permangono per quel che riguarda la parametrizzazione geotecnica; le recenti indagini realizzate nel novembre 2012 (sondaggi geotecnici e geofisica di tipo MASW) hanno permesso, in prima analisi, di confermare le assunzioni fatte in questa fase di studio. Tuttavia, si dispone solo dei dati preliminari acquisiti tramite queste ultime indagini. Nel proseguo degli studi, una volta disponibili i risultati definitivi, sarà necessario eseguire una verifica di dettaglio. Inoltre, nelle seguenti fasi di progetto sarà necessario specificare le condizioni geotecniche in corrispondenza di tutte le opere correnti e non correnti previste nella Piana di Susa. A tale riguardo uno specifico piano indagini è previsto (confrontare doc. n°PD2 C3B 0107 00-05-05 10-01).

### 1.2 Inquadramento dell'area di studio

L'area di studio si estende in una porzione della media Valle di Susa in prossimità dell'abitato di Susa e in parte coincidente con il sito dell'autoporto di Susa. Il tratto è caratterizzato da un reticolo viario complesso e sviluppato che comprende l'autostrada A32, le strade statali SS24 e SS25 e la linea ferroviaria Susa – Bussoleno. La tratta di Interconnessione e la Stazione di Bussoleno coincide con il tratto della linea ferroviaria storica tra l'imbocco di valle della galleria di Tanze. L'intera tratta è fortemente condizionata dalla presenza del fiume Dora che la nuova linea ferroviaria attraverserà in viadotto due volte, la prima a Susa e la seconda a Bussoleno (Figura 1).

### 1.3 Attività svolte

Per quanto attiene al settore della Piana di Susa, le analisi sono state eseguite correlando i risultati disponibili dei sondaggi S65, S66, S67 e S72 (campagna LTF 2010), i dati parziali e preliminari dei sondaggi realizzati nel novembre 2012 (S68, S68/2, S69 e S71) e i dati stratigrafici di sondaggi ubicati sempre in prossimità del tracciato ma terebrati per la realizzazione di altre opere come nel caso dei sondaggi realizzati per il progetto SITAF dell'A32 e quelli disponibili sul GeoPortale ARPA. Il modello di circolazione idrica sotterranea è stato dedotto dalla consultazione dei dati forniti dal monitoraggio della risorsa idrica realizzato da LTF. Inoltre, sono stati utilizzati dati consultabili dei Piani Regolatori dei comuni attraversati dalle opere in questo settore (Susa e Bussoleno).

Tutte le indagini realizzate nella tratta in oggetto sono state visualizzate sul relativo profilo geologico-geotecnico (PD2\_C3B\_0035\_50-01-01\_10-01\_Profilo geologico geotecnico) con la relativa distanza di proiezione dall'asse dell'opera in progetto; esse sono state riassunte nella Tabella 1 e rappresentati in Figura 1.

Sondaggi SITAF			Sondaggi GeoPortale ARPA Piemonte			Sondaggi LTF 2010		
codice sondaggio	prof. (m)	stratigrafia sintetica	codice sondaggio	prof. (m)	stratigrafia sintetica	codice sondaggio	prof. (m)	stratigrafia sintetica
F2	30	0-5,8 cd	S1 (502)	20,5	0-20,5 af	S65	30	0-4,45 ant
		5,8-30 af	S2 (503)	10,5	0-10,5 af			4,45-30 af
F3	32	0-5 cd	P1 (504)	100	0-1 cd	S66	130	0-0,40 ant
		5-32 af			1-10 af			0,40-58,60 af
0-4,5 cd	10-54 cg	58,60-68,45 cg						
4,5-31 af	54-80 af	68,45-130 af						
0-2,8 cd	80-100 cg							
F5	30	2,8-30 af	A23 (50)	20,5	0-20,5 af	S67	30	0-7,50 ant
F6	26	0-3 cd	B4 (55)	19	0-1,6 gl	S72	30	7,50-30 af
		3-19,2 af			1,6 - 3,3 bs alt			0-30 ac
		19,2-26 cg			3,3-19 bs			
F7	31	0-5 cd	S3A (85)	20,7	0-8,4 ant	Sondaggi LTF 2012		
		5-31 af			8,4-16,5 gl	S68	30	0-1 ant
0-4 cd	16,5-20,7 bs alt	1-20,1 af						
F8	30	4-30 af	S3B (86)	10,2	0-2 gl	S68/2	29	20,1-30 cg
		0-5 cd			2-10,2 bs alt			0-1,9 ant
F9	30	5-22,3 af	S3C (87)	19,5	0-3 ant			1,9-21 af
		22,3-27,3 af-cg			3-16,3 gl			21-26 cg
		27,3-30 af			16,3-19,5 bs alt			26-29 af
F10	25	0-3,5 cd	S3D (88)	8,3	0-0,8 ant	S69	30	0-1,9 ant
		3,5-25 af			0,8-6,9 gl			1,9-21 af
0-5,3 cd	6,9-8,3 bs alt	21-23 cg						
F11	31	5,3-31 af	S3E (89)	8,5	0-6,2 gl			23-30 af
		0-1 cd			6,2-8,5 bs alt			0-15 af
P1	10	1-8,5 af	LEGENDA					
		8,5-9,4 cg	cd	coltre detritico-colluviale				
		9,4-10 af	ant	depositi antropici				
P2	7,5	0-2 cd	af	depositi alluvionali di fondovalle e torrentizi, recenti e antichi.				
		2-7,5 af	cg	conglomerato poligenico da poco a moderatamente cementato				
P3	10	0-0,9 cd	cd	coltre detritico-colluviale				
		0,9-9,2 af	gl	depositi glaciali				
		9,2-10 cg	bs alt	basamento roccioso alterato				
P4	12	0-0,5 cd	bs	basamento roccioso				
		0,5-11,3 af						
		11,5-12 cg						
S19b	25	0-5 cd						
		5-25 af						
S20	25	0-4 cd						
		4-23 af						
		23-25 cg						
DA	25	0-5 cd						
		5-22 af						
		22-25 cg						

Tabella 1 – Sintesi delle indagini geognostiche disponibili per il settore della Piana di Susa

Le stratigrafie dei sondaggi realizzati nell'area di progetto durante le differenti campagne di indagine sono fornite in allegato alla presente relazione (Allegato 1 - sondaggi LTF; Allegato 2 - sondaggi SITAF; Allegato 3 – sondaggi ARPA).



Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica

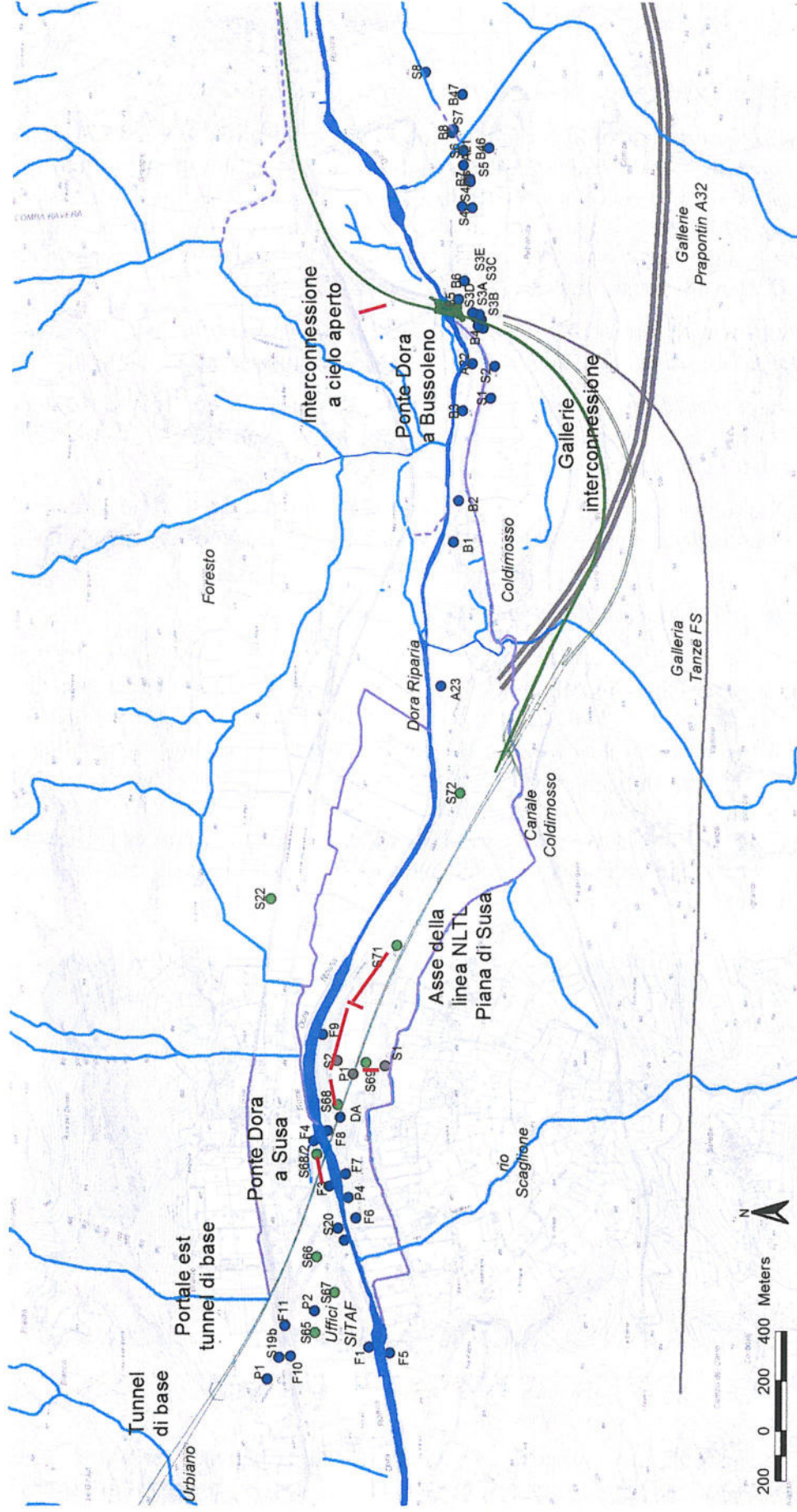


Figura 1 – Stralcio della Piana di Susa con indicazione delle opere in progetto maggiori, delle opere esistenti e dei sondaggi realizzati da LTF (punti verdi) e da SITAF (punti blu); le linee rosso scuro indicano l'ubicazione delle MASW realizzate nel mese di novembre 2012 da LTF. Le stratigrafie dei sondaggi SITAF sono stati consultati direttamente dalle banche dati SITAF oppure dalla banca dati geotecnici dell'ARPA.

