

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GEOLOGIA

PROGETTO PRELIMINARE L.O. N.443/01

**NUOVA LINEA TORINO LIONE
TRATTA NAZIONALE**

DOCUMENTO DI RISPOSTA ALLE RICHIESTE DEL MATTM
COMMISSIONE SPECIALE VIA (prot. CTVA-2011-0002183 del 09/06/2011)

Relazione tecnica di risposta al quesito n.13

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

D040 00 R 69 RH SA130X 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	S. Rodani	Dic. 2011	S. Polimeni	Dic. 2011	M. Della Vedova	Dic. 2011	F. Marchese Dic. 2011

ITALFERR S.p.A.
Dot. Geologo Francesco MARCHESI
Responsabile GEOLOGIA
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: D040 00 R 69 RH SA130X 001A.doc

n. Elab.: 1



Questo progetto è cofinanziato dalla Comunità Europea

INDICE

1	PREMESSA	3
2	QUESITO 13.....	4
3	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA	5
3.1	ZONE STABILI	7
3.2	ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI	7
3.2.1	<i>Categorie di Sottosuolo</i>	8
3.3	ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ	10
3.4	AREE SOGGETTE A POTENZIALI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	10
3.4.1	<i>Criterio di Ambraseys</i>	15
3.4.2	<i>Metodo di Seed e Idriss (1982)</i>	17
3.5	FAGLIE	19
3.6	CONCLUSIONI	23
4	PIANO DELLE INDAGINI INTEGRATIVE	25
4.1	CARATTERISTICHE DELLE PROVE CROSS-HOLE E DOWN-HOLE	25
4.2	CARATTERISTICHE DELLA SISMICA A RIFRAZIONE	25

1 PREMESSA

Il presente documento è stato emesso in risposta alle osservazioni formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Commissione Speciale VIA (prot. CTVA-2011-0002183 del 09/06/2011) concernenti diversi aspetti di natura geologico ambientale.

In particolare, il documento tratta il quesito n. 13.

2 QUESITO 13

Dal documento di Richiesta Integrazioni del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, si riporta per la Componente Suolo e Sottosuolo la richiesta contenuta nel punto 13.

In relazione alla pericolosità sismica delle aree interferite, pur tenendo presente il basso rischio sismico evidenziato nelle relazioni geologiche–tecniche, si ritiene utile che il proponente effettui:

Una valutazione della pericolosità sismica fornendo una cartografia di maggiore dettaglio per il settore della piana alluvionale del fiume Dora Riparia nel comune di S. Ambrogio di Torino, attraversata dal tracciato iniziale della Tratta Nazionale in progetto in sotterraneo sotto basse coperture e sottofalda, e dove sono presenti le condizioni geolitologiche – strutturali, idrogeologiche e geomorfologiche più suscettibili di fenomeni di amplificazione sismica e/o liquefazione, evidenziando le aree più critiche che possono interferire con le opere in progetto.

Tale approfondimento è stato eseguito sulla base del primo livello di approfondimento delle Linee guida “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (APAT 2008), propedeutico ad eventuali approfondimenti (livelli 2 e 3).

Collegata a questa relazione tecnica è l'elaborato cartografico:

- D040 00 R 69 G4 SA130X 001 A: Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, alla scala 1:10.000.

3 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

L'andamento delle strutture geologiche superficiali e profonde, i movimenti recenti, la distribuzione degli eventi sismici e la ricostruzione del tipo di movimento ha premesso l'individuazione di zone omogenee dal punto di vista della sismicità. In Italia le zone sismogenetiche sono state individuate dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e la più recente zonazione è quella definita dalla sigla ZS9 del 2004, costituita da 42 zone sorgente. Il principale meccanismo responsabile della tettonica attiva è legata alla convergenza tra Adria e Europa (Meletti e Valensise, 2004). In particolare nel settore alpino esaminato, data la vicinanza al distretto sismico pinerolese, non si escludono altri meccanismi geodinamici. L'area in esame si colloca nella zona sismogenetica 908 caratterizzata da terremoti poco profondi (8-12 km) con meccanismi prevalentemente trascorrenti.

La pericolosità sismica del settore della piana alluvionale del fiume Dora Riparia nel comune di S. Ambrogio di Torino - Avigliana, attraversata dal tracciato iniziale della Tratta Nazionale in progetto in sotterraneo sotto basse coperture e sottofalda, è stata oggetto di un approfondimento per evidenziare le condizioni geolitologiche – strutturali, idrogeologiche e geomorfologiche più suscettibili di fenomeni di amplificazione sismica e/o liquefazione, evidenziando le aree più critiche che possono interferire con le opere in progetto.

Tale approfondimento è stato eseguito sulla base del primo livello di approfondimento delle Linee guida "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (APAT 2008), propedeutico ad eventuali approfondimenti (livelli 2 e 3). Consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone a comportamento sismico omogeneo sulla base delle informazioni desunte dalla carta delle indagini e dalla carta geologica geomorfologica del Progetto Preliminare.

