E. O. Ospedali Galliera - Genova

Mura delle Cappuccine, 14 - I 16128 Genova
Tel. +39.010.56321 - Fax. +39.010.5632018 - E-mail: ezio.bruno.urbina@galliera.it
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO : Ing. Ezio Nicolàs Bruno Urbina

ENTI

☐ CAPOGRUPPO ARCHITETTURA

PINEARQ S.L.U.P.
Mare de Déu de la Salut, 40 - I 08024 Barcellona (Spagna)
Tel. +34.93.2106819 - Fax. +34.93.2100214 - E-mail: pinearq@pinearq.com
RESPONSABILE DEL PROGETTO: Arch. Albert De Pineda Alvarez

COL- LEGI D'ARQUITECTES DE CATALUNYA
(Barcellona) num. 10662/3

☐ ARCHITETTURA

OBR Open Building Research S.r.l.
Piazza San Matteo, 15 - I 16123 Genova
Tel. +39.010.2518456 - Fax. +39.010.2479469 - E-mail: info@obr.eu
RESPONSABILE DEL PROGETTO: Arch. Paolo Brescia, Arch. Tommaso Principi

☐ COORDINAMENTO PROGETTAZIONE
ARCHITETTURA
IMPIANTI
AMBIENTE
PREVENZIONE INCENDI

STEAM S.r.l.
Via Venezia, 59/15C - I 35131 Padova
Tel. +39 049 8691111 - Fax. +39.049.8691199 - E-mail: info@steam.it
RESPONSABILE DEL PROGETTO: Ing. Mauro Strada

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PADOVA
PROV. ING. M. STRADA N. 1119

☑ COORDINAMENTO RAPPORTO ENTI
STRUTTURE
SICUREZZA
AMBIENTE

D'Appolonia S.p.A.
Via San Nazaro, 19 - I 16145 Genova
Tel. +39.010.3628148 - Fax. +39.010.3621078 - E-mail: dappolonia@dappolonia.it
RESPONSABILE DEL PROGETTO: Ing. Andrea Del Grosso

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA
Dott. Ing. ANDREA DEL GROSSO N. 3611

PROGETTO **Nuovo Ospedale Galliera**

FASE **PROGETTO PRELIMINARE**

TITOLO ELABORATO

Relazione sismica

COD. COMMESSA	TIPO ELABORATO	LIVELLO PROGETTAZIONE	DISCIPLINA	NUMERO ELABORATO	REVISIONE
12GH09	d	PR	G	0002	00

IDENTIFICAZIONE FILE	SCALA	EMESSO	DATA EMISSIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
12GH09PRdG002-00.doc		D'APPOLONIA	Maggio 2010	P.Poggi	A.Tomarchio	A. Del Grosso

REVISIONI:

NUMERO	DATA	OGGETTO	DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	Maggio 2010	Prima emissione progetto preliminare	P.Poggi	A.Tomarchio	A. Del Grosso

00	Maggio 2010	Prima emissione	P. Poggi C. Traverso	G. Corte	A. Del Grosso A. De Pineda M. Strada P. Brescia
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	3
3	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	6
3.1	INTRODUZIONE	6
3.2	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO	6
3.2.1	METODOLOGIA	6
3.2.2	SONDAGGI GEOTECNICI	7
3.2.3	CONCLUSIONI	9
3.2.4	INDICAZIONI PROGETTUALI	9
3.3	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	10
3.4	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	11
4	SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN ACCELERAZIONE	12
5	LIQUEFAZIONE	13
5.1	INTRODUZIONE	13
5.2	ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE	14
5.2.1	EVENTI SISMICI ATTESI	14
5.2.2	ACCELERAZIONI MASSIME ATTESE	15
5.2.3	PROFONDITÀ MEDIA STAGIONALE DELLA FALDA	15
5.2.4	CARATTERISTICHE DEI DEPOSITI	16
5.2.5	DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA	16
5.3	VERIFICA A LIQUEFAZIONE	17
5.3.1	INTRODUZIONE	17
5.3.2	ANALISI	17
5.3.3	SFORZI INDOTTI	17
5.3.4	RAPPORTO DI RESISTENZA CICLICO	18
5.3.5	FATTORE DI SCALA DELLA MAGNITUDO	18
5.3.6	FATTORE DI SICUREZZA ALLA LIQUEFAZIONE	19
6	CONCLUSIONI	19

1 INTRODUZIONE

Il presente studio si inserisce nell'ambito della Progettazione Preliminare del Nuovo Ospedale Galliera di Genova e intende dare una stima dei parametri sismici del sito e della classificazione del terreno e descrivere la metodologia per ottenere gli spettri di risposta elastici secondo quanto previsto dal Testo Unico Norme Tecniche (DM 14.01.08), in seguito nominate come NTC08. La verifica a liquefazione è stata affrontata noti gli input sismici di progetto.

Secondo le NTC08 le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione identificato in termini di coordinate geografiche latitudine, longitudine. La pericolosità sismica di base, da un punto di vista geografico, è definita non più secondo un numero discreto e finito di zone sismiche ciascuna caratterizzata da un prefissato valore di accelerazione di riferimento (come nelle normative sismiche precedenti OPCM 3274, 2003 e s.m.i.; NTC05, 2005), ma è data per ogni punto di un reticolo di riferimento i cui 10751 nodi distano tra loro circa 10 km e coprono l'intero territorio nazionale. Differenze di approccio con le normative precedenti si ritrovano anche da un punto di vista temporale, in quanto la pericolosità non è più definita con riferimento ad un singolo valore del periodo di ritorno (T_R = 475 anni), ma in corrispondenza di 9 valori (T_R = 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

Le coordinate del sito per cui si è effettuata l'analisi sono le seguenti:

- Latitudine: 44.40
- Longitudine: 8.94

Il rapporto si articola come segue. Il Capitolo 2 descrive la caratterizzazione sismica al sito. La classificazione dei terreni e l'individuazione della categoria topografica sono prese in considerazione nel Capitolo 3, mentre la metodologia per la costruzione degli spettri di risposta elastici è mostrata al Capitolo 4. La stabilità nei confronti della liquefazione è analizzata al Capitolo 5. Conclusioni sono date al Capitolo 6.

2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le NTC08 richiedono che la sicurezza delle strutture sia valutata con riferimento a stati limite che possono verificarsi nel corso del periodo di osservazione dell'opera, detto periodo di riferimento. Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite di esercizio e ultimi, individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi

immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Da un'analisi preliminare della sollecitazione sismica non si prevede di utilizzare un sistema di isolamento alla base. Per questo motivo, secondo quanto previsto dalla Circolare Esplicativa della NTC08 (Circolare 02.02.09), non è necessario considerare lo Stato Limite di Collasso.

Il tempo di ritorno T_R è valutato in funzione del periodo di riferimento V_R e della probabilità del suo superamento P_{VR} relativa allo Stato Limite che si intende verificare (Tabella 1) secondo la seguente formulazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \qquad (1)$$

Tabella 1: Probabilità di Superamento P_{VR} al Variare dello Stato Limite Considerato

STATI LIMITE		**P_{VR}: PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO NEL PERIODO DI RIFERIMENTO V_R**
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Nelle NTC08, per ogni tipo di costruzione, il periodo di riferimento è ottenuto come prodotto della vita nominale dell'opera (V_N) per il suo coefficiente della classe d'uso (C_U).

Nel caso in esame si considera:

- Vita nominale V_N = 100 anni;
- Classe d'uso IV, pertanto C_U = 2 in quanto costruzione con funzione pubblica e strategica importante con riferimento alla gestione della protezione civile.

Il periodo di riferimento V_R da adottare per l'azione sismica è quindi equivalente a 200 anni. I tempi di ritorno ottenuti seguendo la metodologia della normativa nazionale sono quindi quelli riportati in Tabella 2.

Tabella 2: Tempi di Ritorno Ottenuti Secondo le NTC08

STATI LIMITE		P_{VR}	V_N	C_U	V_R	T_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%	100	2	200	120
	SLD	63%				201
Stati Limite Ultimi	SLV	10%				1898
	SLC	5%				2475

Considerando le definizioni di Stati Limite date dalle NTC08 e le prescrizioni riportate nello Studio di Fattibilità (Alberini e Orlando, 2009) e di concerto con il RUP (D'Appolonia, 2010a), i periodi di ritorno da adottare per i tre Stati Limite da considerare per il Progetto Preliminare del Nuovo Ospedale Galliera di Genova sono elencati in Tabella 3. Tali valori risultano essere a favore di sicurezza rispetto al procedimento previsto dalle NTC08.

Tabella 3: Tempi di Ritorno di Riferimento adottati per l'Ospedale Galliera

STATI LIMITE	T_R (ANNI)
SLO	475
SLD	975
SLV	2475

Tali indicazioni si traducono nella determinazione della pericolosità sismica di base del sito di costruzione definiti in termini di:

- a_g: accelerazione orizzontale massima al sito in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;
- F_0: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri sismici (a_g, F_0 e T_c^*) sono basati sugli studi condotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Meletti e Montaldo, 2007). L'intero territorio nazionale Italiano è stato suddiviso secondo un reticolo di riferimento di 0.05° di lato dove ad ogni nodo e per 9 periodi di ritorno (T_R = 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) è associata la terna di parametri sismici. La Figura 1 mostra la mappa di pericolosità sismica per la Liguria. Il circolo rosso indica la zona di Genova analizzata. Come si può osservare i valori di accelerazione di picco al suolo (PGA) per periodo di ritorno di 475 anni e per suolo rigido (velocità delle onde di taglio $V_{s,30}$ > 800 m/s) risultano compresi tra 0.050 g e 0.075 g. La Tabella 4 riassume i parametri sismici da adottare per l'ospedale Galliera di Genova.

Tabella 4: Parametri Sismici per l'Ospedale Galliera di Genova

STATO LIMITE	T_R (ANNI)	a_g (g)	F_0	T_C^* (sec)
SLO	475	0.068	2.536	0.288
SLD	975	0.087	2.534	0.296
SLV	2475	0.119	2.522	0.308

3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

3.1 INTRODUZIONE

Le NTC08 prevedono che l'azione sismica di base definita su suolo rigido e superficie topografica orizzontale sia modificata per tenere in considerazione le condizioni lito-stratigrafiche e topografiche del sito in esame. In assenza di informazioni necessarie per condurre analisi specifiche le norme consentono di valutare in modo approssimato l'influenza degli effetti di sito e degli effetti dovuti alla topografia definendo rispettivamente delle categorie di sottosuolo e delle categorie topografiche alle quali sono associati dei parametri che modificano gli spettri di risposta elastici. L'accelerazione di picco orizzontale attesa è calcolata come prodotto tra l'accelerazione di picco orizzontale attesa su sito rigido e superficie topografica orizzontale e i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica. Nei capitoli successivi vengono descritti in dettaglio le prove geotecniche effettuate per caratterizzare i terreni, i criteri adottati per la definizione delle categorie di sottosuolo e per le condizioni topografiche.

3.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

3.2.1 METODOLOGIA

La definizione delle categorie di sottosuolo a cui associare i valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica si basano sulla caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni attraverso i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri del profilo del terreno $V_{s,30}$ secondo la definizione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \qquad (2)$$

La classificazione prevista dalle NTC08 si articola in 5 categorie di sottosuolo con caratteristiche meccaniche progressivamente più scadenti passando dalla categoria A alla categoria D (Tabella 5). Nel caso di presenza di un deposito di terreno di categoria C o D di spessore limitato (non superiore a 20 m), al di sopra di un substrato roccioso con V_s > 800 m/s il sito sarà classificato come appartenente alla categoria E.