## 2. Sintesi del modello geologico di riferimento

Il settore della Piana di Susa comprende un breve tratto della valle principale a valle della confluenza del Cenischia e la tratta d'interconnessione con la Linea Storica nel settore di Bussoleno. I tratti distintivi del settore sono definiti dalla presenza dei depositi quaternari della piana alluvionale della Dora Riparia, da estesi conoidi alluvionali (Giandola, Grilli, Scaglione e Corrente) e dalla presenza alla base del versante destro di dorsali allungate in senso E - W riferibili al modellamento glaciale (area di Meana di Susa).

I terreni della piana sono costituiti principalmente da depositi alluvionali non coesivi; la facies dominante è rappresentata da ghiaie sabbioso - limose e da ghiaie ciottolose con sabbie.

Per quanto riguarda la profondità del basamento al di sotto dei depositi quaternari, nessuna indagine fornisce elementi certi. I sondaggi più profondi si sono spinti fino a 130 metri di profondità senza incontrare il basamento roccioso.

Si specifica che la realizzazione delle opere in progetto interesserà i soli depositi quaternari di fondovalle. Nessuna interazione con il basamento roccioso al di sotto dei depositi di fondovalle è prevista.

### 2.1 Assetto stratigrafico dei depositi quaternari di fondovalle

Nel settore della Piana di Susa, in base all'esame delle stratigrafie dei sondaggi e dei rari affioramenti, all'interno dei sedimenti alluvionali di fondovalle si possono distinguere due litofacies principali: una ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa, e l'altra più marcatamente sabbiosa e sabbioso – limosa. La litofacies grossolana, che trova una distribuzione più generalizzata e dominante, è costituita da ghiaie e ghiaie ciottolose sabbioso-ghiaiose clast-supported, mal stratificate, passanti a sabbie ghiaiose con stratificazione planare (Figura 2); la litofacies limoso-sabbiosa compare solo localmente, ed è costituita da sabbie limose, con uno spessore medio di 1 - 2 metri. Entrambe le litofacies sono indicate con *af* nel profilo geologico dato che si trovano in fitta alternanza.



Figura 2 – Sondaggio S66 (prof. 12 – 16 m): litofacies grossolana – Ghiaie e ciottoli con matrice sabbioso e sabbioso-limosa

Nel sondaggio S72 (PK 63+600 circa) invece, i terreni attraversati appaiono generalmente più fini costituiti prevalentemente da ghiaia immersa in abbondante matrice sabbioso-limosa, con

passate di sabbia medio – grossolana, con ridotto contenuto in argilla. Essi costituiscono i lembi più distali dei depositi di conoide alluvionale (*ac*) in corrispondenza dell'ampio conoide del rio Scaglione che occupa tutto il settore meridionale della Piana di Susa. I suoi depositi si trovano localmente interdigitali ai terreni alluvionali di fondovalle generalmente più grossolani e attraversati dai sondaggi S65, S66 e S67.



*Figura 3 – Sondaggio S72 (prof. 15 – 20 m): ghiaia immersa in abbondante matrice sabbioso-limosa, con passate di sabbia medio – grossolana, con ridotto contenuto in argilla*

### **3. Risultati delle indagini geognostiche realizzate nella Piana di Susa**

In questo capitolo viene fatta una sintesi dei risultati delle indagini geognostiche e geotecniche realizzate nel settore della Piana di Susa, ovvero i sondaggi (confrontare Tabella 1) con le prove in sito e in laboratorio contestualmente realizzate.

#### **3.1 Indagini geognostiche preesistenti (ante 2010)**

Nelle tabelle sono riportati i risultati (valori di NSPT) delle sole prove SPT in foro principalmente realizzate nell'ambito della progettazione dell'A32 (SITAF) e utili per la parametrizzazione geotecnica dei terreni, ovvero quelle che non sono andate a rifiuto.

Per quanto riguarda le campagne d'indagine precedenti a quella realizzata da LTF nel 2010, non sono disponibili i dati di base e i risultati delle prove di laboratorio. Tuttavia, per la definizione dei parametri geotecnici si è fatto riferimento a quanto riportato nelle relazioni

geotecniche di sintesi relative al progetto SITAF della zona dell'Autoporto<sup>1</sup> dove sono presentate le interpretazioni dei dati di base.

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

<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

<i>Sondaggio</i>	<i>Profondità (m da p.c.)</i>	<i>NSPT</i>	<i>Descrizione litologica</i>
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 3 – Risultati delle prove SPT, con esclusione delle prove andate a rifiuto, realizzate nei sondaggi disponibili sul GeoPortale ARPA.

### 3.2 Indagini geognostiche realizzate nel 2010

LTF ha realizzato nel 2010 4 sondaggi a carotaggio continuo di profondità variabile tra 30 m (S65, S67 e S72) e 130 m (S66). All'interno di tutti i sondaggi sono state realizzate prove di tipo SPT e nei sondaggi S65 e S67 sono state realizzate complessivamente 6 prove di permeabilità Lefranc. Tutti i sondaggi sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto e al loro interno sono stati prelevati campioni di terreno per le prove di laboratorio. Le stratigrafie originali sono fornite in allegato al presente rapporto.

#### 3.2.1 Prove SPT

All'interno di tutti i sondaggi sono state realizzate sistematicamente prove in foro di tipo SPT; data la granulometria generalmente grossolana dei terreni e l'abbondante presenza di ciottoli, la stragrande maggioranza delle prove SPT realizzate è andata a rifiuto. Nella tabella seguente sono comunque riportati i risultati (valori di NSPT) delle sole prove SPT utili per la parametrizzazione geotecnica dei terreni, ovvero quelle che non sono andate a rifiuto.

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

### 3.2.2 Prove di laboratorio

Nei sondaggi LTF 2010 sono stati prelevati campioni di terreno a differenti profondità all'interno dei depositi alluvionali di fondovalle (af) e di conoide alluvionale (ac); tali campioni sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio i cui risultati sono sintetizzati nella Tabella 5.

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 5 – Risultati delle prove di laboratorio realizzate su campioni provenienti dai sondaggi della campagna indagini 2010 realizzata da LTF

Le prove triassiali CU, data la natura granulare incoerente dei litotipi dominanti, è stata presumibilmente realizzata su provini provenienti dalla matrice più fine sabbioso-limosa; i

parametri ottenuti sulla base dei grafici dello stress-path infatti ( $\varphi$  e  $c$ ) non sono caratteristici di terreni ghiaiosi e pertanto tali valori non sono da considerarsi rappresentativi dei depositi presenti lungo la Piana di Susa, ma si riferiscono solamente alla matrice del deposito. Questi valori non sono stati considerati per la parametrizzazione dei depositi ghiaiosi.

## 4. Caratterizzazione geotecnica dei terreni

### 4.1 Parametrizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni che costituiscono la piana alluvionale di Susa e dei conoidi alluvionali è stata effettuata definendo unità geotecniche che raggruppano terreni a comportamento omogeneo.

I terreni della piana sono costituiti principalmente dai depositi alluvionali non coesivi, rappresentati principalmente da ghiaie con sabbia (contenuto medio circa 25%) - limosa (contenuto medio circa 12%) e da sabbie limose con ghiaia. I clasti hanno generalmente un alto grado di arrotondamento e basso grado di sfericità. La matrice può contenere materiale limoso-argilloso (contenuto medio circa 15%). Procedendo verso Est (da Susa verso Bussoleno) i depositi alluvionali lasciano spazio ai depositi di conoide alluvionale costituiti principalmente da ghiaia con sabbia (contenuto medio circa 27%) e limo (contenuto medio circa 22%) con ridotto contenuto in argilla (circa 5%). Rispetto ai depositi alluvionali i depositi di conoide sono caratterizzati da un contenuto medio circa doppio in materiale fine limoso.

In prossimità dell'autoporto inoltre sono presenti estesi riporti artificiali (indicati come *ant* nel profilo geologico) costituiti probabilmente dallo smarino derivante dallo scavo delle gallerie Prapontin e Mompantero dell'autostrada A32.

In base alle unità litostratigrafiche principali descritte in dettaglio nella Relazione Geologica e riportate sinteticamente nel § 2, in base ai risultati delle prove in foro e all'analisi dei risultati delle prove di laboratorio, con particolare attenzione alle curve granulometriche, è stato possibile riconoscere nell'area di studio quattro unità geotecniche fondamentali:

- Depositi di origine antropica (K<sub>r</sub>) corrispondenti ai depositi indicati come *ant* nel profilo geologico;
- Depositi alluvionali grossolani (K<sub>b1</sub>) corrispondenti ai depositi definiti come *af* nel profilo geologico;
- Depositi alluvionali più fini (K<sub>b2</sub>) definiti come *af* nel profilo geologico;
- Depositi di conoide (K<sub>d</sub>) indicati come *ac* nel profilo geologico.

L'unità geotecnica K<sub>b2</sub> (depositi alluvionali più fini) è stata distinta solamente nel settore di Bussoleno. All'interno di tale settore non è disponibile alcun dato geologico-geotecnico derivante da indagini dirette, tuttavia procedendo lungo la Valle di Susa, da monte verso valle, è osservabile una generale riduzione della granulometria dei sedimenti legata all'evoluzione stratigrafica del settore. Per questo motivo, in assenza di dati e per mantenere nell'incertezza un approccio cautelativo, è stata fatta l'assunzione che i depositi alluvionali del settore di Bussoleno siano caratterizzati da una percentuale maggiore di porzione fine rispetto ai depositi alluvionali presenti nel settore di Susa.

La parametrizzazione geotecnica dei litotipi appartenenti alle unità sopradescritte, in considerazione anche di quanto detto in merito alle prove triassiali nel § 3.2.2, è stata condotta principalmente utilizzando i risultati delle prove SPT in foro.

L'angolo di attrito interno è stato determinato utilizzando il metodo proposto da De Mello (1971) che consente di correlare il numero di colpi NSPT con l'angolo di attrito interno, attraverso il carico litostatico  $\sigma'_{vo}$  a cui è sottoposto il terreno alla profondità in corrispondenza della quale è stata eseguita la prova.

La valutazione del peso di volume  $\gamma$  è stata eseguita sulla base dei dati disponibili analoghi consultati nella banca dati SITAF e ARPae corrisponde a  $2 \text{ t/m}^3$ . Questo valore è coerente rispetto a quanto proposto in APR. Le prove sono state interpretate in condizioni non sature; la falda, infatti, in questo settore, risulta essere a una profondità di circa 30 metri al di sotto delle quote delle prove.

Solamente la prova eseguita alla profondità di 21,5 metri nel sondaggio S72 in corrispondenza dell'imbocco di Coldimosso delle gallerie d'interconnessione è stata interpretata in condizioni sature ipotizzando una soggiacenza della falda di circa 20 metri in virtù della possibilità che vi siano dei flussi discendenti dal versante destro all'interno dei depositi di conoide del Rio Scaglione.