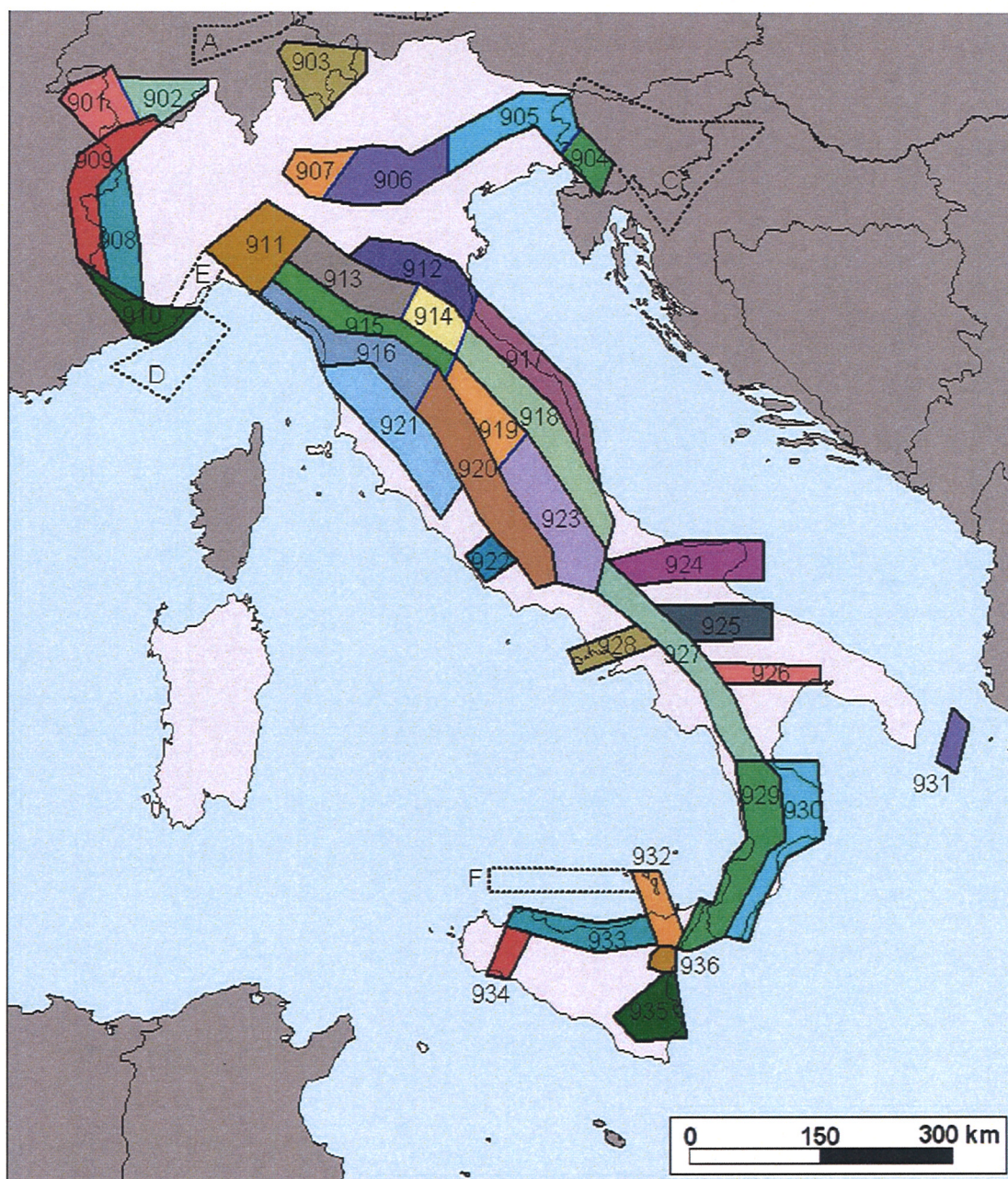


Figura 3.1: zonazione sismogenetica ZS9. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica. Il significato del colore (blu o nero) dei bordi delle zone è spiegato nel testo. Il colore delle zone non è invece significativo.

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è il risultato di detto approfondimento. Tale carta, redatta alla scala 1:10.000, comprende una fascia della larghezza di circa 1 km ai lati del tracciato, estensione sufficiente per inquadrare le

problematiche geologiche e geotecniche in prospettiva sismica dell'area. In particolare sono stati sviluppati i seguenti aspetti:

- caratterizzazione del substrato geologico;
- caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico;
- definizione di forme geomorfologiche di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.

La carta distingue tre tipologie di zone:

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

3.1 Zone stabili

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

La **zona 1** corrisponde a zone stabili caratterizzate da $V_s \geq 800$ 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°).

La **zona 2** corrisponde alle aree in cui il bedrock è ricoperto da suoli e prodotti di origine detritico-colluviali con spessori inferiori a 5 m.

3.2 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

All'interno delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale, sono state distinte cinque zone omogenee caratterizzate dalla presenza di terreni di copertura ($V_s < 800$ m/s) con spessori superiori a 5 m.

Zona 3: corrisponde ad aree in cui il bedrock è ricoperto da depositi glaciali indifferenziati (di alloggiamento e di ablazione) con spessori compresi tra 5 e 15 m.

Zona 4: corrisponde ad aree costituite da depositi glaciali indifferenziati (till di allogamento e di ablazione costituenti l'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana) con spessori maggiori di 30 m.

Zona 5: corrisponde ad aree costituite da depositi glaciali indifferenziati (till di allogamento e di ablazione costituenti l'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana) con spessori maggiori di 30 m con presenza, nei primi 10 m, di depositi lacustri, palustri con possibili orizzonti torbosi.

Zona 6: corrisponde alle aree di fondovalle costituite da depositi fluviali o fluvio-torrentizi sciolti, a granulometria grossolana in cui il massimo livello di soggiacenza della falda superficiale si attesta a circa 5 m di profondità. A profondità maggiori è presente un acquifero multifalda, con locali falde in pressione.

Zona 7: corrisponde alle aree di fondovalle costituite da depositi fluviali o fluvio torrentizi sciolti, a granulometria grossolana ricoperte da depositi sabbiosi-limosi e limosi con spessore molto variabile, generalmente compreso tra 5 e 20 m, con massimo livello di soggiacenza della falda superficiale che si attesta a circa 5 m di profondità. A profondità maggiori è presente un acquifero multifalda, con locali falde in pressione.