Tabella 5: Categorie di Sottosuolo

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

3.2.2 SONDAGGI GEOTECNICI

Per poter definire correttamente le categorie di sottosuolo presenti nella zona di realizzazione del Nuovo Ospedale Galliera di Genova sono state condotte apposite indagini geognostiche; esse sono state descritte in dettaglio nella relazione geologica e geotecnica (D'Appolonia, 2010b). La campagna di indagini in sito si è svolta nel Febbraio 2010 e ha compreso quattro sondaggi a carotaggio continuo, la cui ubicazione è illustrata in Figura 2. La stessa figura mostra anche l'ubicazione di altri sondaggi effettuati precedentemente nell'area.

Una prova down hole è stata condotta in corrispondenza del sondaggio 3, spinto fino alla profondità di 30 metri. I valori della velocità delle onde di taglio alle differenti profondità sono stati determinati direttamente per ogni strato di terreno di spessore 1 m. I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 6 e in Figura 3. Per ogni strato è indicato il corrispettivo valore della velocità delle onde di taglio. La velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio risulta essere pari a 605 m/s pertanto il suolo, in corrispondenza del sondaggio 3, si può classificare come di categoria B.

Tabella 6: Risultati della Prova Down Hole

PROFONDITÀ DAL P.C.	V_S (m/s)
1	223
2	229
3	296
4	481
5	657
6	744
7	726
8	731
9	708
10	662
11	795
12	796
13	712
14	738
15	767
16	688
17	644
18	799
19	713
20	689
21	799
22	714
23	714
24	689
25	869
26	769
27	714
28	799
29	800
30	833

Come descritto in dettaglio nella relazione geologica e geotecnica (D'Appolonia, 2010b) le campagne geognostiche condotte nella zona interessata hanno portato all'individuazione della seguente stratigrafia (rappresentata nelle sezioni A-A' e B-B' delle Figure 4 e 5; le linee di sezione sono mostrate in Figura 2):

- Unità 1 - Riporto antropico: costituisce il riempimento su cui sorge parte del comprensorio ospedaliero e presenta spessore variabile tra 2 e 16 metri. La natura del riempimento è eterogenea e vede la presenza di resti di manufatti, murature, calcestruzzi e mattoni.
- Unità 2 - Terreno argilloso: caratterizzato da clasti sub-angolari a spigoli vivi derivati dal substrato e da clasti derivanti da materiale di riporto (mattoni e laterizi). Lo spessore di questo suolo varia tra 1 metro (in corrispondenza del sondaggio 4) e 7 metri (in corrispondenza del sondaggio 2). Prove di classificazione granulometrica effettuate su campioni prelevati nei sondaggi hanno permesso di classificare i sedimenti come argille sabbiose con un contenuto di fini che varia dal 40% al 60%.
- Unità 3 - Calcari del Monte Antola: i calcari affiorano omogeneamente al di sotto della coltre detritica e sono caratterizzati sempre da un livello superficiale alterato e più intensamente fratturato (cappellaccio di alterazione) che precede l'affioramento "sano". La profondità dei calcari rispetto al livello medio del mare è variabile tra 10 metri (in corrispondenza del sondaggio 1) e 35 metri (in corrispondenza del sondaggio 4).

3.2.3 CONCLUSIONI

Sulla base della descrizione stratigrafica ed estendendo i risultati della prova down hole a tutta l'area si ritiene corretto identificare due tipologie di sottosuolo per l'area interessata dalle opere geotecniche:

- Sottosuolo di categoria B, identificabile come Calcare del Monte Antola;
- Sottosuolo di categoria E, identificabile come riporto antropico e terreno argilloso di spessore inferiore a 20 m posto su substrato roccioso.

Le conclusioni sopra esposte dovranno essere utilizzate e interpretate dal progettista insieme con le specifiche di progetto per definire la categoria di terreno da utilizzare per l'adozione degli spettri sismici.

Nel seguente paragrafo i dati geologici/geotecnici vengono letti alla luce delle specifiche di progetto disponibili al momento della redazione della presente relazione. Essi fanno riferimento al progetto architettonico preliminare del Nuovo Ospedale Galliera, revisione del 9 Aprile 2010 ricevuto da Pinearq e OBR. Qualora il progetto subisse delle variazioni, tali indicazioni dovranno essere necessariamente riviste.

3.2.4 INDICAZIONI PROGETTUALI

Attualmente il Progetto del Nuovo Ospedale Galliera prevede la realizzazione di:

- un corpo centrale contenente le degenze, i blocchi operatori e altre attività ospedaliere. Tale blocco centrale raggiunge l'altezza di 58.40 m s.l.m.;
- un corpo sul lato Sud – Ovest in cui è prevista la realizzazione del pronto soccorso, terapia intensiva e studi medici con quota massima di 34.40 m s.l.m.;
- strutture interrate con quote finite a 16.50, 19.50 e 24.20 m s.l.m. comprendenti anche aree destinate a parcheggio. La Figura 6 mostra in via indicativa l'area di cantiere del futuro ospedale, il perimetro di scavo e le diverse quote finite di scavo.

Analizzando gli interventi a progetto, le diverse quote finite di fondo scavo e la stratigrafia ottenuta dai sondaggi realizzati nell'area è possibile dividere l'area di cantiere in due zone in base al tipo di substrato che sarà incontrato alla quota di fondazione. La Figura 7 mostra le due aree così individuate. La zona Ovest dell'area di cantiere è caratterizzata da una maggiore potenza del materiale di riporto e del suolo argilloso e da una minore quota del piano campagna, pertanto lo scavo non arriverà sul substrato roccioso. Questo avviene anche nella zona ad Est dell'area di cantiere dove la quota di scavo è prevista a 24.20 m s.l.m. e pertanto il substrato roccioso non verrà incontrato. Al contrario nel resto dell'area, contraddistinta da substrato roccioso presente anche a pochi metri di profondità rispetto al piano campagna, la quota di fondo scavo avverrà sui Calcari del Monte Antola.
Pertanto, per le strutture situate in una zona in cui lo scavo non incontrerà il substrato roccioso si prevede di utilizzare uno spettro più cautelativo di tipo E. Per le altre strutture, in cui la fondazione raggiungerà il substrato calcareo, si potrà adottare uno spettro di tipo B. Per le opere di sostegno si rimanda alla discrezione del progettista in base allo spessore e al tipo di sottosuolo che graverà sull'opera.
L'utilizzo di uno spettro sismico andrà comunque giustificato dal progettista strutturale considerando la posizione dei giunti sismici e il corretto comportamento dinamico dell'edificio e l'interpretazione dell'interazione suolo-struttura.

3.3 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Ad ogni categoria di sottosuolo la normativa associa un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica e un coefficiente C_c da utilizzare nel calcolo del periodo di controllo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione. Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1, per le categorie di sottosuolo da B ad E possono essere calcolati in funzione dei valori di a_g, F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A secondo le formulazioni descritte in Tabella 7.

Tabella 7: Espressioni di S_S e C_C

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.00 \le 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.20$	$1.00 \cdot \left(T_C^*\right)^{-0.20}$
C	$1.00 \le 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.50$	$1.05 \cdot \left(T_C^*\right)^{-0.33}$
D	$0.90 \le 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.80$	$1.25 \cdot \left(T_C^*\right)^{-0.50}$
E	$1.00 \le 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.60$	$1.15 \cdot \left(T_C^*\right)^{-0.40}$

Per il progetto in esame i valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica calcolati per ogni Stato Limite sono riassunti in Tabella 8. Si noti che il coefficiente S_S risulta essere lo stesso indipendentemente dal periodo di ritorno considerato, mentre il coefficiente C_C assume un valore diverso a seconda dello Stato Limite in esame.

Tabella 8: Valori di S_S e C_C considerati

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S_S			C_C		
	SLO	SLD	SLV	SLO	SLD	SLV
B	1.20	1.20	1.20	1.41	1.40	1.39
E	1.60	1.60	1.60	1.89	1.87	1.84

3.4 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Le NTC08 prevedono la distinzione in 4 categorie topografiche a ciascuna delle quali viene associato un valore specifico del coefficiente di amplificazione S_T che moltiplica l'azione sismica di riferimento. Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali e sono descritte in Tabella 9.

Tabella 9: Categorie di Sottosuolo

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1.0
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4

La categoria topografica del sito in oggetto è la T1 in quanto la massima pendenza calcolata nella zona di realizzazione dell'ospedale risulta essere i $\leq$ 15°. Il coefficiente di amplificazione topografica da utilizzare nella determinazione dello spettro elastico di progetto è dunque S_T = 1.0

4 SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN ACCELERAZIONE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso secondo le NTC08 da una forma spettrale riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5% moltiplicata per il valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Tale spettro può essere utilizzato soltanto per strutture con periodo fondamentale non superiore a 4 secondi. Le formule seguenti sono relative ai diversi tratti in cui è diviso lo spettro di risposta elastico così come rappresentato in Figura 8.

$0 \leq T < T_B$ $$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad (3)$$

$T_B \leq T < T_C$ $$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \quad (4)$$

$T_C \leq T < T_D$ $$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad (5)$$

$T_D \leq T$ $$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_{0.} \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \quad (6)$$

dove:

- T e S_e rappresentano rispettivamente il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale orizzontale.
- a_g è l'accelerazione di picco su sito di riferimento rigido orizzontale. I valori di a_g sono tabellati secondo un reticolo di 0.05° di lato per l'intero territorio nazionale in funzione del periodo di ritorno.
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, ottenuto secondo il seguente prodotto:

$$S = S_S \cdot S_T \quad (7)$$

  - S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica;
  - S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5% mediante la seguente relazione:

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0.55 \quad (8)$$

  - ξ è il coefficiente di smorzamento viscoso.
- F_0 rappresenta il rapporto tra la massima amplificazione spettrale su sito di riferimento rigido orizzontale e l'accelerazione spettrale a periodo 0 ed ha valore

minimo pari a 2.2. I valori sono tabellati per ciascun punto della griglia e per ciascun periodo di ritorno considerato.

- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante ed è definito come:

$$T_B = T_C / 3 \qquad (9)$$

- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \qquad (10)$$

  - C_C dipende dalla categoria di sottosuolo;
  - T_C^* è un parametro tabellato insieme ad a_g e F_0.

- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante, dato dalla relazione:

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6 \qquad (11)$$

I principali parametri che definiscono lo spettro elastico sono dati in Tabella 10. Le Figure 9 e 10 mostrano gli spettri per ciascun Stato Limite considerato per categoria di sottosuolo B ed E rispettivamente in accordo a quanto definito al Capitolo 3.2.2.

Tabella 10: Principali Parametri per gli Spettri Elastici

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	STATO LIMITE	PERIODO DI RITORNO	a_g (g)	F_0	T_c^*	S_S	S_T	S	C_C	T_B	T_C	T_D
B	SLO	475	0.068	2.536	0.288	1.20	1.0	1.20	1.41	0.136	0.406	1.872
	SLD	975	0.087	2.534	0.296	1.20	1.0	1.20	1.40	0.139	0.415	1.948
	SLV	2475	0.119	2.522	0.308	1.20	1.0	1.20	1.39	0.143	0.429	2.076
E	SLO	475	0.068	2.536	0.288	1.60	1.0	1.60	1.89	0.182	0.545	1.872
	SLD	975	0.087	2.534	0.296	1.60	1.0	1.60	1.87	0.185	0.554	1.948
	SLV	2475	0.119	2.522	0.308	1.60	1.0	1.60	1.84	0.189	0.567	2.076

5 LIQUEFAZIONE

5.1 INTRODUZIONE

Lo scuotimento del terreno dovuto ai terremoti può innescare lo sviluppo di tensioni e perdita di pressione in una vasta gamma di suoli saturi, da sabbie ad argille. I classici fenomeni di liquefazione dovuti all'accumulo di pressione interstiziale durante un evento sismico sono generalmente associati a sabbie e limi di bassa plasticità. La perdita di consistenza dei suoli argillosi durante carichi sismici è meno comune, ma tale comportamento ha dato origine a cedimenti delle fondazioni in alcuni terremoti recenti.