Nella tabella che segue (Tabella 6) sono riportati gli angoli di attrito ottenuti per ciascuna prova che ha avuto esito positivo. Sono infatti escluse dall'analisi le prove che hanno registrato un rifiuto alla penetrazione. In totale, 38 hanno fornito esito positivo di cui 8 all'interno dei sondaggi LTF del 2010.

Nel caso specifico, il risultato a rifiuto delle prove SPT indica la presenza di ciottoli immersi nella matrice ghiaioso-sabbiosa e limosa come indicato dalle stratigrafie in allegato al documento. Le prove a rifiuto sono state opportunamente omesse per non indurre nell'errata conclusione che i terreni alluvionali della Piana di Susa siano eccessivamente coesivi o addensati e che quindi presentino caratteristiche geotecniche non proprie dei terreni attraversati. I dati indicano un terreno da mediamente addensato ad addensato con angoli d'attrito che variano tra  $30$  e  $34^\circ$ . Questo valore è coerente con i valori considerati in APR e nei progetti delle opere dell'A32 in questo settore.



Sondaggio	Prova (n°)	Profondità (m da p.c.)	NSPT	Descrizione litologica	Unità geotecnica	Presenza falda	$\gamma$ Kg/m <sup>3</sup>	$\sigma'_{vo}$ kg/cm <sup>2</sup>	Phi (°)
F3	1	3	48	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	0,60	33
	5	12,6	94	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	2,52	35
	8	18,4	86	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	3,68	34
F4	1	3	33	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	Kv	no	2000	0,60	32
	6	14	75	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	2,80	34
	10	22	80	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	4,40	34
F6	3	3,3	31	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	0,66	32
F7	1	4,2	46	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	Kv	no	2000	0,84	33
	7	17,5	81	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	3,50	34
	9	21,5	87	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	4,30	34
F8	1	3,3	31	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	Kv	no	2000	0,66	32
	7	14	88	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	2,80	35
	10	19,4	92	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	3,88	35
F9	1	3,8	49	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	Kv	no	2000	0,76	33
	4	9,9	92	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	1,98	35
F10	1	2,2	28	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	Kv	no	2000	0,44	31
	6	11,5	86	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	2,30	35
	9	16,4	84	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	3,28	35
	11	19,6	87	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	3,92	34
	12	21	82	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	Kb1	no	2000	4,20	34
F11	1	2,2	77	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	Kv	no	2000	0,44	35
S1 (502)	?	6	40	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	Kb1	no	2000	1,20	33
	?	8	54	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	Kb1	no	2000	1,60	34
	?	10	48	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	Kb1	no	2000	2,00	33
	?	12	69	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	Kb1	no	2000	2,40	34
	?	14	58	ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa	Kb1	no	2000	2,80	33
S2 (503)	?	2	26	ghiaia con sabbia e ciottoli	Kb1	no	2000	0,40	31
	?	4	48	ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa	Kb1	no	2000	0,80	33
	?	8	54	ghiaia media e fine con rari ciottoli	Kb1	no	2000	1,60	34
	?	10	60	ghiaia media e fine con rari ciottoli	Kb1	no	2000	2,00	34
S65	2	6	59	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	Kb1	no	2000	1,16	34
	3	9	66	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	Kb1	no	2000	1,75	34
	6	18	65	sabbia limosa con ghiaia medio-fine	Kb1	no	2000	3,49	33,5
S66	1	4,5	18	terreno di riporto: sabbia medio fine con ghiaia medio grossolana (blocchi)	Kr	no	2000	0,87	30
	7	30	54	sabbia medio-fine debolmente limosa con ghiaia medio-grossolana	Kb1	no	2000	5,82	32
S67	3	7,5	23	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa	Kr	no	2000	1,46	30
	5	12	50	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa	Kb1	no	2000	2,33	33
S72	3	21,5	29	sabbia limosa con ghiaia e ciottoli	Kd	no	2000	4,02	30

Tabella 6 – Valori dell'angolo di attrito interno calcolato con il metodo proposto da De Mello (1971) a partire dai risultati delle prove SPT

Come si può dedurre dalla Tabella 6 i sondaggi SITAF (campagne indagini 1982 e 1986) hanno individuato nei primi metri (mediamente 4-5 m) un livello di terreno vegetale descritto come terreno sabbioso-limoso con ciottoli definito come unità Kv. Tuttavia dato che tale livello non è stato individuato dai sondaggi realizzati successivamente e dato che, nel caso fosse incontrato, dovrebbe essere asportato, l'unità Kv non è stata considerata nella caratterizzazione geotecnica del settore.

Di seguito si fornisce una tabella di sintesi dei risultati delle SPT realizzate suddivise in funzione della unità geotecnica.

unità geotecnica	n° valori disponibili	NSPT medio	litologia	Phi (°) MIN	Phi (°) MAX	Phi (°) MED
Kv	6	<b>44,0</b>	terreno vegetale: sabbia medio fine limosa con ciottoli	31	35	<b>32,7</b>
Kr	2	<b>20,5</b>	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa	30	30	<b>30,0</b>
Kd	1	<b>29,0</b>	sabbia limosa con ghiaia e ciottoli	30	30	<b>30,0</b>
Kb1	29	<b>67,0</b>	sabbia da fine a grossa con livelli di ghiaia con ciottoli	31	35	<b>33,6</b>

*Tabella 7 – tabella di sintesi dei risultati delle prove SPT realizzate nella Piana di Susa distinte in funzione dell'unità geotecnica.*

Il modulo elastico E dei terreni è coerente con i dati dell'APR, mentre per i valori di coesione, in considerazione della natura dei terreni presenti, è stato attribuito un valore nullo; solo per i terreni di riporto (Kd) è stata ipotizzata una debole coesione in virtù della loro granulometria più ridotta. Nei calcoli geotecnici tuttavia si consiglia di utilizzare un valore di coesione nullo.

La falda freatica, sulla base delle misure realizzate nella campagna di monitoraggio in corso nei sondaggi S66 e 504 si trova ad una profondità di circa 30 m da piano campagna; sulla base dei dati delle prove di permeabilità in foro ai terreni presenti in sito è possibile attribuire un valore di permeabilità di 1E-5 m/s (grado di permeabilità medio-alto).

Sulla base delle considerazioni espone nei paragrafi precedenti, di seguito si propone una tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici ricavati a partire dai risultati delle differenti campagne indagini, distinti per ciascuna unità geotecnica individuata.

Nella Tabella 8 sono stati riportati per ciascun parametro i valori minimo e massimo, nonché il valore proposto per i calcoli; il valore proposto in via cautelativa può essere inferiore al valore medio derivante dalle indagini realizzate e più vicino ai minimi valori ottenuti per i diversi parametri.

Rapport géologique, hydrogéologique, géomorphologique et géotechnique / Relazione geologica, idrogeologica, geomorfologica e geotecnica

Unità geotecniche K	Sigla unità litologiche	Tratta di progetto		Tenore in acqua (%)		γ (kN/m <sup>3</sup> )			E (GPa)		C' (MPa)		φ' (°)		ν (Poisson)			
		Operare all'aperto piana di Susa	Ponte Dora 1, sito FSA	min	max	valore proposto	min	max	valore proposto	min	max	valore proposto	min	max		valore proposto		
Kb1	depositi alluvionali PdS af1, af2, af3	Operare all'aperto piana di Susa	Ponte Dora 1, sito FSA	6,9	7,7	19,2	20,4	19,8	0,1	0,2	0,1	0	0,01	0	31,0	35,0	32,0	0,3
Kb2	depositi alluvionali PdS af4, af5	Operare all'aperto piana di Bussoleno	Ponte Dora 2 (spalla lato Bussoleno)	ND	ND	ND	ND	20,0	0,1		0,1	-	-			30,0	0,3	
Kd	depositi di coniole PdS ac	Operare all'aperto piana di Susa	Rilevato lato imbocco gallerie d'interconnessione	ND	ND	-	-	20	0,05	0,2	0,05	-	-	30	30	30	0,3	
Kr	Terreno di riporto PdS ant	Operare all'aperto piana di Susa	Opere PdS			-	-	19,4	0,05	0,2	0,1	0	0,01	0	30	30	30	0,3

Tabella 8 – Sintesi dei principali parametri geotecnici dei litotipi presenti nel settore della Piana di Susa

## 4.2 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

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 NTC definiscono la pericolosità sismica di un sito in termini della specifica accelerazione orizzontale massima su roccia (condizione per la quale ag coincide con PGA - Peak Ground Acceleration, accelerazione massima al suolo) 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 griglia con passo pari a 5 km nelle due direzioni orizzontali. In corrispondenza dei nodi di questo reticolo si è attribuito, tramite analisi probabilistica, i valori utili di *ag* e dello spettro elastico. Tali valori sono direttamente forniti dalle NTC (nel suo Allegato B). Posizionando il sito di indagine sul reticolo è quindi possibile attribuire mediante interpolazione specifici valori di *ag* che sono amplificati considerando la categoria di suolo, l'effetto topografico e gli effetti di bordo di valli alluvionali.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni si rifanno a loro volta all'Eurocodice EN 1998-1 che distingue i terreni in 5 diverse classi (A, B, C, D, E, più due classi speciali S1 e S2) sulla base delle caratteristiche litologiche, del profilo stratigrafico e dei valori della velocità delle onde di taglio *V<sub>s30</sub>* (m/s) registrati nei primi 30 m di profondità rispetto alla quota di fondazione. In mancanza di disponibilità di quest'ultimo dato, l'Eurocodice consente l'utilizzo del valore medio di SPT che può essere anche correlato al valore della resistenza al taglio non drenata *c<sub>u</sub>* (kPa).

Inoltre, il dato sismico sarà correlato al tipo di manufatto da realizzare che condiziona la definizione del periodo di ritorno del sisma (in funzione della vita nominale del manufatto e della sua destinazione d'uso).

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

In mancanza di misure dirette in corrispondenza dei siti delle opere previste, sono fornite valutazioni di carattere complessivo per l'intera area di studio e che considerano i valori e i valori delle prove SPT realizzate.

I dati ottenuti dalle prove SPT che non hanno raggiunto il rifiuto e realizzate nei sondaggi del settore della Piana di Susa, sono stati interpretati e corretti in base a quanto previsto dalle NTC 2008: i terreni attraversati sono caratterizzati da un valore di NSPT30 (30 metri dal p.c.) pari a circa 43 e pertanto cautelativamente tali terreni ricadono nella categoria di suolo di tipo C ovvero "depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti" (Tabella 9).