Zona 8: corrisponde alle aree di fondovalle costituite da terreni di riporto di varia natura, con spessori compresi tra 5 e 10 m che ricoprono terreni della zona 7.

3.2.1 Categorie di Sottosuolo

Ai sensi del DM 14.01.2008, le categorie di sottosuolo corrispondono a fattori geolitologici e 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 amplificazione dovuta a caratteri litologici si riferiscono alle tipologie di terreno riportate nel DM 14/1/2008.

A	<p><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.</p> <p>Nell'area in studio corrisponde al substrato roccioso metamorfico affiorante e/o ricoperto da suoli.</p>
B	<p><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).</p> <p>Nell'area in studio corrisponde a potenti accumuli di depositi detritico-colluviali, ai terreni glaciali (till), ai terreni lacustri/fuvioglaciali e ai terreni alluvionali grossolani.</p>
C	<p><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).</p> <p>Nell'area in studio corrisponde ai terreni lacustri/fuvioglaciali.</p>
D	<p><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).</p> <p>Non presenti nell'area in studio</p>
E	<p><i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i>, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</p> <p>Nell'area in studio corrisponde ai terreni lacustri/fluvioglaciali con spessori minori di 20 m su terreni A o B (zone 5, 7, 8).</p>
S1	<p>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.</p> <p>Non presenti nell'area in studio.</p>
S2	<p>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti. Corrispondono ai terreni delle zone 7 e 8.</p> <p>Nell'area in studio corrisponde ai terreni lacustri/fluvioglaciali con spessori minori di 20 m su terreni A o B con falda superficiale prossima al piano campagna (zone 5, 7, 8).</p>

3.3 Zone suscettibili di instabilità

All'interno delle zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio corrispondono alle aree in frana (FR) ed alle aree in cui le condizioni stratigrafiche ed idrogeologiche potrebbero dare luogo a fenomeni di liquefazione (LI).

In accordo con l'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI), le aree in frana sono state distinte per tipologia:

- Crollo o ribaltamento (in corrispondenza dei fronti delle cave inattive di serpentino (Sant'Ambrogio);
- Frane rotazionali;
- Colata rapida (soil-slip);
- Frana complessa;

e per attività:

- Attivo/riattivato/sospeso;
- Quiescente.

3.4 Aree soggette a potenziali fenomeni 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.

Corrispondono alle zone omogenee 7 e 8 in cui, per i primi 15 m, sono presenti terreni sabbiosi, sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi con falda superficiale a scarsa soggiacenza.

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 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed i nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (Figura 3.1).

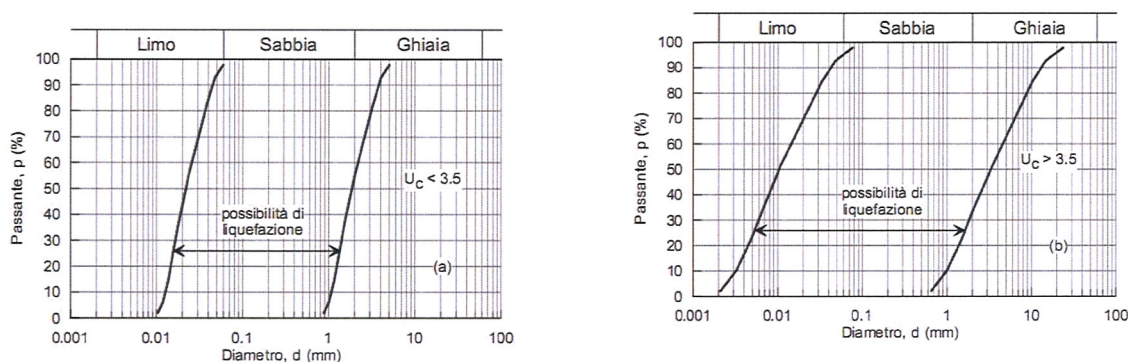


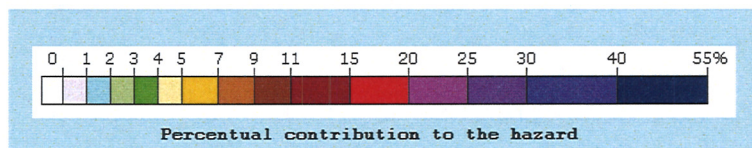
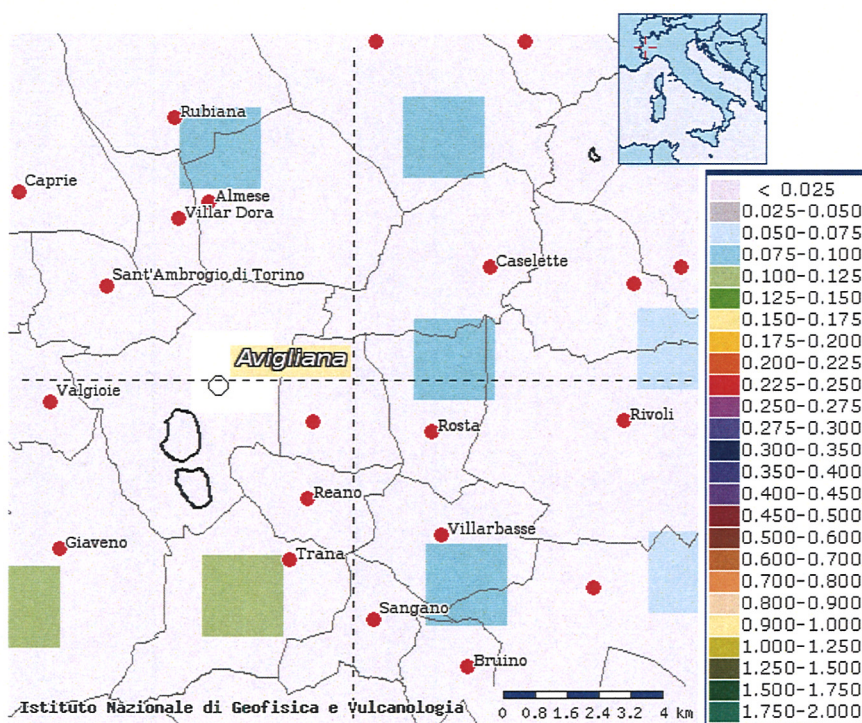
Figura 3.4.1: fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione. Sinistra: terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$. Destra: terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$