L'analisi del potenziale di liquefazione mostra che il riempimento antropico non saturo presente in sito non è suscettibile a liquefazione, ma questa non può essere esclusa per le porzioni sature e coesive del suolo argilloso con residui antropici.

5.2 ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Secondo quanto previsto dalle NTC08, il sito presso il quale il manufatto è ubicato deve essere stabile nei confronti del fenomeno della liquefazione. La verifica a liquefazione può essere omessa, se almeno una delle seguenti condizioni è verificata:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di piano campagna libero) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ 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) ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla Normativa.

I capitoli seguenti descrivono in dettaglio ciascuna condizione.

5.2.1 EVENTI SISMICI ATTESI

Per definire le magnitudo attese al sito si sono considerati:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04) pubblicato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (GDL CPTI, 2004), che copre l'intero territorio italiano dal 217 a.C. al 2002;
- Studi condotti dall'INGV per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 20 Marzo 2003 n° 3274, Allegato1;
- Analisi di disaggregazione condotta da Spallarossa e Barani (2007).

La Figura 11 mostra i terremoti avvenuti in un'area che comprende la Liguria e il basso Piemonte presenti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (GDL CPTI, 2004). I vari intervalli di magnitudo sono rappresentati da differenti colori. Come si può notare dalla Tabella 11 nella zona di Genova sono stati registrati 4 terremoti di magnitudo M compresa tra 4.6 e 5.1.

Tabella 11: Terremoti Avvenuti nella Zona di Genova

DATA	LATITUDINE	LONGITUDINE	M
8 Gennaio 1217	44.42	8.90	4.6
21 Settembre 1924	44.40	8.95	4.6
15 Agosto 1182	44.42	8.90	4.8
7 Febbraio 1767	44.55	8.68	5.1

La Figura 12 mostra la zonazione sismogenetica, denominata ZS9 (Meletti et al., 2008). L'area di Genova si trova nella zona di confine ovest della Provincia 911. Dagli studi condotti dall'INGV (GDL MPS, 2004) la magnitudo massima attesa nella provincia risulta essere pari a 5.7. Tale magnitudo è stata determinata dal confronto tra il valore di magnitudo massima osservato nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani e il valore di magnitudo proposto su base esclusivamente geologica.

Facendo riferimento al lavoro di Spallarossa e Barani (2007) relativo alla disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε si stima che il valore medio della magnitudo per la città di Genova sia pari a M = 4.99, mentre quello modale pari a M = 4.75.

Alla luce di tali considerazioni non è possibile affermare che gli eventi sismici attesi nella zona di Genova siano inferiori a 5. Pertanto per questa condizione la verifica a liquefazione non può essere omessa.

5.2.2 ACCELERAZIONI MASSIME ATTESE

La Tabella 12 riassume le accelerazioni di picco su sito di riferimento rigido orizzontale a_g, i coefficienti S che tengono conto delle categorie di sottosuolo e delle condizioni topografiche e le accelerazioni massime attese al piano di campagna a_{max} (si veda per dettagli il Capitolo 4). Tali valori sono dati per ogni Stato Limite e per ogni categoria di sottosuolo considerati.

Tabella 12: Accelerazioni Massime Attese

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	STATO LIMITE	PERIODO DI RITORNO	a_g (g)	S	a_{max} (g)	CHECK
B	SLO	475	0.068	1.20	0.082	OK
	SLD	975	0.087		0.104	NO
	SLV	2475	0.119		0.143	NO
E	SLO	475	0.068	1.60	0.109	NO
	SLD	975	0.087		0.139	NO
	SLV	2475	0.119		0.190	NO

I valori delle accelerazioni massime attese al piano di campagna a_{max} risultano inferiori a 0.1 g solamente per Stato Limite di Operatività e categoria di sottosuolo B. Pertanto, anche per questa condizione la verifica a liquefazione non può essere omessa.

5.2.3 PROFONDITÀ MEDIA STAGIONALE DELLA FALDA

Il fenomeno della liquefazione avviene principalmente in materiali granulari saturi, pertanto le NTC08 prescrivono che la verifica possa essere omessa nel caso in cui il piano di falda sia più profondo di 15 m rispetto al piano campagna. All'interno del perimetro del Nuovo Ospedale

Galliera sono stati installati piezometri nei sondaggi 1 e 4. Per valutare la quota della falda nella zona soggetta a potenziale liquefazione è stato considerato solo il piezometro nel sondaggio 1. Dai dati pervenuti dalle misurazioni su tale piezometro risulta che il piano di falda è a quota 10.6 m rispetto al piano campagna pertanto per questa condizione la verifica non può essere omessa.

5.2.4 CARATTERISTICHE DEI DEPOSITI

La normativa prevede che la verifica di liquefazione possa essere omessa nel caso in cui i valori di $(N_1)_{60}$ siano maggiori di 30, il parametro è stato valutato con le formule di Skempton (EPRI, 1990):

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N_{SPT} \qquad (12)$$

$$C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_v / P_a} \qquad (13)$$

dove:

- σ'_v Tensione Verticale Efficace
- P_a Pressione Atmosferica (100 kPa)
- N_{SPT} Numero di Colpi SPT

In relazione ai valori ottenuti tramite le prove SPT e corretti successivamente per la tensione verticale efficace attraverso le formule sopra citate, il parametro $(N_1)_{60}$ medio sulla zona che può essere soggetta a liquefazione è pari a 23. Per tale condizione la verifica non può essere omessa.

5.2.5 DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA

Sui campioni prelevati sono state condotte analisi granulometriche ed è stato misurato il coefficiente di uniformità U_c calcolato come il seguente rapporto:

$$U_c = D60/D10 \qquad (14)$$

dove D60 e D10 sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% ed al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

In questo caso il rapporto risulta maggiore di 3.5. La Figura 13 mostra come i fusi dei campioni esaminati in relazione alle curve della normativa siano all'interno dell'area di potenziale liquefazione. Anche per questa condizione la verifica a liquefazione non può essere omessa.

5.3 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

5.3.1 INTRODUZIONE

Riferendosi alle sezioni stratigrafiche di Figura 4 e 5, il piano di falda in corrispondenza del sito è generalmente nel substrato roccioso o in prossimità della sommità del substrato roccioso. Gli unici terreni saturi in corrispondenza del sito si prevede che siano la parte più profonda del suolo argilloso (Unità 2). Il riporto antropico non è saturo e quindi non suscettibile a liquefazione.

In generale, i suoli coesivi non sono suscettibili a liquefazione. Tuttavia, la perdita di resistenza del terreno coesivo poco consistente è stata osservata in alcuni terremoti recenti, pertanto il comportamento sismico del suolo argilloso è stato verificato.

Il potenziale di liquefazione è stato valutato per il suolo argilloso usando il metodo di Boulanger e Idriss (2004). Questa metodologia segue lo stesso approccio del metodo semplificato di Seed (Seed e Idriss, 1982). Gli sforzi indotti da un terremoto di progetto sono stati paragonati con gli sforzi massimi ciclici che il suolo può sostenere senza liquefare, per calcolare il fattore di sicurezza. Sia gli sforzi indotti sia quelli resistenti sono espressi in termini di rapporto di sforzo ciclico per una serie di carichi ciclici uniformi. Generalmente, gli sforzi indotti sono chiamati rapporto di sforzo ciclico (cyclic stress ratio CSR) mentre il massimo sforzo che il suolo può sopportare senza liquefare è detto rapporto di resistenza ciclico (cyclic resistance ratio CRR). Il valore di CSR è calcolato considerando l'accelerazione di picco al suolo (peak ground acceleration PGA), la rigidità del profilo del suolo, la densità del suolo e la profondità della falda acquifera.

La resistenza del suolo alla liquefazione (CRR) è paragonata agli sforzi indotti (CSR) per calcolare il fattore di sicurezza alla liquefazione.

5.3.2 ANALISI

I dati principali necessari per l'analisi sono riportati in Tabella 13.

Tabella 13: Dati per Verifica a Liquefazione

PARAMETRI	UNITÀ	VALORI
Accelerazione di picco al suolo	g	0.19 per lo stato limite SLV
Magnitudo del terremoto	-	Massimo terremoto dell'area 5.7
Profondità della falda acquifera	m	10.6
Profondità dello strato critico	m	11.0
Resistenza non drenata dello strato critico	kPa	70

5.3.3 SFORZI INDOTTI

Gli sforzi ciclici indotti sono calcolati come:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d \qquad (15)$$

dove:

- a_{max} massima accelerazione al suolo per il terremoto
- g accelerazione di gravità
- σ_v sforzo verticale totale
- σ'_v sforzo verticale efficace
- r_d coefficiente di riduzione degli sforzi

Lo strato critico è localizzato ad una profondità di 11 m sotto al piano campagna. Gli sforzi verticali totali ed efficaci a questo livello sono 211 kPa e 207 kPa, rispettivamente. Il fattore di riduzione degli sforzi per la profondità di 11 m e magnitudo 5.7 ha un valore di 0.76 (Boulanger e Idriss, 2004). Il valore di CSR è:

$$CSR = 0.65 \frac{0.19\,g}{g} \frac{211}{207} 0.76 = 0.096 \qquad (16)$$

5.3.4 RAPPORTO DI RESISTENZA CICLICO

La resistenza del suolo alla liquefazione è calcolata usando la correlazione di Boulanger per il rapporto di sforzo del suolo. Il valore di CRR per un terremoto di magnitudo 7.5 è calcolato come:

$$CRR_{M7.5} = 0.8 \frac{S_u}{\sigma'_v} K_\alpha \qquad (17)$$

dove

- S_u resistenza non drenata del suolo
- K_α fattore di correzione per sforzo statico di taglio

La resistenza non drenata di progetto per la formazione è 50 kPa. Il valore di K_α è preso come 0.9 (Robertson, 2007). Il valore risultante di CRR per un terremoto di magnitudo 7.5 è pari a:

$$CRR_{M7.5} = 0.8 \frac{50}{207} 0.9 = 0.17 \qquad (18)$$

5.3.5 FATTORE DI SCALA DELLA MAGNITUDO

Il CRR deve essere aggiustato da un fattore di scala della magnitudo per considerare il terremoto di progetto atteso. Per suoli argillosi il fattore di scala della magnitudo è preso come:

$$MSF = 1.12 \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) + 0.828 \leq 1.13 \qquad (19)$$

Considerando una magnitudo di progetto di 5.7, il fattore di scala è:

$$MSF = 1.12 \exp\left(\frac{-5.7}{4}\right) + 0.828 = 1.097 \qquad (20)$$

Il CRR corretto con la magnitudo è:

$$CRR_{M5.7} = CRR_{M7.5}\ MSF = 0.17 \text{ x } 1.097 = 0.19 \qquad (21)$$

5.3.6 FATTORE DI SICUREZZA ALLA LIQUEFAZIONE

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è calcolato come il rapporto tra gli sforzi resistenti e gli sforzi indotti. Per lo strato in questione, il fattore di sicurezza è:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.19}{0.096} = 1.99$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione per lo Stato Limite SLV è soddisfacente.