La disponibilità di dati specifici in corrispondenza di ogni infrastruttura (ponte, rilevato, edificio) permette di validare o meno il modello di azione sismica qui proposto. I dati acquisiti tramite indagini sismiche di tipo MASW realizzate nel novembre del 2012 e di cui si dispone solo in forma provvisoria e non completa, sono coerenti con le valutazioni fin qui eseguite.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_c > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
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.

Tabella 9 – Classi sismiche del sottosuolo (estratto delle NTC 2008)

#### 4.2.1 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 da far ipotizzare la possibilità di fenomeni di liquefazione potrebbero essere presenti nelle aree del fondovalle della Dora Riparia.

Per quanto riguarda la Piana di Susa e la zona di Bussoleno, nell'area indagata sulla base delle conoscenze non sono previsti spessori significativi e continui di depositi fini tali da far ipotizzare fenomeni di liquefazione.

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

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure  $qc_{1N} > 180$  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 4).

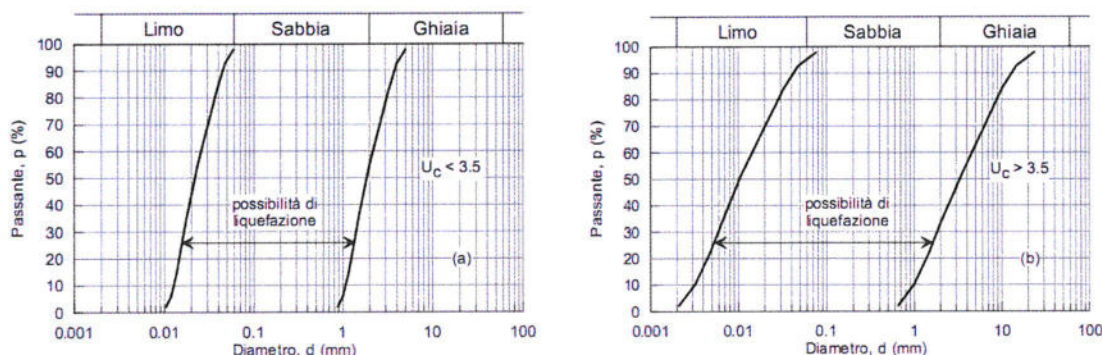
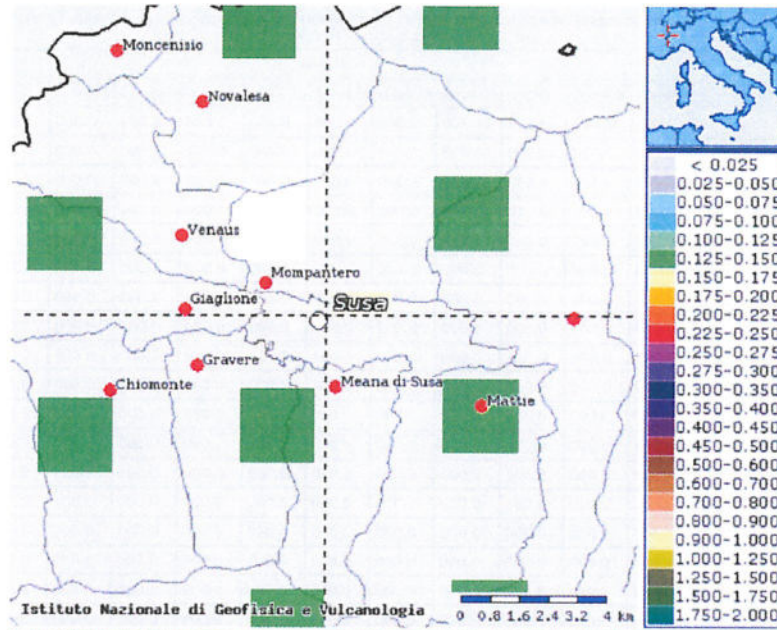


Figura 4 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione. Sinistra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$ . Destra: terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

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

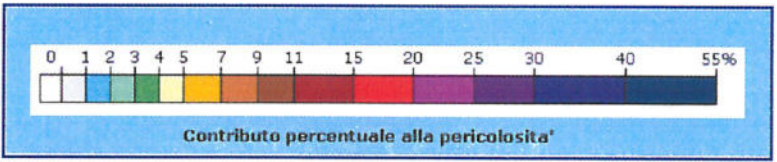
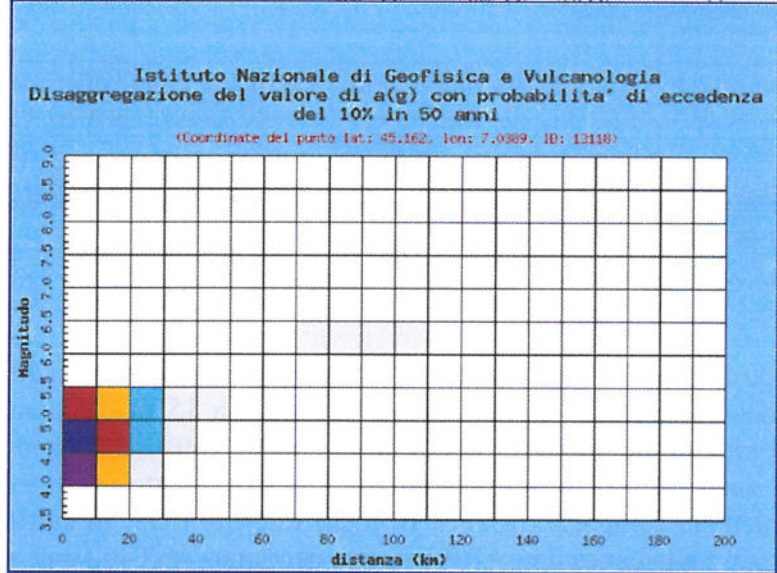
Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza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

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



→ Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a: Parametro dello scuotimento: Probabilità in 50 anni: Percentile: Periodo spettrale (sec):



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

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.710	7.730	0.828

Figura 5 – Mappe indicanti le accelerazioni in campo libero nel territorio tra la Val di Susa e la Val Cenischia (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV).

Pertanto, ai sensi del DM2008 i terreni della Piana di Susa e della piana di Bussoleno non sono suscettibili a fenomeni di liquefazione.

Al contrario, la **condizione 2** non è soddisfatta; infatti, le accelerazioni attese al suolo sono superiori a 0.1 g.

Per quanto riguarda la piana di Susa inoltre è parzialmente soddisfatta anche la **condizione 3**: la soggiacenza della falda infatti è mediamente superiore a 15 m dal piano campagna. Per quanto riguarda l'area di Bussoleno, i dati a disposizione (misura della falda dedotta dalla consultazione del database ARPA nel piezometro AST462 censito per il monitoraggio LTF) indicano che la falda sia compresa tra 15 e 10 metri di profondità. In particolare il valore di soggiacenza riportato nella banca dati ARPA risulta nel punto AST462 pari a 13 metri.



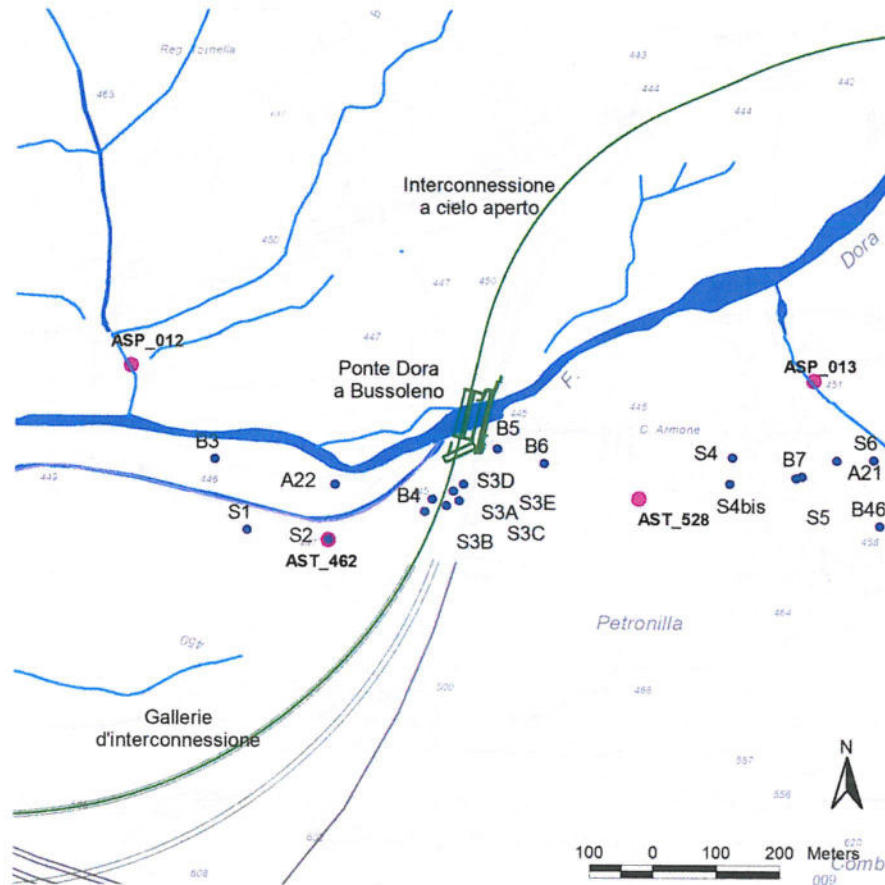


Figura 6 – Stralcio cartografico con indicazione della posizione del piezometro AST462.

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

Per quanto riguarda la **condizione 5**, l'analisi delle curve granulometriche dei campioni prelevati nei sondaggi terebrati da LTF nella Piana di Susa evidenziano l'assenza di livelli potenzialmente suscettibili di liquefazione (Figura 7) ad eccezione di un caso riscontrato nel sondaggio S22, realizzato a Crotte a circa 500 m a N di distanza dalla linea ferroviaria in progetto: il campione, prelevato a circa 7.5 m di profondità in depositi alluvionali, è relativo ad un livello fine il cui spessore risulta di circa 11 m. Tale dato, benché rilevato a distanza dall'asse del tracciato, evidenzia la potenziale eterogeneità dei materiali alluvionali che costituiscono i primi metri del fondovalle. Si precisa inoltre che sono stati considerati solo i campioni prelevati da livelli ubicati a profondità inferiore a 15 m.

Pertanto, si può cautelativamente affermare che nella Piana di Susa la condizione 5 non è verificata. Si precisa che la presenza di livelli suscettibili di liquefazione non è stata osservata nei sondaggi realizzati nell'area del progetto. Poiché nella Piana di Bussoleno non si hanno a disposizione dati granulometrici, si considera cautelativamente non verificata la condizione 5 per quest'area, benché permanga una incertezza a tal riguardo che potrà essere verificata con l'esecuzione di sondaggi specifici.