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 1, 2, 3, 4, 5 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere anche valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima

attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Nell'area indagata in accordo con il grado di approfondimento del livello 1 ed con il metodo semplificato del DM 14/01/2008, i terreni con terreni fini sotto falda sono presenti nelle zone omogenee 7 e 8 in cui la condizione 1 è soddisfatta in quanto la magnitudo media attesa è di 4.7, inferiore a 5 (Figura 3.4.2). Pertanto, in prima approssimazione, i terreni fini presenti nelle zone omogenee 7 e 8 non sono suscettibili a fenomeni di liquefazione.



Distance in km	Disaggregation of PGA with probability of exceedance of 10% in 50 years (Coordinates of the point lat: 45.0807, lon: 7.4023, ID: 13567)										
	Magnitude										
	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	21.200	25.800	7.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	9.610	16.300	7.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.640	4.310	3.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.039	0.801	1.170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.033	0.304	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.001	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	0.017	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	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

Mean values		
Magnitude	Distance	Epsilon
4.710	11.200	0.805

Figura 3.4.2: mappe indicanti le accelerazioni in campo libero del territorio di Avigliana (Probabilità in 50 anni: 10%; Percentile: 50), tabelle dei dati disaggregati e magnitudo attesa (fonte sito web INGV).

Le analisi granulometriche effettuate mostrano fusi con coefficienti di uniformità (U_c) maggiori di 3.5 che ricadono in parte, ai sensi del DM 14-1-2008, in un campo in cui è possibile la liquefazione (Figura 3.4.3).

Tra le curve che ricadono nel campo con possibilità di liquefazione è possibile distinguere quelle derivanti da campioni prelevati a profondità maggiori di 15 m (profondità oltre la quale la liquefazione non può verificarsi in quanto il carico litostatico è troppo elevato) e quelle comprese tra 0 e 15 m (in cui è possibile la liquefazione).

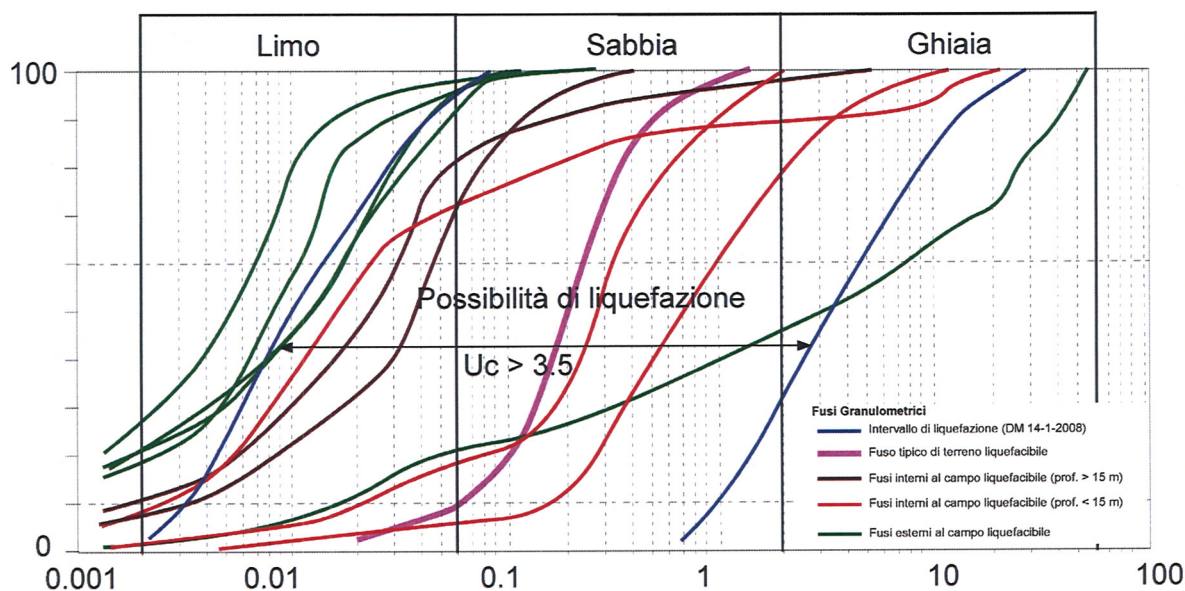


Figura 3.4.3: sovrapposizione delle analisi granulometriche effettuate (amaranto) con la zona a possibile liquefazione nel caso di $U_c > 3.5$.

Visto che la soggiacenza media stagionale della falda si colloca a meno di 15 m dal piano campagna e che alcuni fusi rientrano nel campo della liquefazione, si è ritenuto cautelativo verificare 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).

Sono state ipotizzate strutture superficiali in terreno pianeggiante di categoria C, situate nel comune di Avigliana che ricade in zona 3 ai sensi della DGR n. 61 - 11017 del 17/11/2003 che ha recepito la classificazione sismica definita nell'OPCM 3274/2003.