6 CONCLUSIONI

Il presente rapporto intende fornire una stima dei parametri sismici del sito di realizzazione del Nuovo Ospedale Galliera di Genova, classificare il terreno e descrivere la metodologia per ottenere gli spettri di risposta elastici secondo quanto previsto dal Testo Unico Norme Tecniche (DM 14.01.08). La verifica a liquefazione è stata affrontata noti gli input sismici di progetto.

Le principali conclusioni sono:

- I periodi di ritorno da adottare per i tre Stati Limite da considerare sono 475, 975 e 2475 anni rispettivamente per SLO, SLD e SLV;
- I valori di accelerazione orizzontale massima al sito in condizioni di campo libero su substrato di riferimento rigido (V_S > 800 m/s) con superficie topografica orizzontale sono 0.07 g, 0.09 g, 0.12 g rispettivamente per periodi di ritorno 475, 975 e 2475;
- La prova down-hole e i rilievi stratigrafici effettuati hanno dimostrato che nell'area interessata dalle opere geotecniche possono essere identificate due tipologie di sottosuolo, di categoria B (Calcare del Monte Antola) e di categoria E (riporto antropico e terreno argilloso di spessore inferiore a 20 m posto su substrato roccioso). Considerando le specifiche progettuali disponibili al momento della redazione della presente relazione, per le strutture disposte sul lato Sud - Ovest e per quelle disposte a Sud - Est, situate in una zona con maggiore potenza dello strato di riporto, si prevede di utilizzare uno spettro più cautelativo di tipo E. Per le altre strutture, in cui la fondazione raggiunge il substrato calcareo, si potrà adottare uno spettro di tipo B. Per le opere di sostegno si rimanda alla discrezione del progettista in base allo spessore e al tipo di sottosuolo che graverà sull'opera. Qualora il progetto subisse delle variazioni, tali indicazioni dovranno essere necessariamente riviste;
- La categoria topografica del sito è la T1 per cui il coefficiente di amplificazione topografica da utilizzare per la determinazione dello spettro elastico di progetto è S_T = 1.0;

- Il fattore di sicurezza alla liquefazione, calcolato come rapporto tra gli sforzi resistenti e gli sforzi indotti, risulta essere 1.99, soddisfacente per lo Stato Limite peggiore (SLV).

RIFERIMENTI

- Alberini, C. e P. Orlando, 2009, "Verso il nuovo ospdeale Galliera, Studio di Fattibilità del Nuovo Ospedale".
- Boulanger, R. W. e I. M. Idriss, 2004, Evaluating the Potential for Liquefaction or Cyclic Failure of Silts and Clays, Report No. UCD/CGM-04/01, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, California.
- D'Appolonia, 2010a, Criteri di Progettazione Strutturale, External Reference 12GH09-PR-D-0001-0 (Doc. 09-280-H2 Rev.0), Marzo.
- D'Appolonia, 2010b, Relazione Geologica Geotecnica e Idrogeologica, (Doc. 09-280-H3 Rev.0), Maggio.
- Electric Power Research Institute (EPRI), 1990, Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, Cornell University, Ithaca, New York.
- GDL CPTI, 2004, "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani", Versione 2004, (CPTI04), Gruppo di Lavoro CPTI, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI.
- GDL MPS, 2004, "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003, n. 3274, All. 1", Rapporto Conclusivo, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, http://zonesismiche.mi.ingv.it/.
- Meletti, C. e V. Montaldo, 2007, "Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di a_g", Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, http://esse1.mi.ingv.it/d2.html.
- Meletti, C., F. Galadini, G. Valensise, M. Stucchi, R. Basili, S. Barba, G. Vannucci e E. Boschi, 2008, "A Seismic Source Zone Model for the Seismic Hazard Assessment of the Italian Territory", Tectonophysics, Vol. 450, pp. 85–108.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2009, Circolare Ministeriale 02.02.09 N. 617, Istruzioni per l'Applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008, pubblicato su G. U. N. 47 del 26/02/2009.
- Ministero delle Infrastrutture e Ministero dell'Interno, 2005, Norme Tecniche per le Costruzioni (ex "Testo Unico" delle Norme Tecniche per le Costruzioni), Decreto 14.09.05, pubblicato su G. U. N. 222 del 23/09/2005.
- Ministero delle Infrastrutture e Ministero dell'Interno, 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto 14.01.08, pubblicato su G. U. N. 29 del 04/02/2008.

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274, 2003, Primi Elementi in Materia di Criteri Generali per la Classificazione Sismica del Territorio Nazionale e di Normative Tecniche per le Costruzioni in Zona Sismica.
- Robertson, P. K, 2007, "Seismic Design for Liquefaction Summary", http://www.cpt-robertson.com.
- Seed, H. B. e I. M. Idriss, 1982, "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute Monograph.
- Spallarossa, D. e S. Barani, 2007, "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε", Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, http://esse1.mi.ingv.it/d14.html.

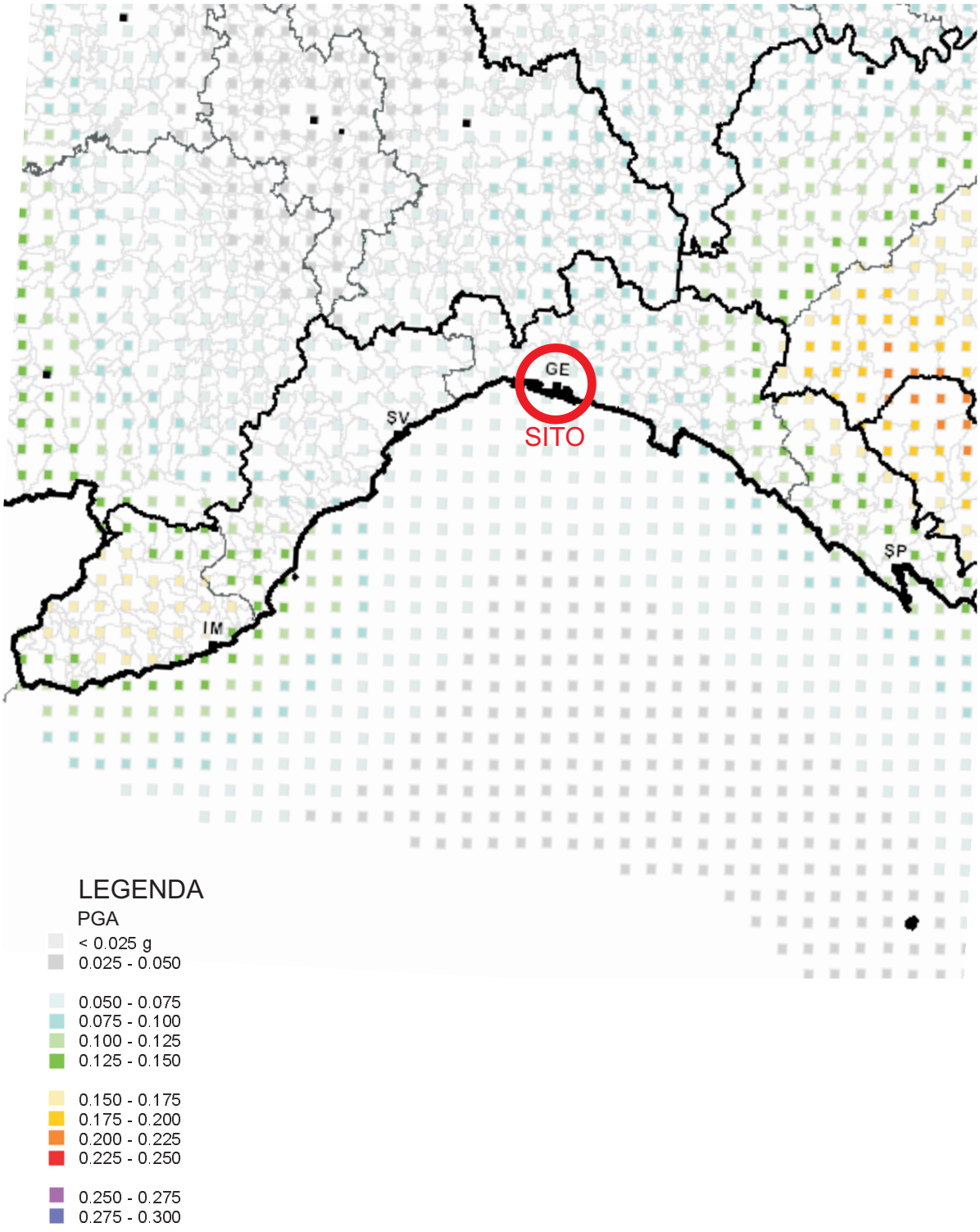


FIGURA 1

VALORI DI PERICOLOSITA' SISMICA PER Tr=475 ANNI
E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A

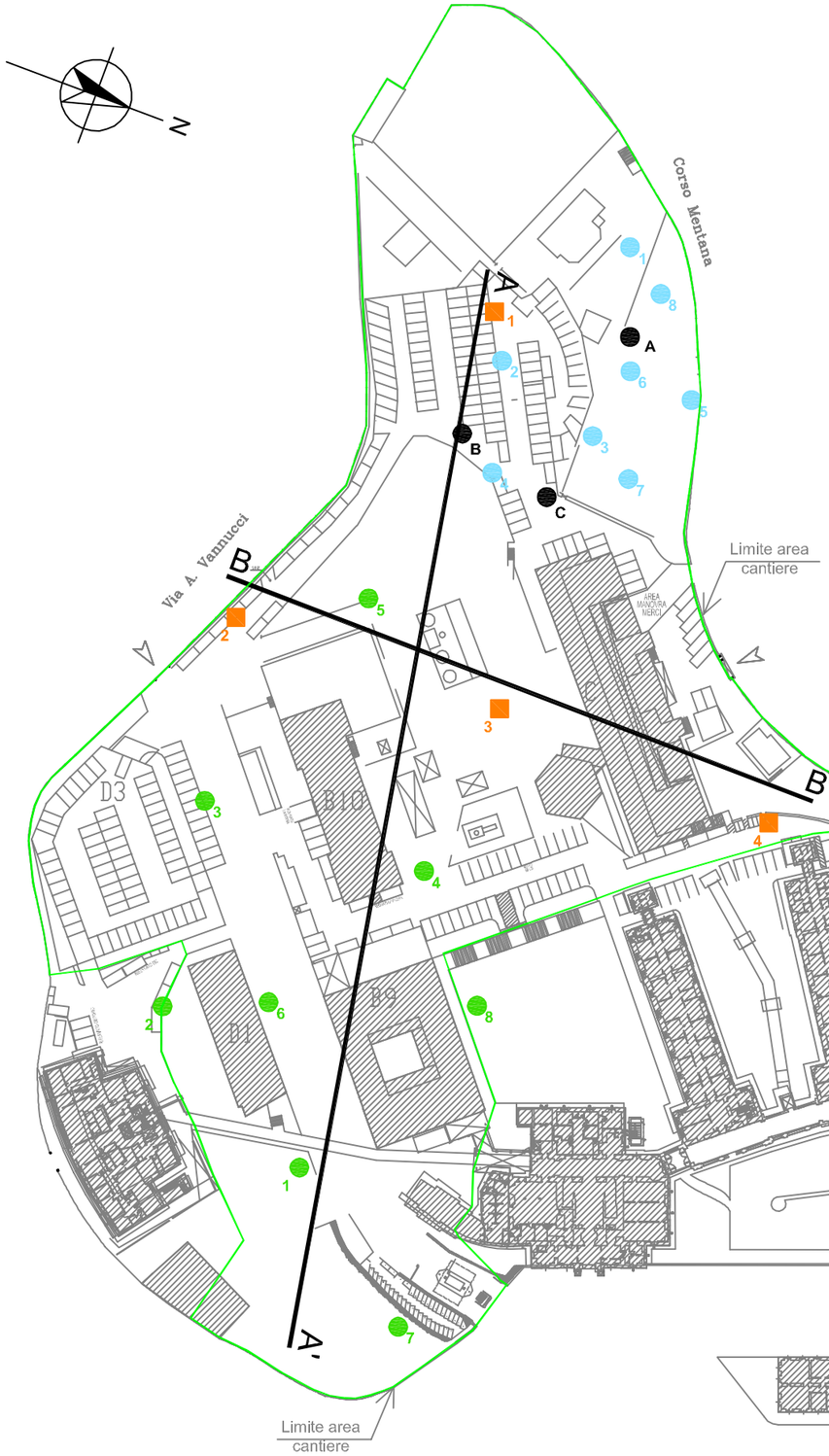
RIFERIMENTI

http://zonesismiche.mi.ingv.it/

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

D'APPOLONIA



LEGENDA

- n SONDAGGI EFFETTUATI NEL 1992
- n SONDAGGI EFFETTUATI NEL 1993
- n SONDAGGI EFFETTUATI NEL 2001
- n SONDAGGI EFFETTUATI NEL 2010
- PERIMETRO AREA INTERVENTI A PROGETTO
- SEZIONI STRATIGRAFICHE

