

**OGGETTO: MI-E-792 - LAVORI DI
SISTEMAZIONE SPONDALE DEL
TORRENTE LURA NEL TRATTO
CITTADINO DEL COMUNE DI RHO (MI)**

PROGETTO ESECUTIVO

CUP: B49G13001580002

ELABORATO: <div style="font-size: 48pt; font-weight: bold;">2</div>	<div style="font-size: 24pt; font-weight: bold;">Relazione geologica</div>	DATA: Febbraio 2017	AGGIORNAMENTO:
		AGGIORNAMENTO: Giugno 2017	AGGIORNAMENTO:
		SCALA: <div style="text-align: center;">---</div>	

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. Luigi Mille SUPPORTO AL RUP: FT Geom. Stanislao Moccia	I COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE: Dott. Ing. Daniele Forcillo FT Geom. Stanislao Moccia FT Geom. Fabio Conti
IL PROGETTISTA: Dott. Ing. Gaetano La Montagna AIPO - Agenzia Interregionale per il fiume Po Sede di Milano via Taramelli , 12 - 20124 Milano tel: 02/77714213 - 02/77714222 mail: gaetano.lamontagna@agenziapo.it	STUDIO GEOLOGICO: Dott. Geol. Luca Maffeo Albertelli via A. De Gasperi, 28 - 25047 Darfo Boario Terme (BS) tel: 035/4340011 mail: luca@cogeo.info
	SUPPORTO TECNICO ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA:  DIZETA INGEGNERIA <small>Via Bassini, 19 - 20133 MILANO Tel. 02-70600125 server@dizetaingegneria.it Fax 02-70600014</small> Direttore Tecnico Dott. Ing. Fulvio Bernabei



Agenzia Interregionale
per il fiume Po



Regione
Lombardia



Comune di Rho

OGGETTO: MI-E-792 - LAVORI DI
SISTEMAZIONE SPONDALE DEL
TORRENTE LURA NEL TRATTO
CITTADINO DEL COMUNE DI RHO (MI)

PROGETTO DEFINITIVO

CUP: B49G13001580002

CIG:

ELABORATO:

03

Relazione geologica

DATA:

Marzo 2015

AGGIORNAMENTO:

AGGIORNAMENTO:
Novembre 2015

AGGIORNAMENTO:

SCALA:

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Luigi Mille

SUPPORTO AL RUP:

FT Geom. Stanislao Moccia

I COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Daniele Forcillo

FT Geom. Stanislao Moccia

FT Geom. Fabio Conti

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Luca Campana

via dello Stadio, 45 - 25133 Brescia (BS)

tel: 030/2090369 - 030/2005886

mail: campana@studiocrb.it

I PROGETTISTI:

Dott. Geol. Luca Maffeo Albertelli

via A. De Gasperi, 28 -

25047 Darfo Boario Terme (BS)

tel: 035/4340011 mail: luca@cogeo.info

INDICE

PREMESSA.....	3
INQUADRAMENTO	4
1.0 FASE DI INDAGINE.....	7
1.1 INQUADRAMENTO VINCOLISTICO	7
1.2 QUADRO GEOLOGICO GENERALE.....	8
1.3 ASPETTI IDROGEOLOGICI	12
1.3.1 LIVELLO PIEZOMETRICO	14
1.4 ASPETTI IDROGRAFICI GENERALI	15
1.5 INDAGINI ESEGUITE	16
1.5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT	17
1.5.2 INDAGINI SISMICHE MASW.....	18
2.0 FASE DI ELABORAZIONE.....	19
2.1 RISCHI GEOLOGICI NATURALI E INDOTTI	19
2.2 STRATIGRAFIE E FOTO SONDAGGI.....	20
2.3 ELABORAZIONE PROVE SPT	24
2.4 MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO	34
2.5 SEZIONI GEOLOGICHE	35
2.6 CARATTERI SISMICI DEL SITO	37
3.0 FASE DI SINTESI.....	45

TAVOLE DI RIFERIMENTO

TAV01: INQUADRAMENTO TERRITORIALE, URBANISTICO E CATASTALE;
TAV02: INQUADRAMENTO GEOLOGICO E COROGRAFIA;
TAV03: CARTA DELLA DINAMICA CON CONI FOTOGRAFICI;
TAV06: PLANIMETRIA E SEZIONI GEOLOGICHE;
TAV13: SINTESI DELLE CRITICITA' RILEVATE TORRENTE LURA IN AMBITO
ANTROPIZZATO

PREMESSA

La presente relazione geologica è a supporto del “PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO DELLE SPONDE DEL TORRENTE LURA NEL TRATTO CITTADINO DEL COMUNE DI RHO (MI) E ANALISI GENERALI DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE”.