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 ≥ 100 anni e una classe d'uso pari a IV (grandi opere strategiche).

Stati limite	SLE		SLU	
	SLO	SLD	SLV	SLC
Vn	100	100	100	100
Classe d'uso	IV	IV	IV	IV
Cu	2	2	2	2
Vr	200	200	200	200
Pvr	81%	63%	10%	5%
Tr	120	201	1898	3899
ag	0.060	0.075	0.163	0.177
Fo	2.520	2.510	2.524	2.530
Tc	0.240	0.250	0.277	0.280
Cat Suolo	C	C	C	C
≥ s	0.200	0.200	0.200	0.200
Ss	1.500	1.500	1.500	1.500
St	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.500	1.500	1.500	1.500
a _{max}	0.091	0.112	0.245	0.266

Tabella 3.4.1 - principali fattori che portano alla determinazione dell'azione sismica (DM 14 gennaio 2008)

Sulla base della Vs30, ricavata mediante due prove geofisiche down-hole effettuata nei sondaggi S1 e S2 (Carta geologica) risultano valori di circa 352 e 358 m/s corrispondenti alla categoria di sottosuolo C.

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

3.4.1 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:

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

Sono stati utilizzati i dati degli eventi sismici principali registrati dall'anno 217 a.c. all'anno 1992 d.c. contenuti nel Catalogo sismico italiano per la zona sismogenetica 908 (ZS9) in cui ricade l'area in studio.

Il rapporto tra la magnitudo M del sisma attesa nel sito per un tempo di ritorno pari a 200 anni e M_s è sempre inferiore a 1 (Tabella 3.2), tranne che nel caso del terremoto con epicentro a Tavernette (Cumiana, TO). La probabilità che si verifichino fenomeni di liquefazione è molto bassa; si ricorda che tali fenomeni possono verificarsi fino a 15-20 m di profondità ed interessare opere con fondazioni superficiali.

Località	M	distanza	M_s	M/M_s
PINEROLO	4.8	22.2	6.0	0.8
PINASCA	4.8	16.6	5.9	0.8
CUNEO	4.8	74.6	6.7	0.7
TARANTASCA	5.2	63.5	6.6	0.8
PINASCA	4.8	16.6	5.9	0.8
CUNEO	5.0	76.9	6.7	0.7
DRONERO	5.0	67.3	6.6	0.8
Luserna	4.6	33.3	6.2	0.7
VILLAFRANCA	5.4	32.6	6.2	0.9
Valle del Chisone	5.3	25.4	6.1	0.9
Valle di Lanzo	5.2	22.9	6.0	0.9
M. ORSIERA	5.2	21.3	6.0	0.9
Valle del Pellice	5.7	30.4	6.2	0.9
Boves	4.8	82.7	6.8	0.7
LIMONE	4.8	97.2	6.9	0.7
Valle del Chisone	4.8	23.6	6.1	0.8
VILLANOVA	4.8	45.0	6.4	0.8
S.DAMIANO	5.2	67.8	6.6	0.8
REVELLO	4.8	52.2	6.5	0.7
LIMONE	4.8	91.2	6.8	0.7
VAL DI SUSÀ	5.3	10.9	5.7	0.9
S.DAMIANO	4.6	67.6	6.6	0.7
LIMONE	4.8	91.6	6.8	0.7
M. LERA	4.6	23.8	6.1	0.8
BOVES	4.8	82.0	6.8	0.7
VALDIERI	4.6	81.9	6.8	0.7
TORRE PELLICE	4.6	30.1	6.2	0.7
VALDIERI	4.6	82.3	6.8	0.7
TAVERNETTE	5.4	7.9	5.5	1.0
VINADIO	4.6	87.2	6.8	0.7
VAL DI SUSÀ	4.9	15.6	5.9	0.8
VAL DI SUSÀ	4.9	23.9	6.1	0.8
ALPI COZIE	4.7	60.5	6.6	0.7
M. VISO	4.8	46.8	6.4	0.8
DRONERO	4.7	63.3	6.6	0.7
CUNEESE	4.7	88.1	6.8	0.7
GIAVENO	4.8	5.7	5.4	0.9
CELLE DI MACRA	4.8	66.0	6.6	0.7

Località	M	distanza	Ms	M/Ms
GIAVENO	5.1	10.0	5.7	0.9
CANAVESE	4.8	19.3	6.0	0.8

Tabella 3.4.1: principali registrati dall'anno 217 a.c. all'anno 1992 d.c. contenuti nel Catalogo sismico italiano all'interno della zona sismogenetica 908 (ZS9) in cui ricade l'area in studio.

3.4.2 Metodo di Seed e Idriss (1982).

Il metodo richiede che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

La suscettibilità alla liquefazione del deposito è espresso da un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T):

$$F_s = \frac{R}{T}$$

Un deposito è considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza è minore di 1.

La grandezza T viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF}$$

a_{\max} = accelerazione sismica massima;
 g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
 σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ_{v0}' = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
 r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:
 $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m
 $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m
 $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m
 $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

MSF

= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma, ricavabile con la relazione

$$MSF = \left(\frac{M}{7.5} \right)^{-3.3}$$

se $M \leq 7.5$ o con la formula

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

se $M > 7.5$.

Nel metodo di Seed & Idriss (1982) la resistenza alla liquefazione R può essere stimata con la seguente formula:

$$R = Na / 90$$

con:

Na

$$= N_{spt} \left(\frac{1.7}{\sigma_v + 0.7} \right) + N_1$$

σ_v (kg/cmq)

= pressione verticale efficace;

N_1

= 0 se $d_{50}(\text{mm}) > 0.25$, 7.5 se $d_{50}(\text{mm}) \leq 0.25$.