SCALA

0 10 20 40 m

FIGURA 2

UBICAZIONE SONDAGGI

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

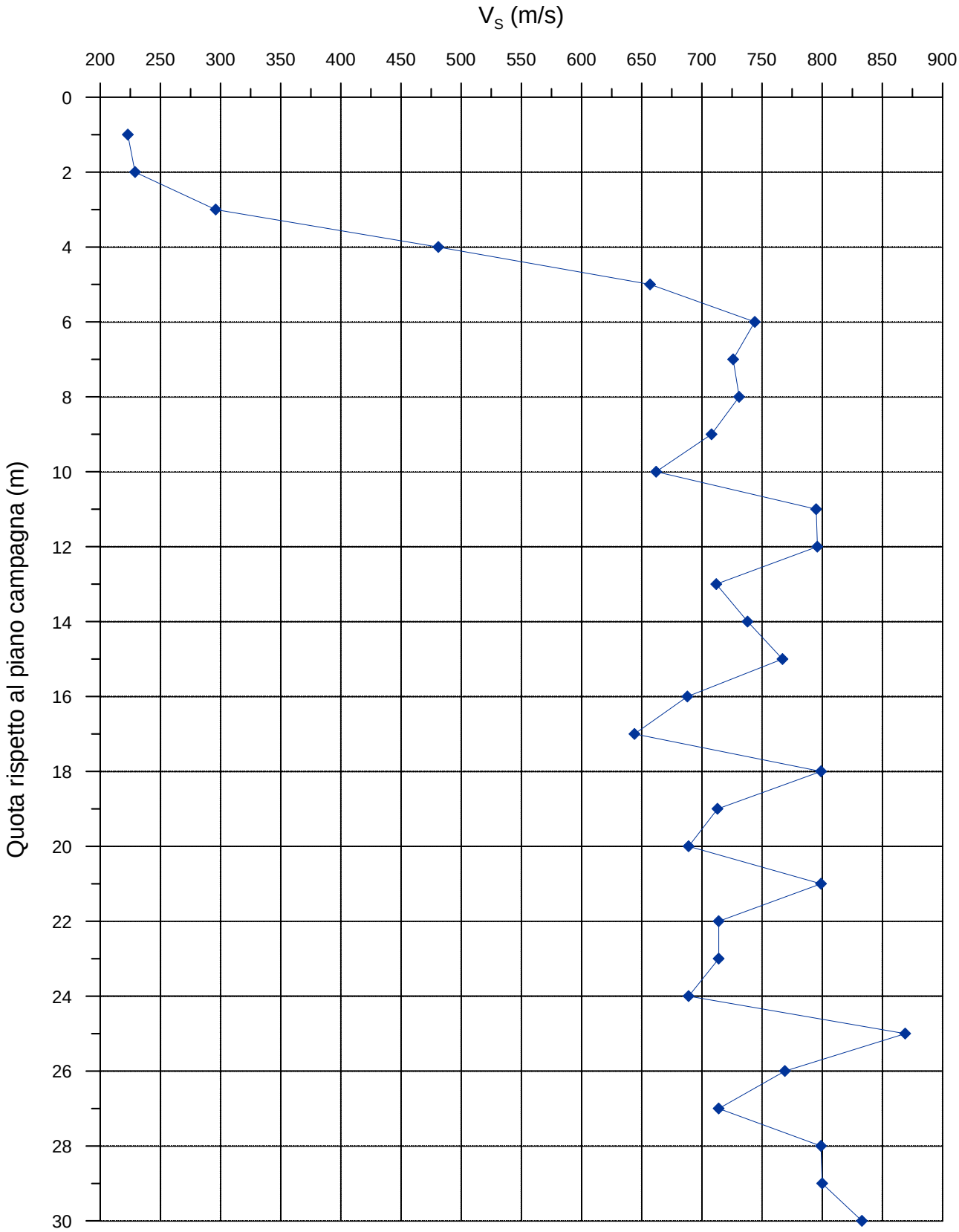


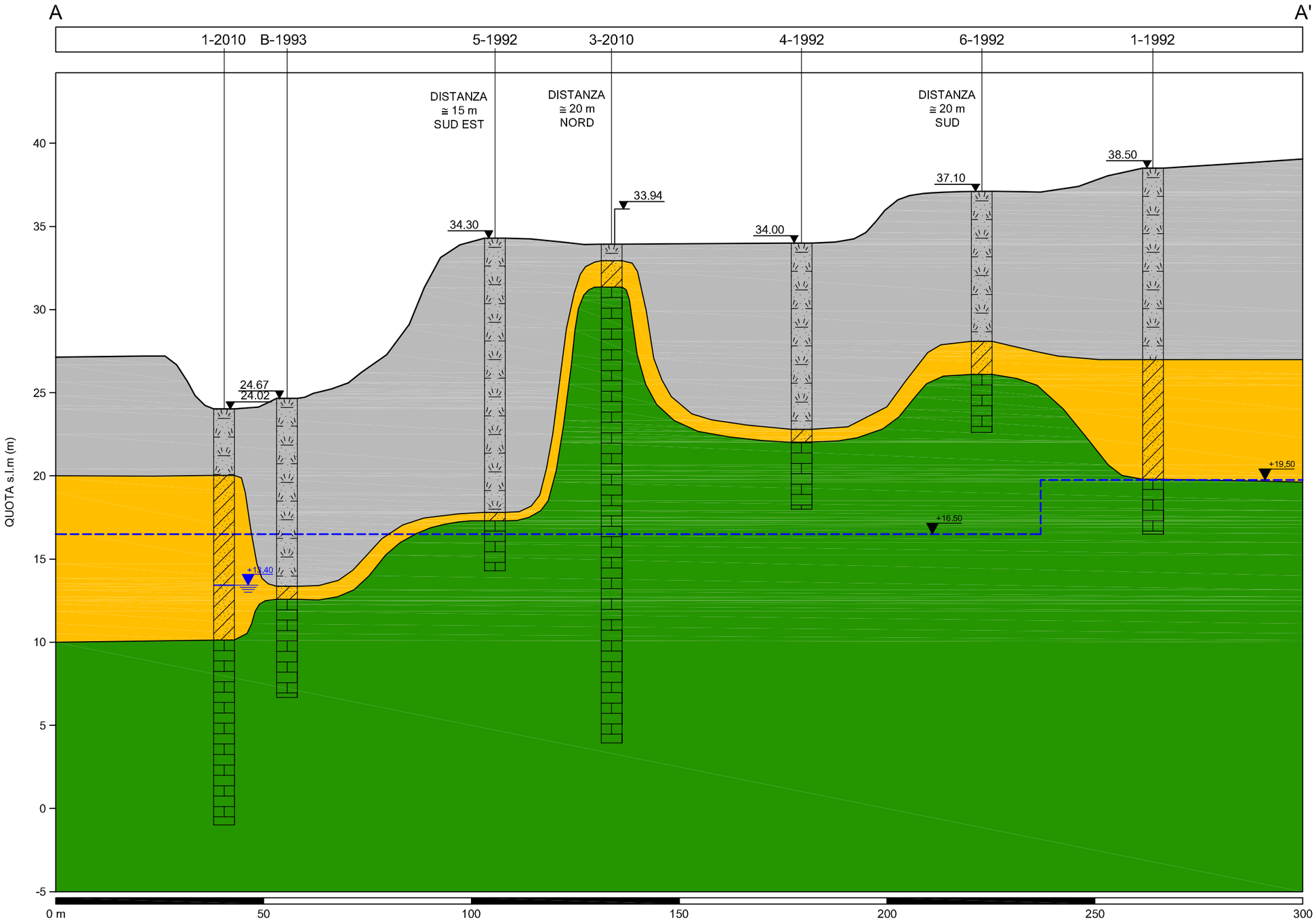
FIGURA 3

RISULTATI DA PROVA DOWN HOLE

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

D'APPOLONIA



LEGENDA

- RIPORTO ANTROPICO
- SUOLO ARGILLOSO CON RESIDUI ANTROPICI
- CALCARE DEL MONTE ANTOLA
- QUOTA DI FALDA
- QUOTA FONDO SCAVO

NOTE

1. LE STRATIGRAFIE SONO NOTE AI SOLI PUNTI DEI SONDAGGI
2. LE CORRELAZIONI TRA GLI STRATI SONO INDICATIVE E POTRANNO VARIARE SULLA BASE DI DATI AGGIUNTIVI
3. I SONDAGGI 5-1992, 3-2010 E 6-1992 SONO AD UNA CERTA DISTANZA DALL'ASSE DELLA SEZIONE