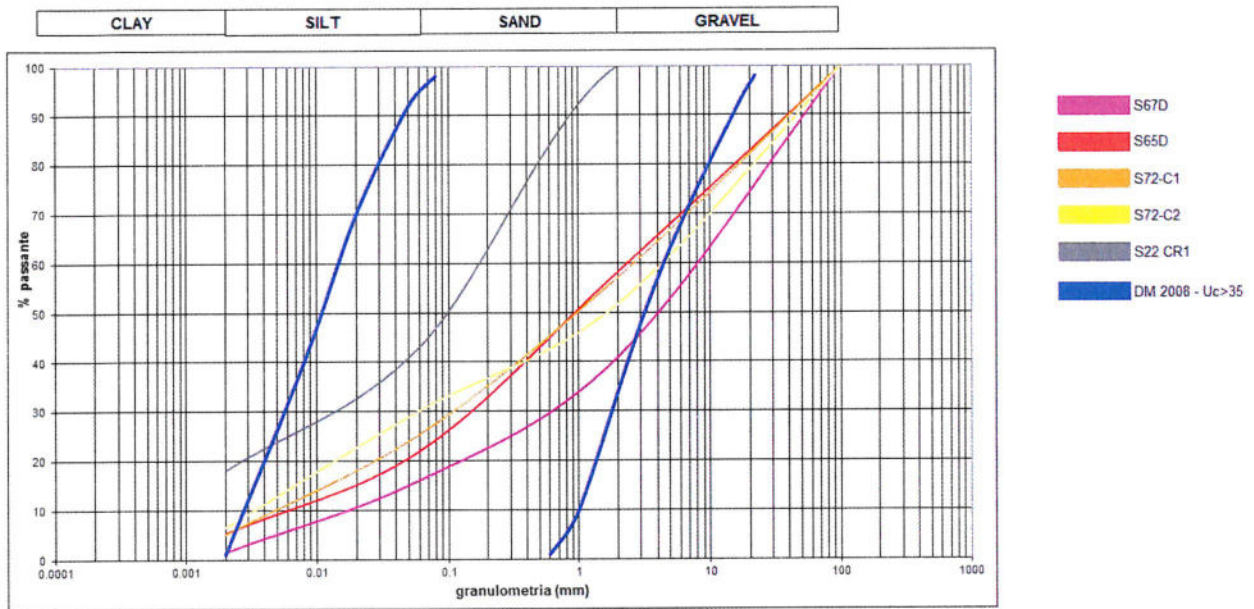


Figura 7 – Curve granulometriche di campioni prelevati nella Piana di Susa nei sondaggi effettuati da LTF, a profondità inferiori a 15 m. In blu sono indicati i limiti al cui interno si possono verificare fenomeni di liquefazione secondo il DM2008.

Tuttavia, la presenza di depositi antropici lungo la Piana di Susa potrebbe determinare una situazione di rischio a causa della possibile alto contenuto di materiale fine.

Infatti, dalla cartografia del PRGC del Comune di Susa, si evince che in corrispondenza del sito autoporto, la presenza di riporti antropici determina una condizione di potenziale suscettibilità alla liquefazione (Figura 8) a causa dell'indeterminatezza del tipo di materiali che li compongono come confermato dai sondaggi realizzati nell'autoporto che indicano una forte eterogeneità dei materiali di riporto antropico (vedere sondaggi S65, S66, S67, S68, S68/2, S69, S70 e S72 in allegato 1). Tale condizione appare comunque cautelativa considerando che la soggiacenza della falda è maggiore di 15 metri e pertanto, secondo la norma, non in grado di determinare il fenomeno di liquefazione dei sedimenti superficiali in caso di sisma.

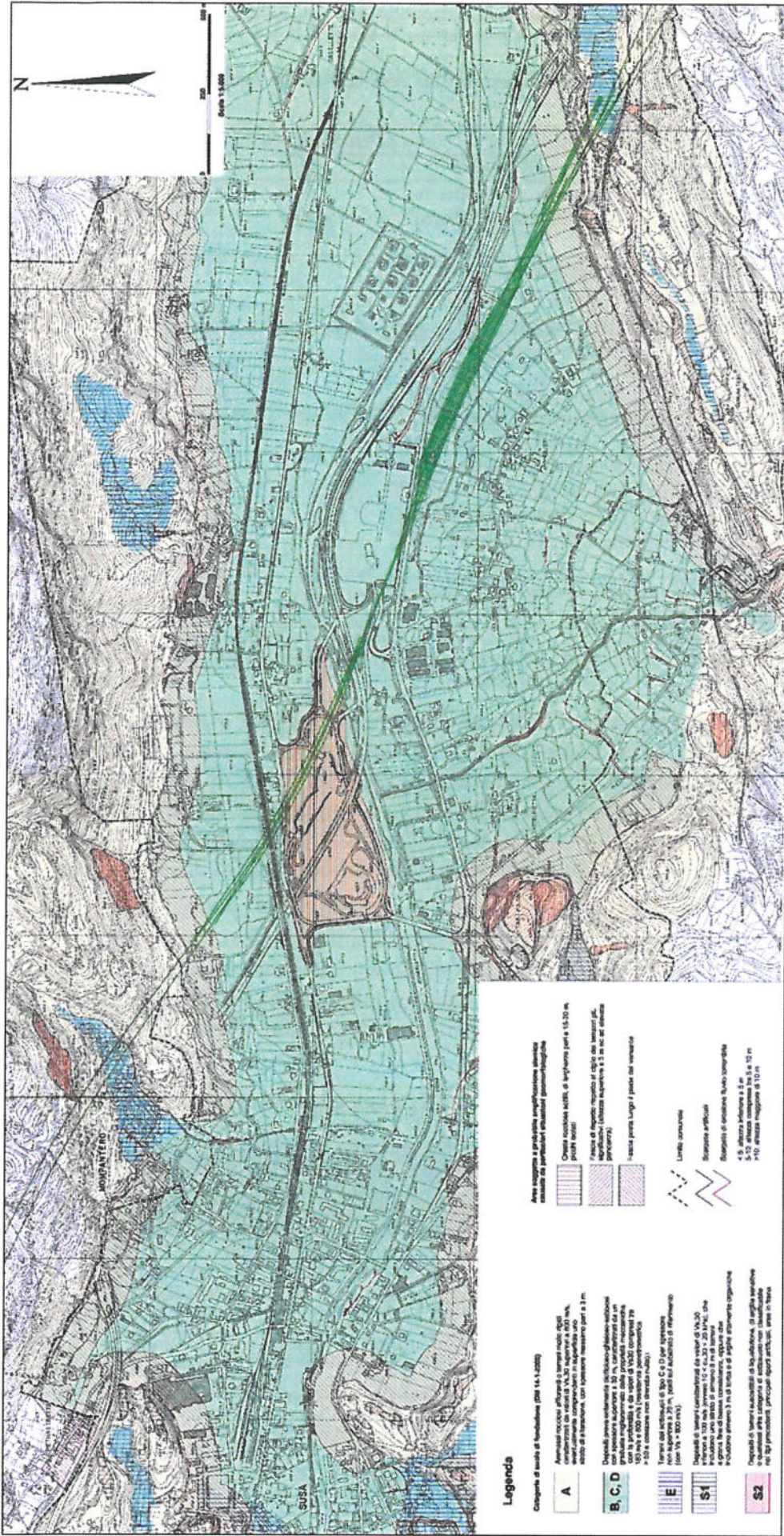


Figura 8 – Sralcio della carta di microzonazione sismica annessa al PRGC di Susa, su cui è riportato il tracciato indicativo dell'opera in progetto (linea verde)

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

	<i>Condizione</i>	<i>Piana di Susa</i>	<i>Bussoleno</i>
1	eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5	SI	SI
2	accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g	NO	NO
3	profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali	SI	NO
4	depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure $q_{c1N} > 180$ dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $q_{c1N}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa	NO	NO
5	distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dal DM (Figura 4)	NO	NO (?)

Tabella 10 – Riassunto della verifica delle condizioni indicate dal DM 2008 per la verifica della suscettibilità a liquefazione.

Come già detto, essendo in tutti i casi verificata almeno una condizione, **ai sensi del DM2008 la verifica di suscettibilità alla liquefazione non risulta necessaria**. Tuttavia, data l'importanza dell'opera in progetto, in via cautelativa si è verificata in via preliminare il potenziale di liquefazione con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto (Criterio di Ambraseys e di Seed ed Idris).

Nella successiva tabella sono riportati i principali fattori che portano alla determinazione dell'azione sismica (DM 14 gennaio 2008). Le verifiche alla liquefazione sono effettuate agli Stati Limite di Vita (SLV) considerando una vita nominale  $\geq 100$  anni e una classe d'uso pari a IV (grandi opere strategiche). Si precisa che i dati di input della tabella sono presi dal file Spettri-NTCver.1.0.3.xls (individuazione della pericolosità del sito effettuata per comune, indicando Susa e Bussoleno).

La categoria topografica corrisponde alla T1 (superfici pianeggianti con pendenza inferiore a 15°).

Stati limite	<i>Piana di Susa</i>				<i>Piana di Bussoleno</i>			
	SLE		SLU		SLE		SLU	
	SLO	SLD	SLV	SLC	SLO	SLD	SLV	SLC
Vn	100	100	100	100	100	100	100	100
Classe d'uso	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
Cu	2	2	2	2	2	2	2	2
Vr	200	200	200	200	200	200	200	200
Pvr	81%	63%	10%	5%	81%	63%	10%	5%
Tr	120	201	1898	2475	120	201	1898	2475
ag	0.080	0.098	0.204	0.219	0.079	0.098	0.203	0.219
Fo	2.428	2.436	2.531	2.547	2.420	2.429	2.530	2.546
Tc	0.246	0.253	0.281	0.285	0.244	0.252	0.280	0.283

Stati limite	<i>Piana di Susa</i>				<i>Piana di Bussoleno</i>			
	SLE		SLU		SLE		SLU	
	SLO	SLD	SLV	SLC	SLO	SLD	SLV	SLC
Categ. Suolo	C	C	C	C	C	C	C	C
$\beta_s$	0.200	0.200	0.240	0.240	0.200	0.200	0.240	0.240
Ss	1.583	1.557	1.390	1.365	1.585	1.557	1.392	1.365
St	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.583	1.557	1.390	1.365	1.585	1.557	1.392	1.365
$a_{max}$	0.127	0.153	0.284	0.299	0.125	0.153	0.283	0.299

Tabella 11 - principali fattori che portano alla determinazione dell'azione sismica (DM 14 gennaio 2008).