Il numero di colpi N_{spt} e il D_{50} (Tabella 3.4.3 e Tabella 3.4.4), con un terremoto di riferimento di $M = 4.7$, evidenzia che i depositi hanno un indice di rischio molto basso di liquefazione e il coefficiente di sicurezza alla liquefazione F_s è sempre molto maggiore di 1.3.

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Seed e Idriss (1982)

Profondità (m)	N _{spt}	Gamma (t/m ³)	d ₅₀ (mm)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm ²)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione F _s
5.5	18	1.75	0.8	0.104	0.288	12.97
7.5	56	1.1	0.04	0.11	0.68	28.89
15.5	22	1.1	0.015	0.126	0.262	9.74
21	6	1.1	0.008	0.112	0.12	5.02
24	28	1.1	0.015	0.097	0.233	11.21

Profondità tetto falda (m): 6

Profondità base falda (m): 30

Accelerazione sismica di progetto (g) = 0.163

Magnitudo di riferimento = 4.7

Indice di liquefazione = 0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 4.67

 $F_s = MSF \times R/T$

Tabella 3.4.2: Parametri d'ingresso per il sondaggio S1 e coefficiente di sicurezza alla liquefazione

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Seed e Idriss (1982)

Profondità (m)	N _{spt}	Gamma (t/m ³)	d ₅₀ (mm)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cm ²)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione F _s
10	28	1.1	0.8	0.102	0.423	19.41
18	5	1.1	0.04	0.107	0.125	5.49
21	7	1.1	0.015	0.1	0.13	6.08
27.5	9	1.1	0.008	0.094	0.134	6.64
30	16	1.1	0.015	0.092	0.162	8.23

Profondità tetto falda (m): 6

Profondità base falda (m): 30

Accelerazione sismica di progetto (g) = 0.163

Magnitudo di riferimento = 4.7

Indice di liquefazione = 0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 4.67

 $F_s = MSF \times R/T$

Tabella 3.4.3: parametri d'ingresso per il sondaggio S2 e coefficiente di sicurezza alla liquefazione

3.5 Faglie

Le litologie costituenti il basamento roccioso affiorante allo sbocco della Valle di Susa sono raggruppate in tre unità tettonostratigrafiche separate da contatti tettonici complessi, talora ripiegati e più volte riattivati.

Da est verso ovest le unità presenti sono le seguenti (Pognante, 1980; Nicolas, 1968):

- Unità del Massiccio Ultrabasico di Lanzo (UML);
- Unità oceanica della bassa Valle di Susa (UBS; Zona Piemontese s.l.);
- Unità del Dora – Maira (UDM).

L'UML è costituita principalmente da rocce ultrabasiche interpretate come scaglia di mantello sotto-continentale.

L'UBS è costituita sia da rocce basico – ultrabasiche che da subordinati metasedimenti micaceo – carbonatici e rappresenta una successione di crosta oceanica.

L'UDM è composta da rocce silicatico – carbonatiche rappresentanti una porzione di crosta continentale di pertinenza del paleo-margine della placca europea.

Tutte le unità hanno subito una storia complessa storia tettono-metamorfica alpina (tra 140 e 25 Ma) che ha determinato complessi piegamenti dei corpi litologici, dislocazioni lungo zone di taglio – duttili e fragili, e più eventi metamorfici che comprendono facies di alta pressione bassa temperatura (HP-LT) che evolvono in facies di basso grado.

A grande scala il contatto tra l'UML e l'UBS è individuato da una zona di taglio duttile, orientata N-S, a scala chilometrica nota come Zona Viù – Locana, interpretata come zona di subduzione del bacino oceanico (Nicolas et al., 1972), è costituita da un insieme di scaglie di ofioliti (rocce basiche e ultrabasiche) e calcescisti (metasedimenti).