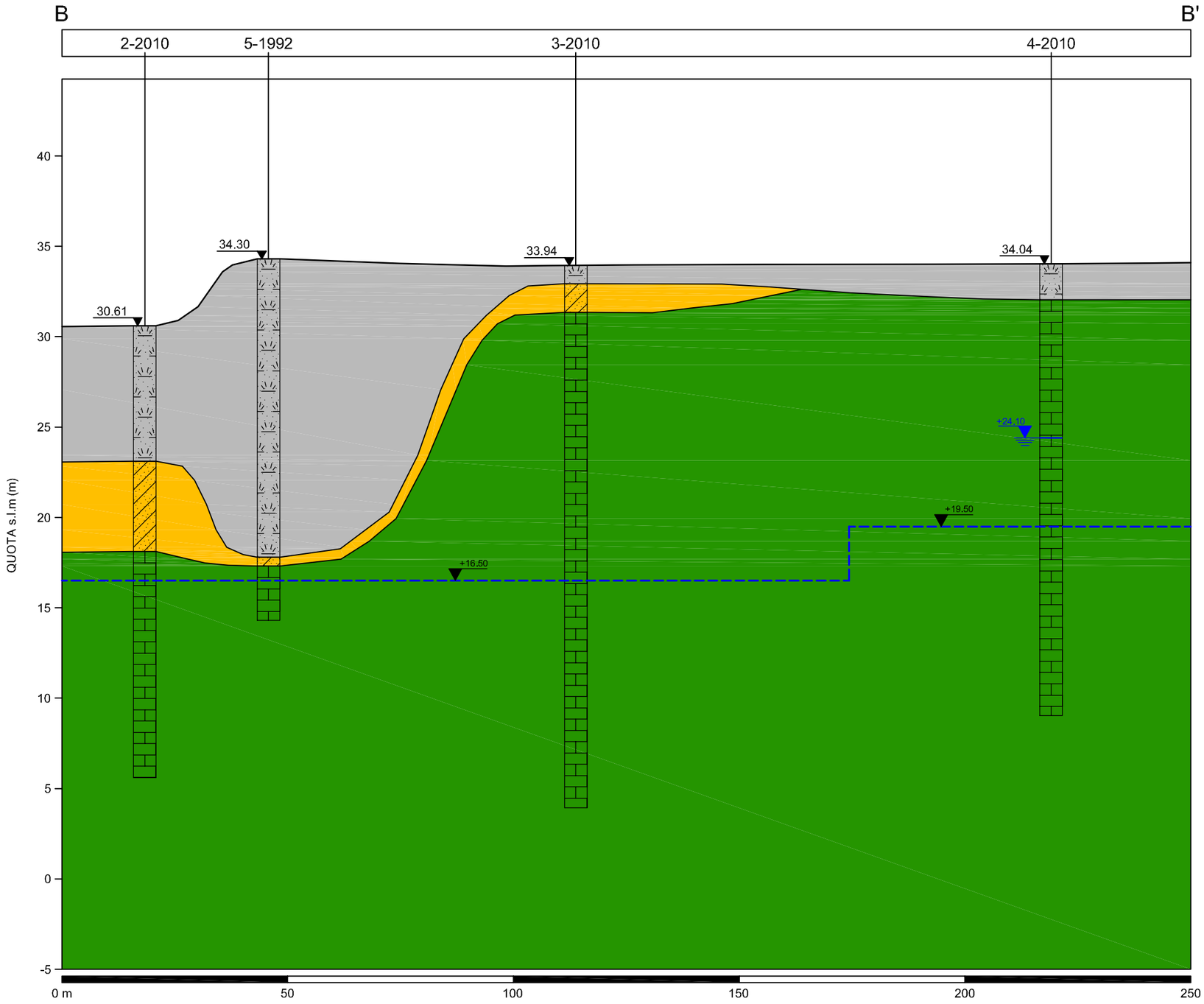
FIGURA 4

SEZIONE STRATIGRAFICA
A - A'

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

D'APPOLONIA



LEGENDA

- RIPORTO ANTROPICO
- SUOLO ARGILLOSO CON RESIDUI ANTROPICI
- CALCARE DEL MONTE ANTOLA
- QUOTA DI FALDA
- QUOTA FONDO SCAVO

NOTE

1. LE STRATIGRAFIE SONO NOTE AI SOLI PUNTI DEI SONDAGGI
2. LE CORRELAZIONI TRA GLI STRATI SONO INDICATIVE E POTRANNO VARIARE SULLA BASE DI DATI AGGIUNTIVI

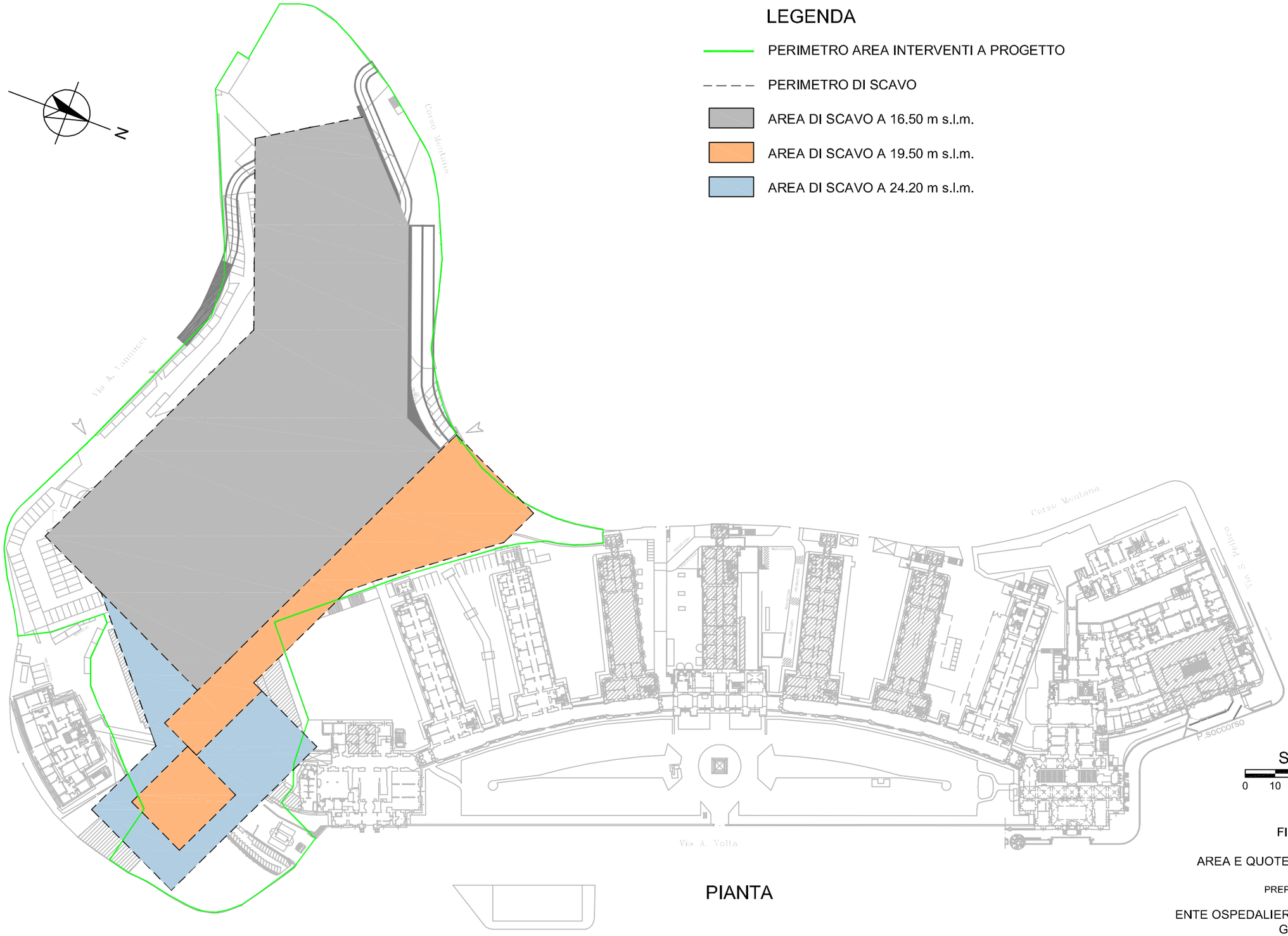
FIGURA 5

SEZIONE STRATIGRAFICA
B - B'

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

D'APPOLONIA



LEGENDA

- PERIMETRO AREA INTERVENTI A PROGETTO
- PERIMETRO DI SCAVO
- AREA DI SCAVO A 16.50 m s.l.m.
- AREA DI SCAVO A 19.50 m s.l.m.
- AREA DI SCAVO A 24.20 m s.l.m.