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

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

La relazione è la seguente:

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

Per effettuare il calcolo è stato utilizzato il software *Liquef 2.2* della *ProgramGeo* che utilizza i dati degli eventi sismici principali (magnitudo richter superiore a 4) registrati dall'anno 217 a.c. all'anno 1992 d.c. contenuti nel Catalogo sismico italiano per la zona sismogenetica in cui ricade l'area in studio (area 908 -ZS9). Nel software, i cui risultati sono riportati in Figura 5 e Figura 6 e, la magnitudo di soglia è indicata come MI, e viene confrontata con la magnitudo massima prevedibile con un determinato tempo di ritorno (Ma) calcolata partendo dagli stessi dati storici trattati con un approccio probabilistico-statistico di Gumbel.

L'elaborazione, i cui risultati sono riportati in Figura 5 e Figura 6, determina il valore dei fattori di sicurezza  $F_s$ , calcolati come rapporto tra la magnitudo massima attesa e la magnitudo di soglia: per le aree esaminate i valori calcolati sono sempre inferiori a 1, salvo in un caso per il quale il rapporto è poco superiore ad 1 (terremoto in Val Pellice del 1808, vedi Figura 10). Quindi nelle aree della Piana di Susa e dell'innesto Bussoleno, la probabilità che si verificano fenomeni di liquefazione è molto bassa. Si precisa che la liquefazione potrebbe manifestarsi in presenza di livelli fini ubicati a meno di 15 m di profondità sotto falda: tale condizione non è stata riscontrata dalle indagini realizzate finora (Tabella 12). Si precisa che i dati relativi ai sondaggi 2012 sono disponibili in versione preliminare: le assunzioni considerate dovranno essere verificate alla luce dei dati definitivi.

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

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

Figura 9 – Stima del rischio di liquefazione per l'area della Piana di Susa

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

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

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

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

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

Figura 10 – Stima del rischio di liquefazione per l'area della zona a nord dell'imbocco est di Bussoleno

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

Tabella 12 – Presenza delle condizioni stratigrafiche per cui si può verificare liquefazione in caso di sisma nei sondaggi terebrati da LTF. Si precisa che i dati relativi ai sondaggi 2012 sono disponibili in versione preliminare.

## 5. Geomorfologia

Il settore della Piana di Susa comprende un breve tratto della valle principale a valle della confluenza del Cenischia. I tratti distintivi del settore sono definiti dalla presenza dei depositi quaternari della piana alluvionale della Dora Riparia, da estesi conoidi alluvionali (Giandola, Grilli, Scaglione e Corrente) e dalla presenza alla base del versante destro di dorsali allungate in senso E-W riferibili al modellamento glaciale (area di Meana di Susa).



Figura 11 - Conoide del Rio Scaglione fotografato dal versante opposto. La freccia blu indica l'apice del conoide. Al centro della fotografia è ben visibile l'area dello svincolo autostradale SITA F.

Questa successione di dorsali è interpretata come la conseguenza della progressiva, veloce migrazione verso sinistra (NE), contemporaneamente al modesto approfondimento erosionale, del ghiacciaio principale nel corso dell'ultima glaciazione. A questa situazione fa riscontro la rapidità e la continuità del prospiciente versante sinistro.

Entrambe le situazioni morfologiche si possono inquadrare ipotizzando un sollevamento differenziale, da NNE a SSW. Il carattere localizzato del fenomeno induce a ipotizzare l'esistenza di una struttura tettonica situata ad Est che sembra corrispondere alla Faglia di Mompantero - Colle delle Finestre (ZTMF). Tale interpretazione appare avvalorata dalla



presenza in località Madonna dell'Ecova (Mompantero) di una singolare manifestazione di neotettonica lineare altrimenti difficilmente inquadrabile.

### **5.1 Forme legate alla dinamica glaciale e post-glaciale**

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").

Nello schema di Figura 12 si pone l'attenzione sull'andamento e sulla geometria del basamento sepolto. Secondo la figura è ipotizzata la presenza di un gorgia sepolta (altezza pari a circa 110 m – simile alle gorge di Susa). Tale configurazione rimane ancora un'ipotesi. Infatti, il sondaggio S66 realizzato recentemente in corrispondenza del sito autoporto si è spinto fino alla profondità di 130 metri senza intercettare il basamento roccioso. Tale dato conferma quanto già evidenziato dai dati del sondaggio 504 eseguito da SITAF nei pressi dell'autoporto che, spingendosi fino a 100 metri non aveva incontrato il basamento roccioso al di sotto dei depositi di riempimento di fondovalle.

Alla profondità di circa 55 metri è stato intercettato un livello di conglomerati cementati con potenza di circa 10 metri. Questo, comunque, non costituisce un elemento di interferenza con la realizzazione delle opere.

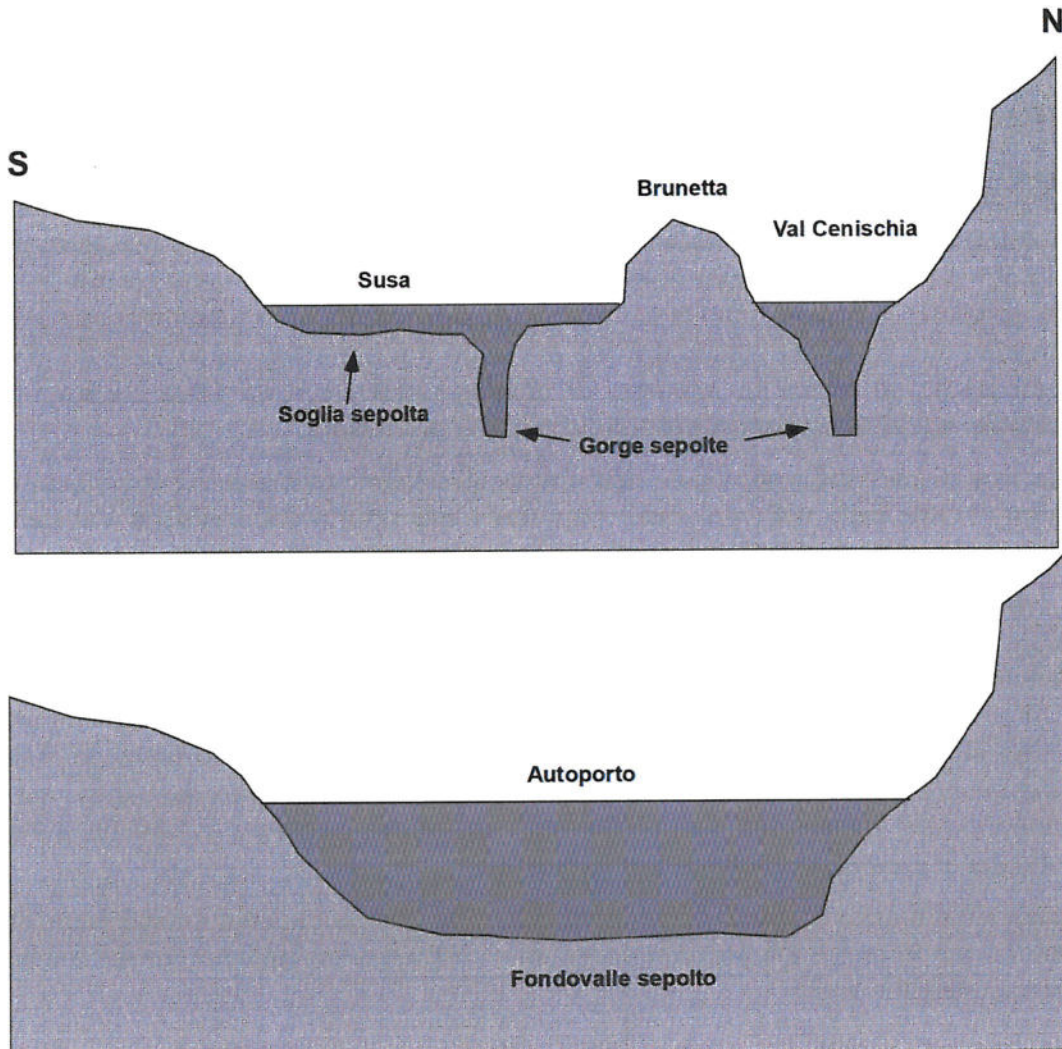


Figura 12 - Sezioni schematiche orientate N-S passanti per il concentrico di Susa (in alto) e per l'Autoporto. Si notano la soglia sepolta e le due gorge, anch'esse sepolte, il cui fondo si dovrebbe trovare a circa 460 m. L'estensione verso valle (oriente) della soglia sepolta non è per il momento conosciuta.

## 5.2 Forme legate alla dinamica dei versanti

Nel settore si riscontrano fenomeni di potenziale instabilità, testimoniati da nicchie di distacco pregresse e cadute massi. Tali evidenze sono presenti lungo i versanti tra Mompantero e Foresto, in corrispondenza del cimitero di Susa e in corrispondenza delle pareti rocciose che formano i dossi rocciosi di loc. Brunetta.

Si segnalano inoltre alcuni fenomeni di colamento veloce, ad es. sul versante immediatamente a monte di Coldimosso, sviluppatosi durante l'evento alluvionale dell'ottobre 2000. Non si esclude che analoghi fenomeni si possano verificare nelle aree di versante limitrofe.

Di questi fenomeni potenziali (colamenti veloci e caduta massi) si deve tenere conto prevedendo la realizzazione di adeguate opere di difesa (es. reti paramassi) per la messa in sicurezza degli imbocchi. Studi specifici a tale riguardo sono descritti nelle relazioni specifiche dei singoli imbocchi a cui si rimanda:

- Imbocco Mompantero tunnel di base: PD2 C3B 0123 26-70-01 10-02
- Imbocco Traduerivi galleria interconnessione: PD2 C3B 0134 65-05-01 10-01

- Imbocco Bussoleno galleria d'interconnessione: PD2 C3B 0137 65-10-01 10-01

Più in generale gli accumuli gravitativi costituiscono depositi caratterizzati dalla presenza di clasti e massi angolosi, eterometrici, con tessitura da open work a partially open work, privi di qualsiasi classazione granulometria che corrispondono geneticamente ai fenomeni classificati come crolli (falls). Inoltre comprendono gli accumuli delle frane per colamento (earth/mud flows) e derivano dalla mobilizzazione prevalentemente della coltre detritico-colluviale o della porzione più superficiale del substrato alterato e/o disgregato.

### 5.3 Forme legate alla dinamica fluvio-torrentizia

A valle dello sbocco delle Gorge di Susa, l'alveo della Dora è inciso nei depositi alluvionali di fondovalle con scarpate di altezza metrica. All'interno del concentrico di Susa le sponde sono completamente definite da muri di difesa alti fino a 5 metri, per cui l'alveotipo è monocursale. La presenza di muri di sponda e di difese longitudinali, scogliere ed argini è costante fino a valle dell'autoporto, dove per un lungo tratto l'alveo della Dora risulta addossato al muro di contenimento del rilevato autostradale. In questo settore gli interventi antropici non hanno comunque modificato l'andamento debolmente curvilineo – sinuoso dell'alveo, determinato dall'aggiramento degli apparati conoidali dei Rii Giandula e Scaglione. Nel tratto di valle, verso il confine con il Comune di Bussoleno, l'alveo risulta meno condizionato dalla presenza di opere antropiche e tende verso un alveotipo pluricursale.