Il presente elaborato ha lo scopo di definire i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici delle aree interessate dagli interventi secondo quanto contenuto nella normativa vigente, con particolare riferimento a:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Testo Unitario – D.M.14/09/2005 di fatto mai entrato in vigore per difficoltà operative;
- D.M. 14 gennaio 2008 Norme tecniche per costruzioni;
- Circolare n. 617 del 2.02.2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : “Istruzioni per l’applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.

Con lo scopo di definire sia le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche e idrauliche dell’area in studio e del suo intorno significativo si è provveduto a eseguire:

- un sopralluogo preliminare in sito;
- verifica della documentazione di carattere geologico idraulico presso il Comune di Rho;
- realizzazione di una campagna di indagini in sito con realizzazione nel giugno 2014 di n°2 sondaggi a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 20 mt ciascuno (con esecuzione di prove penetrometriche in foro, spt) e n° 2 stendimenti sismici masw per la determinazione del Vs30 nel territorio in studio;
- il Comune di Rho si colloca in classe di sismicità 4 (O.P.C.M. 3274 del 2003 e L.R. 12/’05);
- sintesi dei dati raccolti e conclusioni.

Lo studio condotto si è sviluppato secondo varie fasi di raccolta dati, indagini in sito ed elaborazioni, secondo lo schema di seguito descritto:

- FASE DI INDAGINE e raccolta dati con il preciso scopo di descrivere le indagini eseguite in sito;
- FASE DI ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DATI finalizzata ad analizzare i dati raccolti;
- FASE DI SINTESI finalizzata a fornire le indicazioni di carattere geologico connesse alle nuove opere.

INQUADRAMENTO

La vallata del torrente Lura è collocata prevalentemente nel territorio della provincia di Como, a partire dal territorio di Bizzarone - Uggiate Trevano, a nord, sino a Rovello Porro, per proseguire nel territorio della provincia di Varese su Saronno e Caronno Pertusella, sino a confluire nel Fiume Olona, in territorio di Rho, in provincia di Milano.

In figura 1 e 2 si riportano uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, Fogli B6 e B5 scala 1:50.000 e nelle sezioni B6A1 e sezione B5A5 scala 1:10.000 ed uno stralcio del volo aerofotogrammetrico con indicata l'area in studio (cfr. tavola 1).