PIANTA

SCALA

0 10 20 40 m

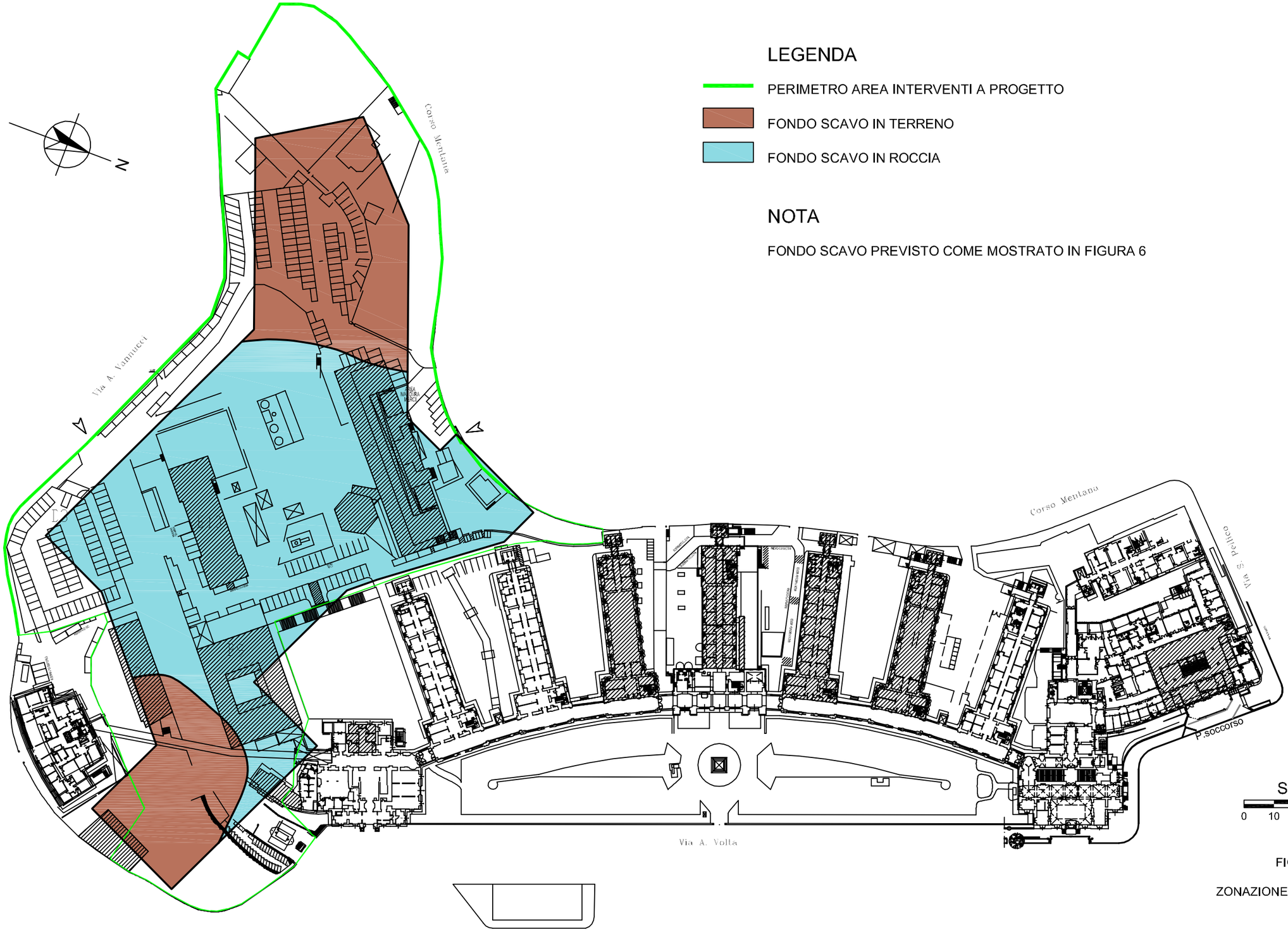
FIGURA 6

AREA E QUOTE DI SCAVO PREVISTE

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

D'APPOLONIA



LEGENDA

PERIMETRO AREA INTERVENTI A PROGETTO

FONDO SCAVO IN TERRENO

FONDO SCAVO IN ROCCIA

NOTA

FONDO SCAVO PREVISTO COME MOSTRATO IN FIGURA 6

SCALA

0 10 20 40 m

FIGURA 7

ZONAZIONE A QUOTA SCAVO

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

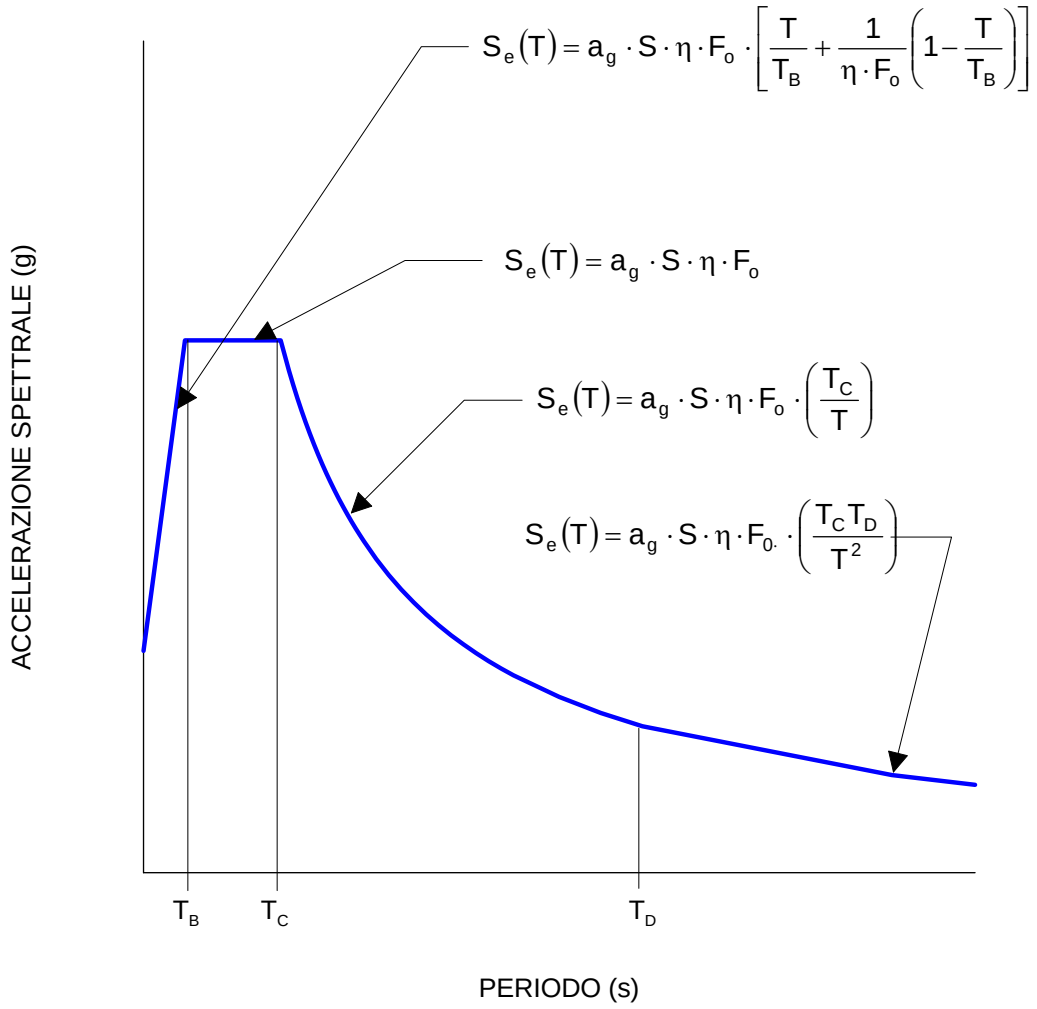


FIGURA 8

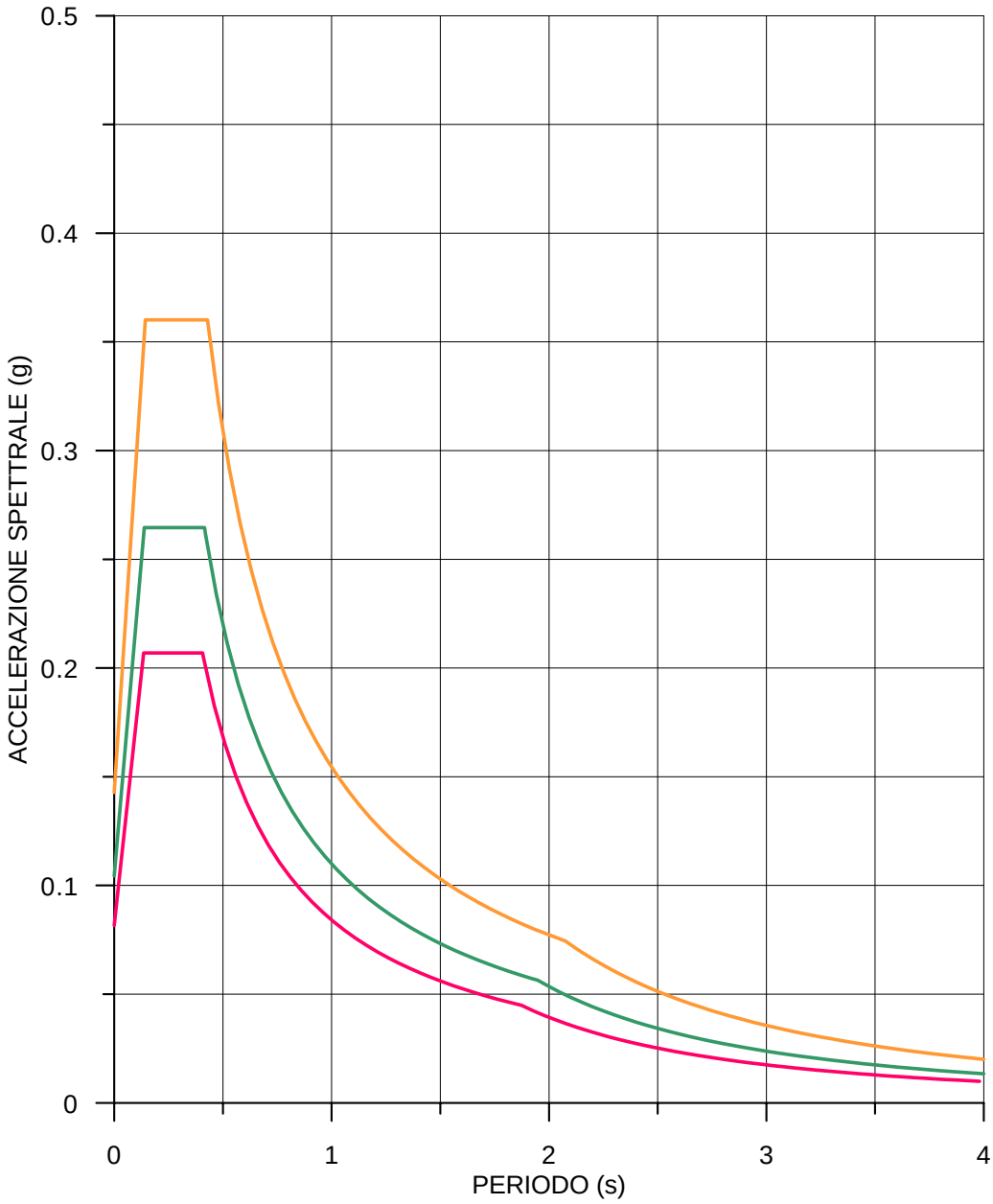
FORMA DELLO SPETTRO
ELASTICO DI PROGETTO

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO "OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA

NOTA

LA FIGURA NON E' IN SCALA



LEGENDA

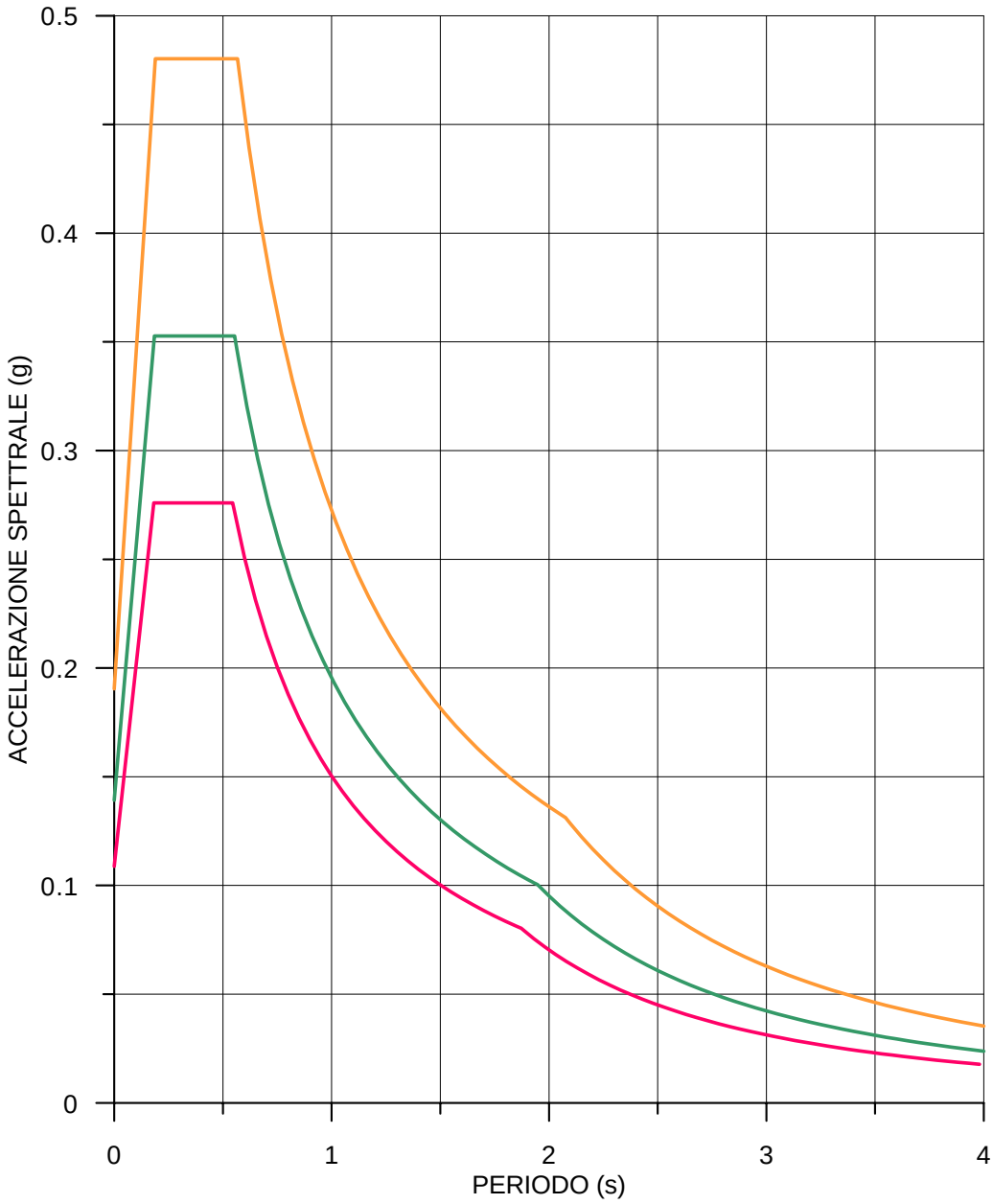
- SLO (T_R = 475 anni)
- SLD (T_R = 975 anni)
- SLV (T_R = 2475 anni)

FIGURA 9

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO
IN ACCELERAZIONE DELLE
COMPONENTI ORIZZONTALI
SLO, SLD E SLV
CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO " OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA



LEGENDA

SLO (T_R = 475 anni)

SLD (T_R = 975 anni)