In occasione degli eventi alluvionali esaminati (1957,1977, 2000 e 2008) la zona di fondovalle è stata interessata da esondazione e allagamenti da parte della Dora e dei rii laterali. In particolare si segnala che tali fenomeni sono presenti lungo il tratto in cui il tracciato in progetto si sviluppa in superficie (zona svincolo SITAF, area imbocco dell'Interconnessione).

### 5.4 Eventi alluvionali

Negli ultimi 150 anni il bacino del fiume Dora Riparia, nel tratto compreso tra la Val Cenischia e il comune di Chiusa di San Michele, è stato interessato da circa un centinaio di eventi di instabilità naturale, dei quali una settantina circa ha causato danni più o meno gravi ed estesi ad aree edificate e infrastrutture, con una media di un evento ogni due anni. Gli eventi più importanti hanno una ricorrenza media di 12 anni, quelli che hanno causato danni strutturali ad aree edificate o a singoli edifici di 9 anni.

Considerando le varie tipologie di processo che hanno causato danni, in quasi il 60% dei casi si è trattato di piene a carattere torrentizio lungo tributari minori con associati apparati conoidali, seguite da piene di corsi d'acqua in fondovalle.

I fenomeni franosi hanno provocato danni nel 17% dei casi, mentre se si considerano esclusivamente i danni strutturali ad aree urbanizzate, la percentuale diminuisce al 7%.

In merito alla distribuzione delle ricorrenze medie degli eventi con danni strutturali ad aree edificate o infrastrutture, si osserva che un lungo periodo senza eventi si è manifestato tra il 1920 ed il 1947, seguito da un decennio in cui si verificò un evento con danni strutturali mediamente ogni due anni e che terminò con una delle più catastrofiche alluvioni verificatesi in Val di Susa, quella del giugno 1957, che rappresenta anche l'ultimo evento "grave" (con danni strutturali in zone edificate e con una notevole diffusione areale). La drastica riduzione dei fenomeni, o meglio, del numero di segnalazioni di danni, che ha caratterizzato il periodo dal 1957 ad oggi potrebbe derivare dalla realizzazione delle opere di difesa idraulica e da circostanze meteorologiche meno sfavorevoli rispetto al passato.

Infine, tra gli eventi diffusi connessi alla dinamica fluviale della Dora Riparia e del Cenischia e che causarono danni anche gravi, oltre a quello del giugno 1957, si citano quelli dell'ottobre 2000 e del maggio 2008.

### 5.5 Fasce fluviali

Il fondovalle della Val di Susa è localmente normato dai vincoli definiti dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico) del Fiume Po. In corrispondenza della Piana di Susa il tracciato esaminato attraversa le fasce A e B in corrispondenza dell'alveo attivo della Dora, per una lunghezza di circa 150 m. Il tracciato inoltre si sviluppa in fascia C in sinistra idrografica per circa 550 m di lunghezza, in corrispondenza dello svincolo dell'autoporto SITAF. Si segnala inoltre la presenza di un'area identificata come RME nei pressi della confluenza tra il Torrente Cenischia e il Fiume Dora.

Per eseguire le opere previste all'interno delle fasce fluviali e delle RME è necessario realizzare misure ed interventi (p.es. rinforzo delle opere spondali, sopraelevazione dei manufatti) in modo tale che esse non costituiscano ostacolo al deflusso delle acque di piena ordinaria o straordinaria.

### 5.6 Pericolosità dei conoidi

Una prima stima della pericolosità dei conoidi dei torrenti Corrente, Scaglione e Giandula rispetto a potenziali fenomeni di debris-flow è riportata in Fontan & Stringa (2004). In ambiente alpino, i processi di erosione e sedimentazione che formano nel tempo gli apparati conoidali sono prevalentemente associati a piene torrentizie con elevato trasporto solido (water flooding) e da fenomeni di trasporto di massa (debris-flow).

L'energia e la frequenza di tali processi dipendono da molteplici fattori tra cui la quantità di pioggia (condizioni climatiche), le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del bacino di alimentazione e del conoide (pendenza, quantità e tipologia dei sedimenti a disposizione, ecc.). Il metodo AFHE (Alluvial Fan Hazard Evaluation) sviluppato e proposto dai precedenti Autori, consente di valutare la pericolosità dei conoidi alluvionali attraverso due fasi. Nella prima fase è calcolato un indice di pericolosità totale del bacino di alimentazione (HI<sub>cb</sub>) che costituisce uno degli strati informativi associati al conoide considerati nella seconda fase. La zonizzazione della pericolosità del conoide (HI<sub>af</sub>) è, infatti, determinata dalla sovrapposizione di strati informativi relativi a diversi parametri significativi legati alla morfologia del conoide, all'energia e alla frequenza dei processi attesi. In prima approssimazione la pericolosità del conoide riflette quella del bacino di alimentazione. Nella successiva tabella sono riportati gli indici HI<sub>cb</sub> di diversi conoidi posti nella piana di Susa-Bussoleno sia in alta Val Chisone. La legenda della pericolosità è:

0 – 0,05	bassa
0,05 – 0,15	moderata
0,15 – 0,30	alta
0,30 – 0,40	elevata
> 0,40	molto elevata

Nella tabella che segue sono indicati gli indici HI<sub>cb</sub> di diversi bacini di alimentazione dei rii che insistono sulla Piana di Susa

<i>Conoide</i>	<i>Hlcb</i>	<i>Conoide</i>	<i>Hlcb</i>
<b>Scaglione</b>	0,06	Combeiraut	0,30
<b>Corrente</b>	0,08	Granges	0,29
Pissaglio (Bussoleno)	0,51	Mendie	0,16
Moletta	0,09	Pis	0,32
Grilli	0,07	Pomerol	0,25
Grancomba	0,06	Salse	0,39
Giandula	0,10	Veia	0,39
Gerardo	0,37	Chisonetto	0,25
Gelassa	0,06	Rocciamelone	0,11
Pissaglio (Bruzolo)	0,27	Mignana	0,06

I conoidi evidenziati in grassetto possono avere delle interferenze con il tracciato e sono tutti caratterizzati da un indice di pericolosità basso. Il tracciato interseca la parte distale del conoide del rio Scaglione e si situa nelle immediate vicinanze del conoide del rio Corrente.

Si segnala la presenza di alcuni paleoalvei nella parte distale del conoide del Rio Scaglione, in prossimità della sua interferenza con il tracciato dell'opera in progetto: si tratta di incisioni poco accentuate, caratterizzate da sponde molto rimodellate che individuano avvallamenti di profondità circa 0,2-0,4 m, non riattivati durante gli ultimi eventi alluvionali. Le sponde del Canale di Coldimosso, situato tra l'opera in progetto e la traccia di questi paleoalvei, costituite da muri al circa 0,5-1 m, mettono in sicurezza l'opera dalle acque provenienti da questi paleoalvei in caso di loro riattivazione.

Le parti leggermente depresse poste tra i conoidi coalescenti dei rii Scaglione e Corrente possono essere soggette, durante eventi alluvionali, a ristagno di acqua.

## 6. Idrogeologia

### 6.1 Grado di permeabilità dei depositi quaternari

Nei sondaggi S65, S66 e S67 sono state realizzate complessivamente 18 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile. Le prove sono state realizzate a differenti profondità all'interno dei depositi alluvionali di fondo valle (*af*). I valori del coefficiente di permeabilità *K* ricavato da ciascuna prova di permeabilità sono riportati nella tabella sottostante.

Sond.	Prova Lefranc (n°)	da (m)	a (m)	K (m/s)	Descrizione
S65	1	7	7.5	2.26E-05	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
	2	10.5	11	1.42E-05	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
	3	17.5	18	3.30E-06	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
	4	23.5	24	8.12E-06	ghiaia medio grossolana con sabbia medio fine e matrice limosa
S66	1	19.5	20	2.58E-05	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	2	27	27.5	1.22E-05	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	3	31.5	32	4.25E-06	ghiaia eterometrica e ciottoli con sabbia medio fine e matrice
	4	39.5	40	2.30E-06	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	5	48	48.5	2.43E-06	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	6	59	60	1.63E-05	conglomerato poligenico da poco a moderatamente cementato
	7	63	64	2.20E-05	conglomerato poligenico da poco a moderatamente cementato
	8	67	68	3.70E-06	conglomerato poligenico poco cementato
	9	75	76	2.15E-06	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	10	89	90	1.59E-06	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	11	94	95	1.36E-06	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa
	12	104	105	9.27E-07	ghiaia eterometrica e ciottoli con sabbia medio-fine e matrice
S67	1	7.5	8	3.41E-06	terreno di riporto: ghiaia medio-grossolana e ciottoli in matrice
	2	14.5	15	1.16E-05	ghiaia medio-grossolana con sabbia medio-fine e matrice limosa

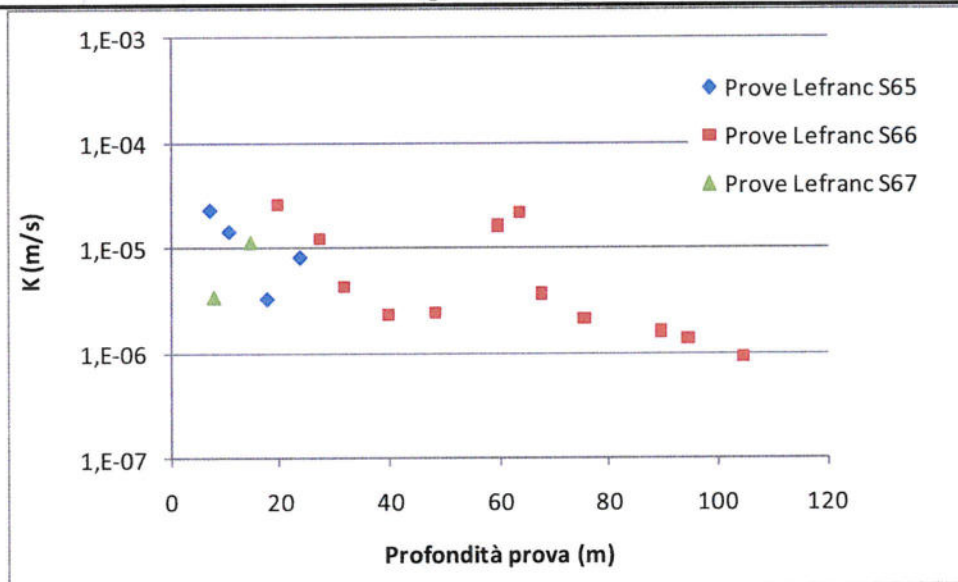


Tabella 13 – Risultati delle prove Lefranc realizzate nei sondaggi della campagna indagini 2010 realizzata da LTF

## 6.2 Soggiacenza della falda freatica

Nell'area di fondovalle le 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 - Figura 14 - e del rio Giandula). In questi settori la soggiacenza della falda diminuisce progressivamente verso le aree di alimentazione.