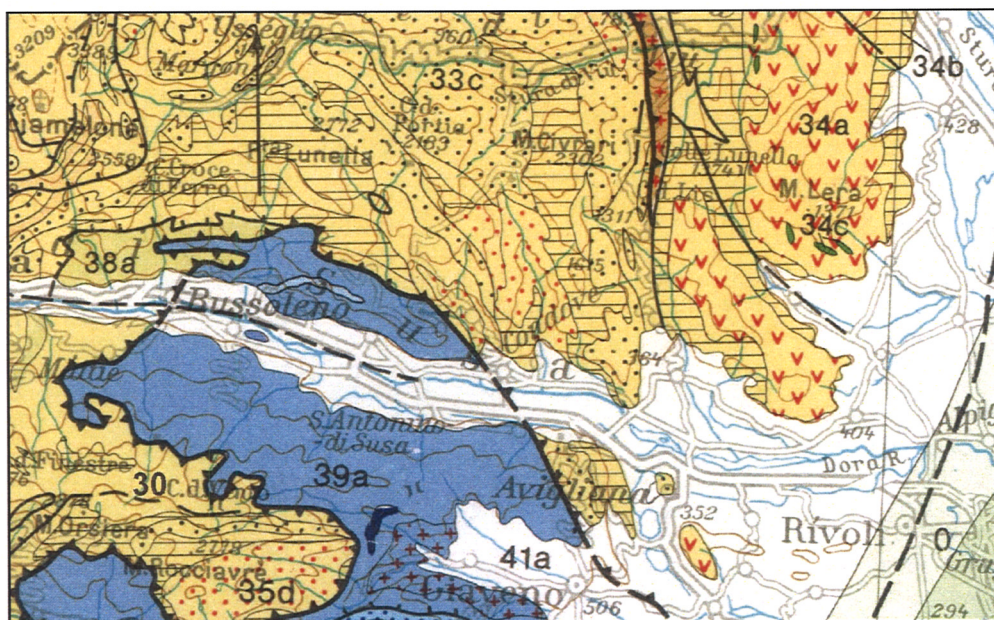


Figura 3.4.4: schema tettonico a grande scala (1:500.000) del settore di interesse. Unità Dora – Maira (UDM): 39a=basamento metamorfico pre-alpino, 38a=coperture mesozoiche; Unità della Bassa Valle di Susa (UBS): 30=calcescisti indifferenziati, 33c=metabasalti, 35d= Mg e Fe-Ti-gabbri, 34b=serpentiniti antigoritiche; Unità del Massiccio di Lanzo (UML): 34c=lherzoliti; 34b=serpentiniti antigoritiche. Tratto da "Structural Model of Italy"(CNR – Prog. Fin. Geodin.)

Nell'area indagata tale zona è sepolta dai depositi quaternari e la sua collocazione è molto dubbia.

Lungo le pendici della Sacra di San Michele si osserva la presenza di faglie minori, orientate all'incirca N-S, con indizi di movimenti nel campo fragile (approssimativamente $T < 300^{\circ}\text{C}$ e $P < 3\text{Kbar}$) con movimenti prevalentemente normali. Tali faglie sembrano non dislocare i terreni quaternari.

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 3.4.5).

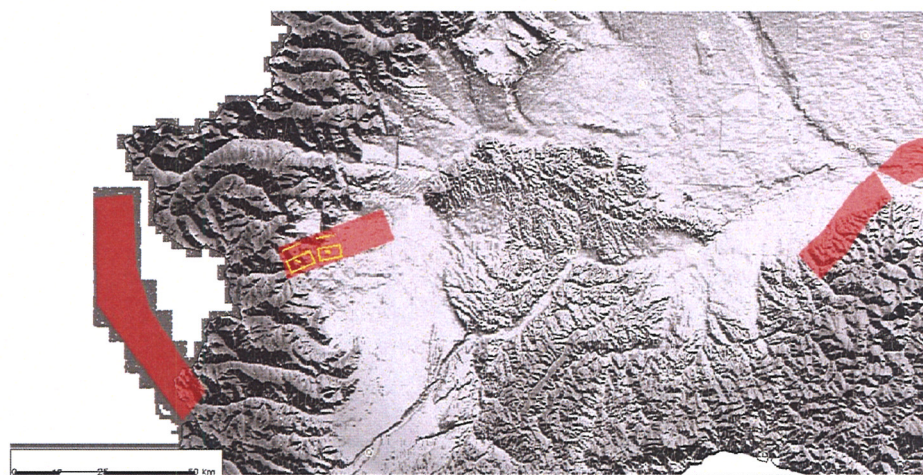


Figura 3.4.5: stralcio webgis DISS.

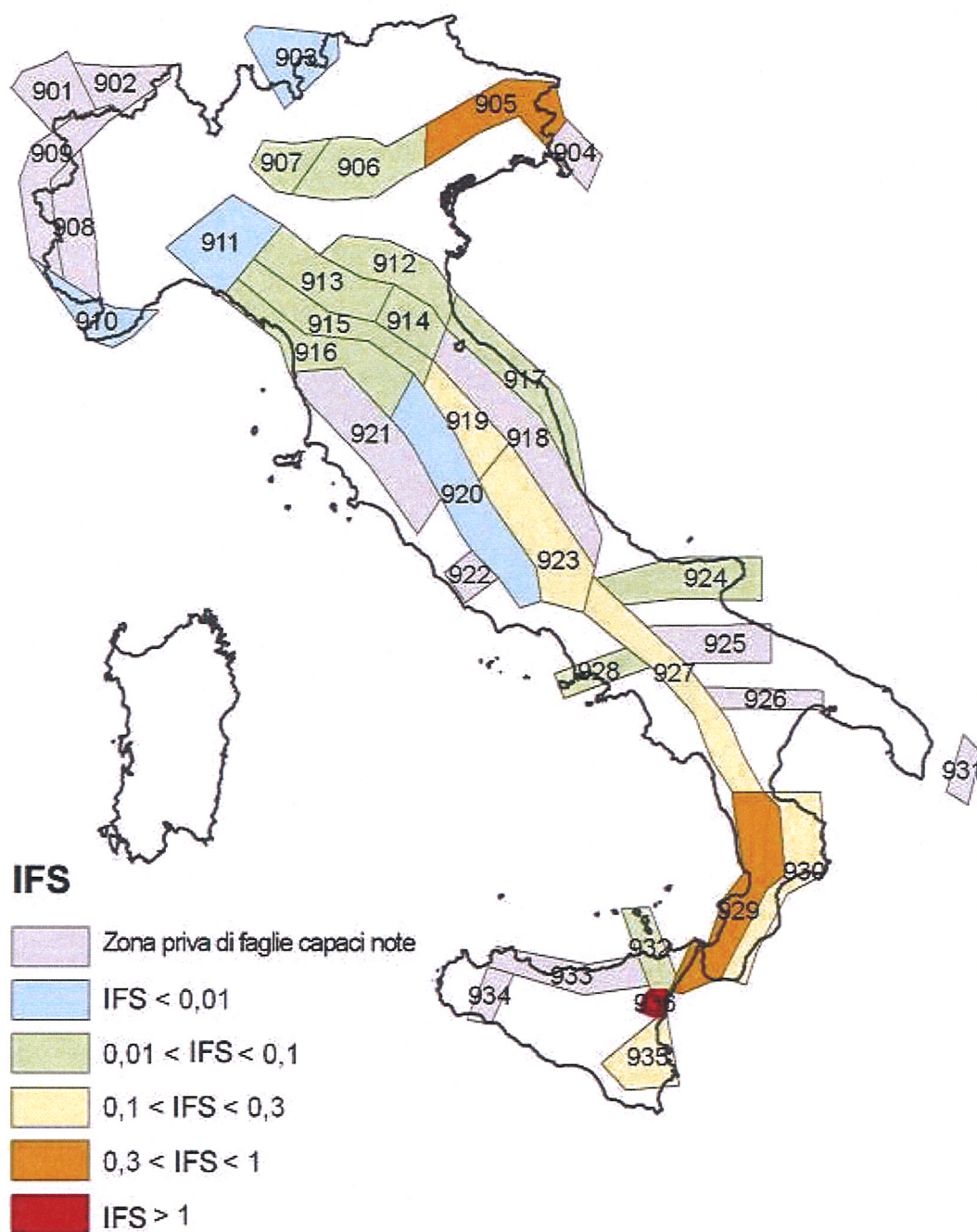
Nella successiva figura si evidenzia come nell'area interessata dal tracciato di progetto non vi siano "faglie capaci", ovvero faglie attive in grado di produrre, attraverso terremoti morfogenici (Caputo, 2005), fagliazione superficiale, dislocazioni e/o deformazioni significative della superficie terrestre o in prossimità di essa (IAEA, 2003). L'indice di fagliazione superficiale (IFS) è calcolato sulla base della seguente equazione:

$$ISF = URB300 * CFS / AreaZS9$$

dove:

URB300: rapporto tra l'area urbanizzata entro 300 m dalla faglia capace e l'area totale della zona sismogenetica ZS9

CFS (coefficiente di fagliazione superficiale) basato sul massimo rigetto potenziale atteso nella zona sismogenetica secondo lo stato dell'arte della letteratura in materia.



Fonte: APAT, INGV

Figura 3.4.6: classificazione delle zone sismogenetiche ZS9 in funzione dell'indice IFS.

3.6 Conclusioni

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica evidenzia che il tracciato di progetto attraversa terreni soggetti ad amplificazioni locali causate da fattori geolitologici.

Sono state riconosciute otto zone omogenee, individuate adottando un criterio litologico stratigrafico e tenendo conto della posizione della falda superficiale. Nella prima e nell'ultima parte del tracciato di progetto (tra Sant'Ambrogio e Avigliana e nel settore morenico) la categoria di sottosuolo "B" è prevalente. Nel restante settore prevale la categoria "C". Terreni in categoria S2, ossia soggetti a fenomeni di liquefazione, sono probabilmente assenti e la loro possibile presenza deve essere indagata nelle successive fasi progettuali.

Le zone instabili e i fattori topografici non giocano un ruolo importante. Da ricordare infine che nell'area non sono note "faglie capaci".

4 PIANO DELLE INDAGINI INTEGRATIVE

Il piano delle indagini integrative per approfondire la caratterizzazione dei terreni ai fini della sua classificazione sismica e alla quantificazione del rischio di fenomeni di liquefazione si integra con quello delineato nella Relazione tecnica del quesito n. 12 e comprende prove geofisiche volte alla determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) per individuare la categoria di sottosuolo.

Nel dettaglio, le prove che permettono l'indagine delle caratteristiche dei terreni ai fini della caratterizzazione sismica sono:

- i profili sismici a rifrazione;
- i sondaggi geognostici a carotaggio continuo nei quali eseguire sia le prove SPT per la caratterizzazione geotecnica, sia le prove cross-hole e down-hole che sono misure sismiche accurate volte alla determinazione delle proprietà fisico-meccaniche dinamiche dei terreni. Lo scopo delle prove sismiche in foro consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (onde S) per profondità fino a circa 40 m.

4.1 Caratteristiche delle prove cross-hole e down-hole

Le prove cross-hole e down-hole sono misure sismiche accurate e volte alla determinazione delle proprietà fisico-meccaniche dinamiche dei terreni. Si tratta di prove eseguite in foro di sondaggio il cui scopo consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (onde S) per profondità fino a circa 40 m.

Tali prove sono già state previste nei sondaggi G6-G6_{bis}-G6_{ter} previsti nel piano indagini del Progetto Preliminare del 2010 ma non realizzati (per motivi non inerenti aspetti tecnici e/o logistici), i quali vengono riproposti nel piano di indagini da eseguire nelle future fasi della progettazione (cfr. Relazioni tecniche di risposta ai quesiti n. 12 e n. 17).

4.2 Caratteristiche della sismica a rifrazione

L'utilizzo di prospezioni sismiche a rifrazione in onde P ed in onde SH consistono nel determinare il profilo di rigidità del sito tramite la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_P) e/o di taglio polarizzate orizzontalmente

(VSH) e determinare le geometrie sepolte dei sismostrati individuati consentendone il computo dei principali moduli elasto-dinamici e del coefficiente di Poisson.

Le indagini geofisiche sono volte a investigare i primi 30-40 metri di profondità.

Con riferimento all'ubicazione planimetrica dei profili sismici in asse tracciato (sigla SR) visibili negli allegati della Relazione al quesito 12 i settori di indagine sono così suddivisi:

- settori ubicata nella piana alluvionale (SR01), settori di transizione tra il versante e la pianura per evidenziare la geometria del contatto tra i depositi di origine glaciale del versante e quelli di origine fluviale e lacustre della piana di fondovalle (SR02, SR03; SR04).
- settori maggiormente antropizzati in cui si trovano lenti e livelli di terreni limosi poco consistenti con individuazione della geometria (SR05).