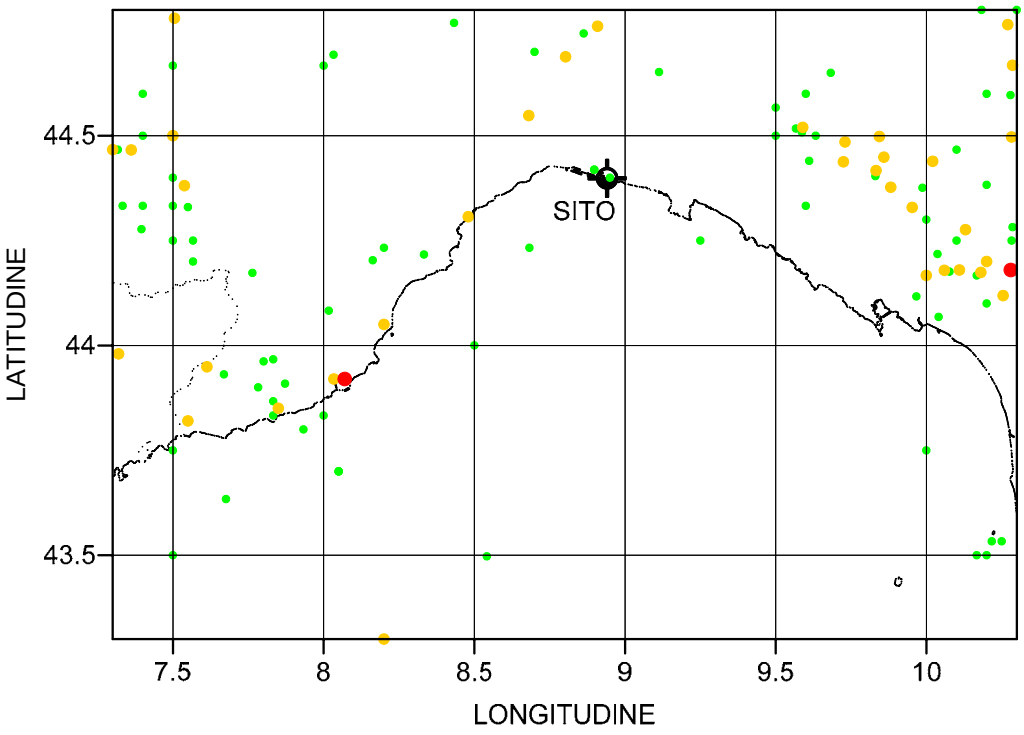
SLV (T_R = 2475 anni)

FIGURA 10

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO
IN ACCELERAZIONE DELLE
COMPONENTI ORIZZONTALI
SLO, SLD E SLV
CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO " OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA



SCALA GEOGRAFICA (km)

0 20 40 60 80 100

LEGENDA

SCALA DI MAGNITUDO (Mw)

- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 7

FIGURA 11

CATALOGO SISMICO

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO
"OSPEDALI GALLLIERA" GENOVA

RIFERIMENTO

http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/

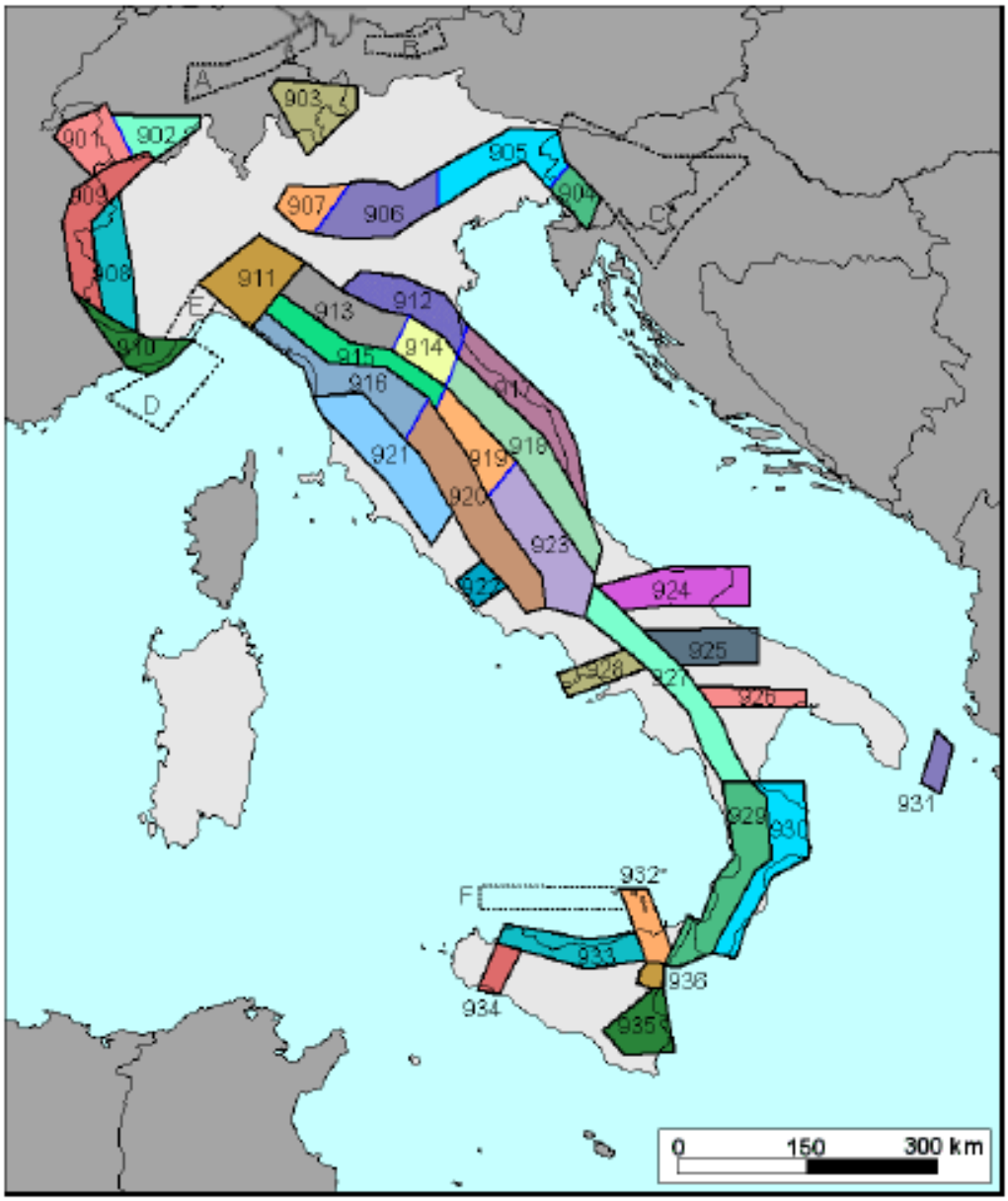


FIGURA 12

ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9

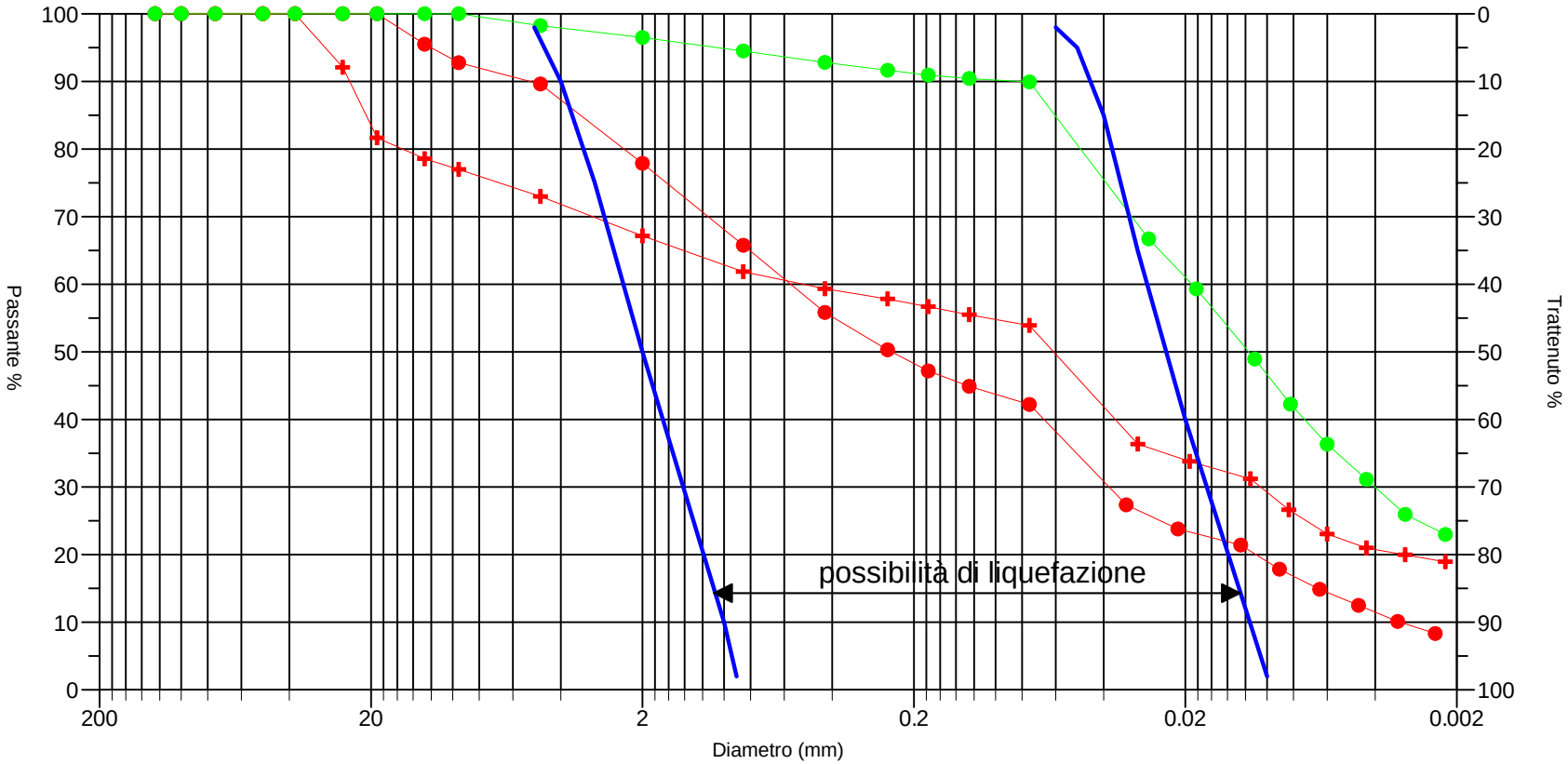
PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO
"OSPEDALI GALLLIERA" GENOVA

RIFERIMENTO

http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/rapporto_conclusivo.pdf

D'APPOLONIA



CIOTTOLI	GHIAIA		SABBIA			LIMO E ARGILLA	
	GROSSOLANA	FINE	GROSS.	MEDIA	FINE	LIMO	ARGILLA

SIMBOLO	SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	CLASSIFICAZIONE
●	1	C2	10.20	Sabbia argillosa
+	1	C4	12.50	Argilla ghiaiosa di bassa plasticità con sabbia
●	2	C2	11.00	Argilla di bassa plasticità

NOTA

I LIMITI DI NORMATIVA
SONO RAPPRESENTATI
DALLE CURVE DI COLORE BLU

FIGURA 13

CONFRONTO FUSI GRANULOMETRICI
E LIMITI DA NORMATIVA

PREPARATO PER

ENTE OSPEDALIERO
"OSPEDALI GALLIERA"
GENOVA