In corrispondenza del portale delle gallerie di Interconnessione in località Traduerivi, sarà opportuno verificare se le opere possano in qualche maniera determinare uno sbarramento o

deviazione dei flussi provenienti dal conoide Scaglione. In tal caso non è da escludere la possibilità di allagamenti in una zona già soggetta a inondazioni in seguito alle piene della Dora Riparia.

La direzione di deflusso coincide con l'asse vallivo principale. Come indicato in Figura 14 e in Figura 15 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. Il punto AST684 corrisponde al sondaggio LTF S66 mentre il punto AST184 al sondaggio 504 realizzato da SITAF.

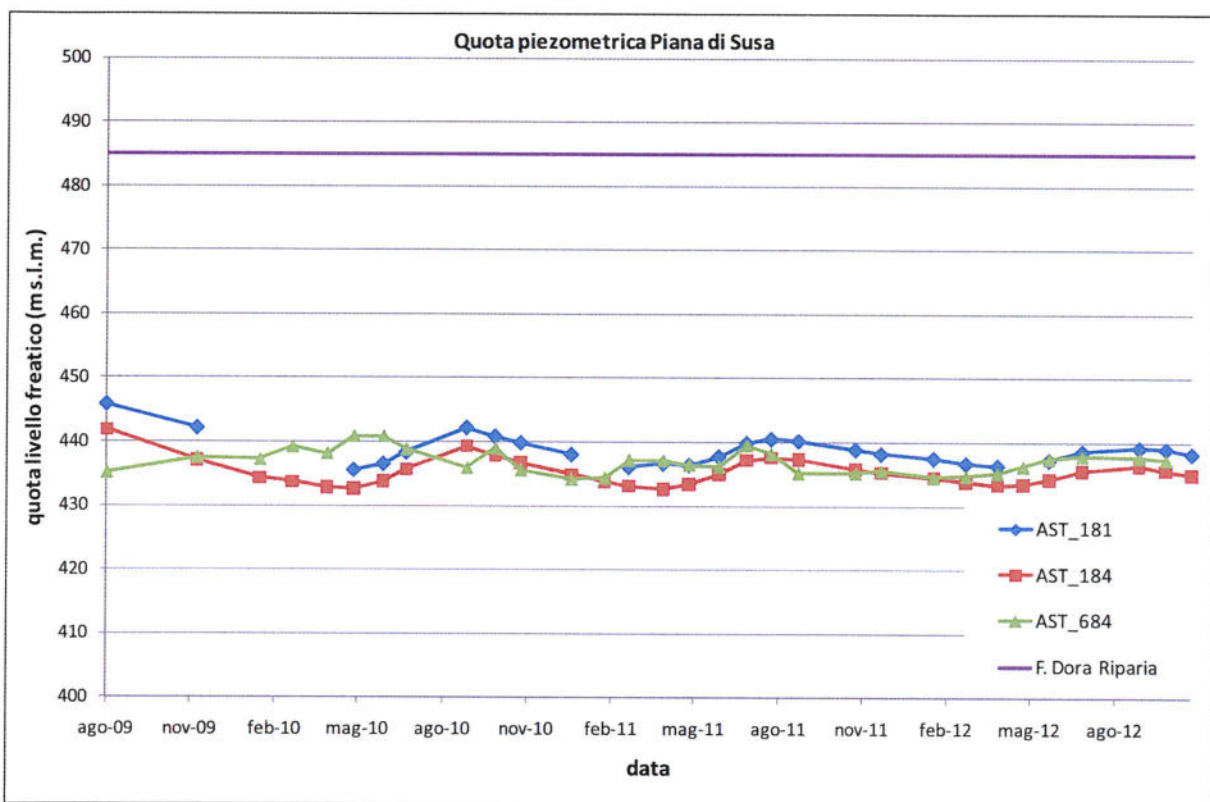


Figura 13 – Andamento della falda freatica nella Piana di Susa. L'ubicazione dei punti di misura è indicata in Figura 14 tranne il punto AST181 ubicato alla confluenza del T. Cenischia nella Dora Riparia e che ricade fuori dallo stralcio cartografico. Il punto ricade circa 700 metri a sinistra lungo il corso della Dora Riparia.

### 6.3 Modello di flusso

La complessa evoluzione quaternaria del settore di studio, ha determinato una talvolta forte eterogeneità verticale della composizione stratigrafica con alternanza di livelli acquiferi prevalentemente sabbioso - limosi e sabbioso - ghiaiosi e livelli acquiclude limoso - argillosi.

Allo stato attuale, i depositi quaternari della Piana di Susa ricadono nel complesso idrogeologico Q1. La realizzazione di ulteriori prove di permeabilità potrà fornire elementi di dettaglio rispetto alle caratteristiche idrodinamiche dei terreni attraversati. In particolare si

verificherà l'opportunità di differenziare i depositi di fondovalle del settore di Susa da quelli di Bussoleno ipoteticamente attribuiti a una facies caratterizzata da più alta percentuale di sedimenti fini.

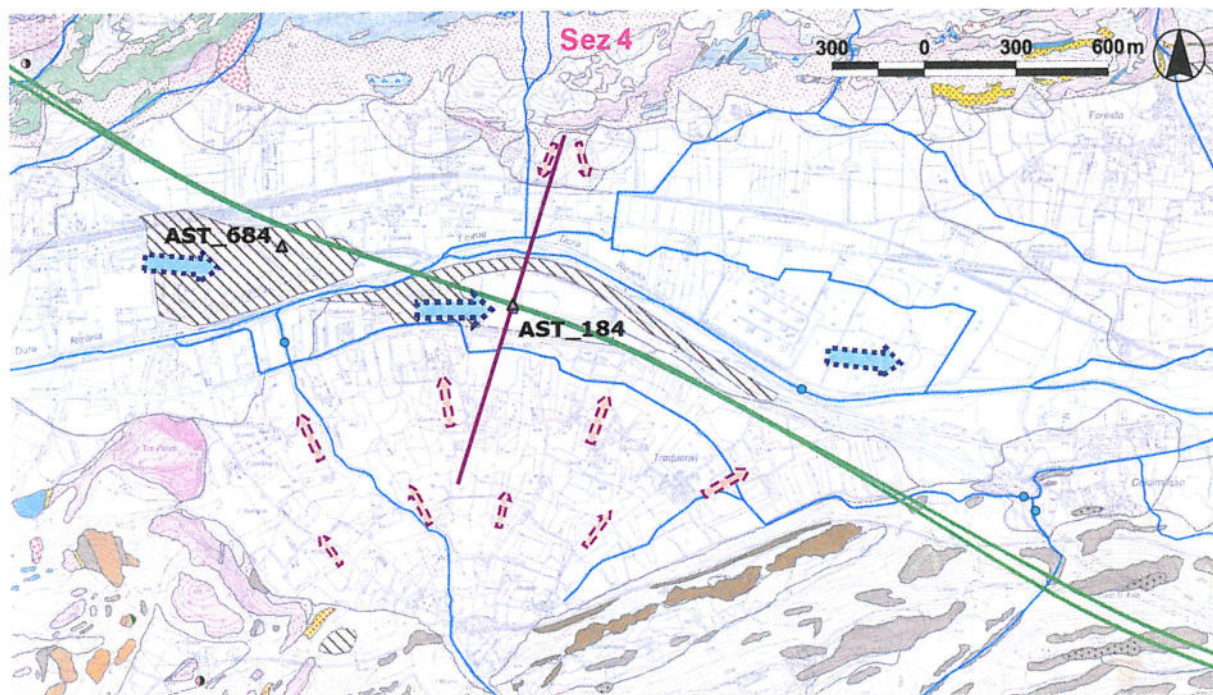


Figura 14 – Linee di flusso che indicano i circuiti idrici principali riconoscibili nel settore della Piana di Susa. Le linee azzurre indicano la direzione di deflusso della falda di fondovalle. Le linee rosa le linee di flusso associate ai flussi presenti nella vasta zona di conoidi del rio Scaglione. La sezione idrogeologica indicata in figura con la dicitura Sez.4 è riportata in Figura 15.

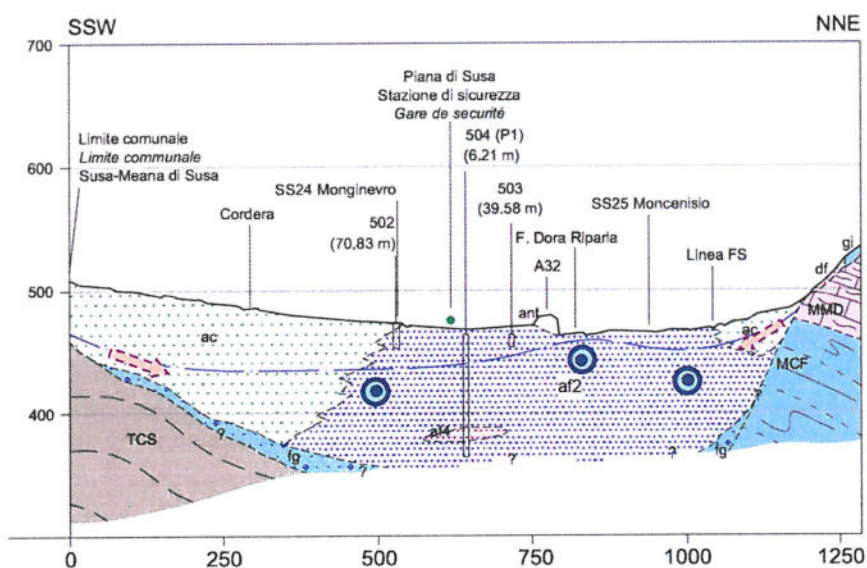


Figura 15 – Sezione idrogeologica (Sez.4 di Figura 14). I cerchi blu con il punto centrale indicano flussi uscenti verso chi guarda la figura. Sono indicati con le frecce rosa i flussi trasversali all'asse vallivo e provenienti dai conoidi laterali.



**Allegato 1 – Sondaggi (l'insieme delle stratigrafie è riportato nel documento PD2 C3B 0019 00-05-05 10-02 – Indagini esistenti)**