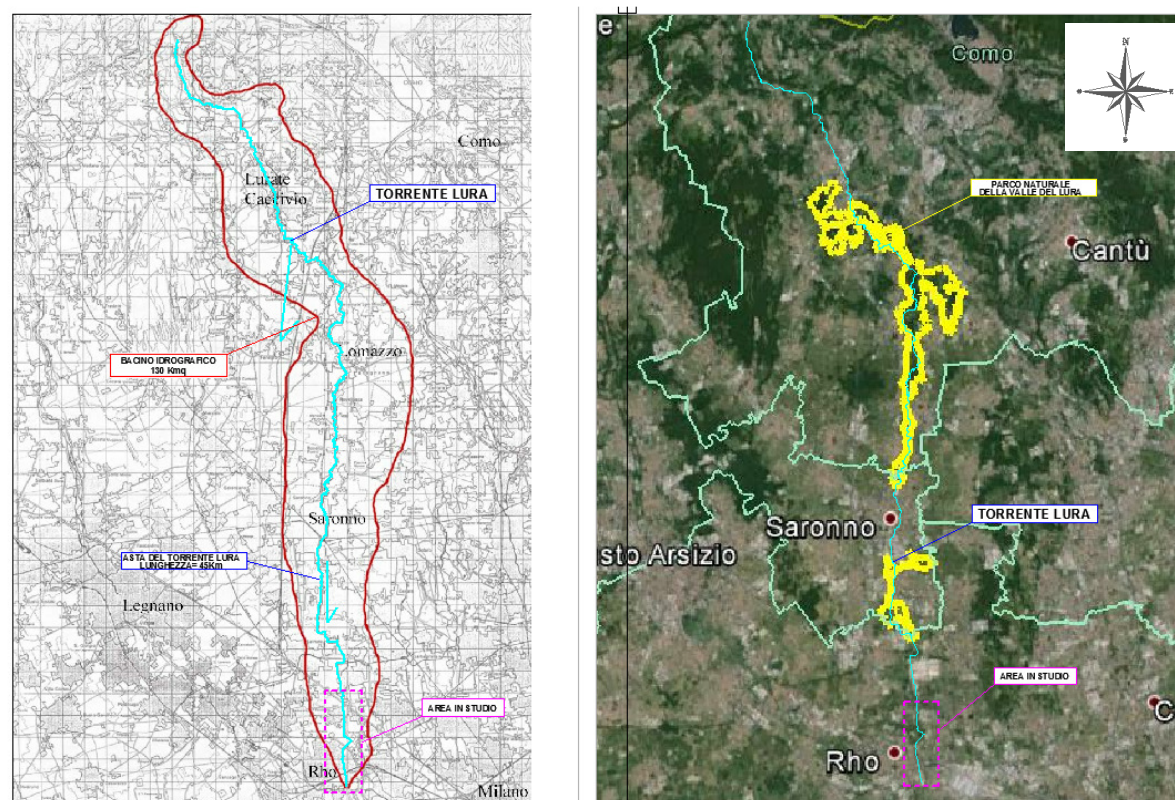


Figura 1. Stralcio bacino idrografico del Torrente Lura e parco del Lura (cfr. tavola 1)

Il torrente Lura è un'asta fluviale della lunghezza di circa 45 km, che attraversa le province di Como, Varese e Milano. Appartiene al complesso reticolo idrografico a nord della metropoli milanese, i cui corsi d'acqua nascono nella zona prealpina, non lontano dal confine italo-svizzero, e scorrono con andamento pressoché parallelo verso il capoluogo lombardo. I comuni il cui territorio è attraversato dal torrente Lura, che nasce a circa 1 km dalla frontiera elvetica a quota 402 metri sul livello del mare, sono Uggiate Trevano, Faloppio, Olgiate Comasco, Gironico, Lurate Caccivio, Bulgarograsso, Guanzate, Cadorago, Lomazzo, Bregnano, Rovellasca, Rovello Porro (provincia di Como), Saronno, Caronno Pertusella (provincia di Varese), Lainate, Arese e Rho (provincia di Milano).

Il Lura presenta un bacino idrografico di forma stretta e allungata, conchiuso, nel tipico aspetto dei bacini dei corsi d'acqua di pianura, dai bacini di altri corpi idrici, ovvero del fiume Olona e del torrente Bozzente (a ovest) e del torrente Seveso e del torrente Guisa (a est). Il torrente Lura termina il suo corso in corrispondenza dell'abitato di Rho, dove confluisce nel fiume Olona. La superficie idrografica naturale del bacino, chiuso alla confluenza con il recettore Olona, risulta essere di circa 130 kmq.

Il principale affluente, di sponda sinistra, è sicuramente la roggia Livescia, che attraversa i territori comunali di Cassina Rizzardi, Fino Mornasco e Cadorago, prima di confluire nel Lura in comune di Cadorago. La Livescia riveste una certa importanza poiché presenta portate piuttosto costanti anche in tempo secco. Altri affluenti degni di menzione, sebbene di portata esigua, sono una piccola roggia che, nascendo in comune di Bizzarone, confluisce nel torrente come tributario di sponda destra in comune di Faloppio e viene convenzionalmente classificata anch'essa con il nome di Lura; la roggia Lura di Albiolo, che nasce nel territorio comunale del paese omonimo e confluisce di sponda destra nel torrente all'altezza dei confini comunali tra Faloppio e Olgiate Comasco; infine, entrambi tributari di sponda sinistra, il torrente Riale, che nasce in comune di Gironico e confluisce nel Lura in comune di Olgiate Comasco, e il torrente Fossato, che riceve i contributi idrici di parte del territorio comunale di Villaguardia e Montano Lucino e confluisce nel Lura al confine tra i comuni di Lurate Caccivio e Bulgarograsso.

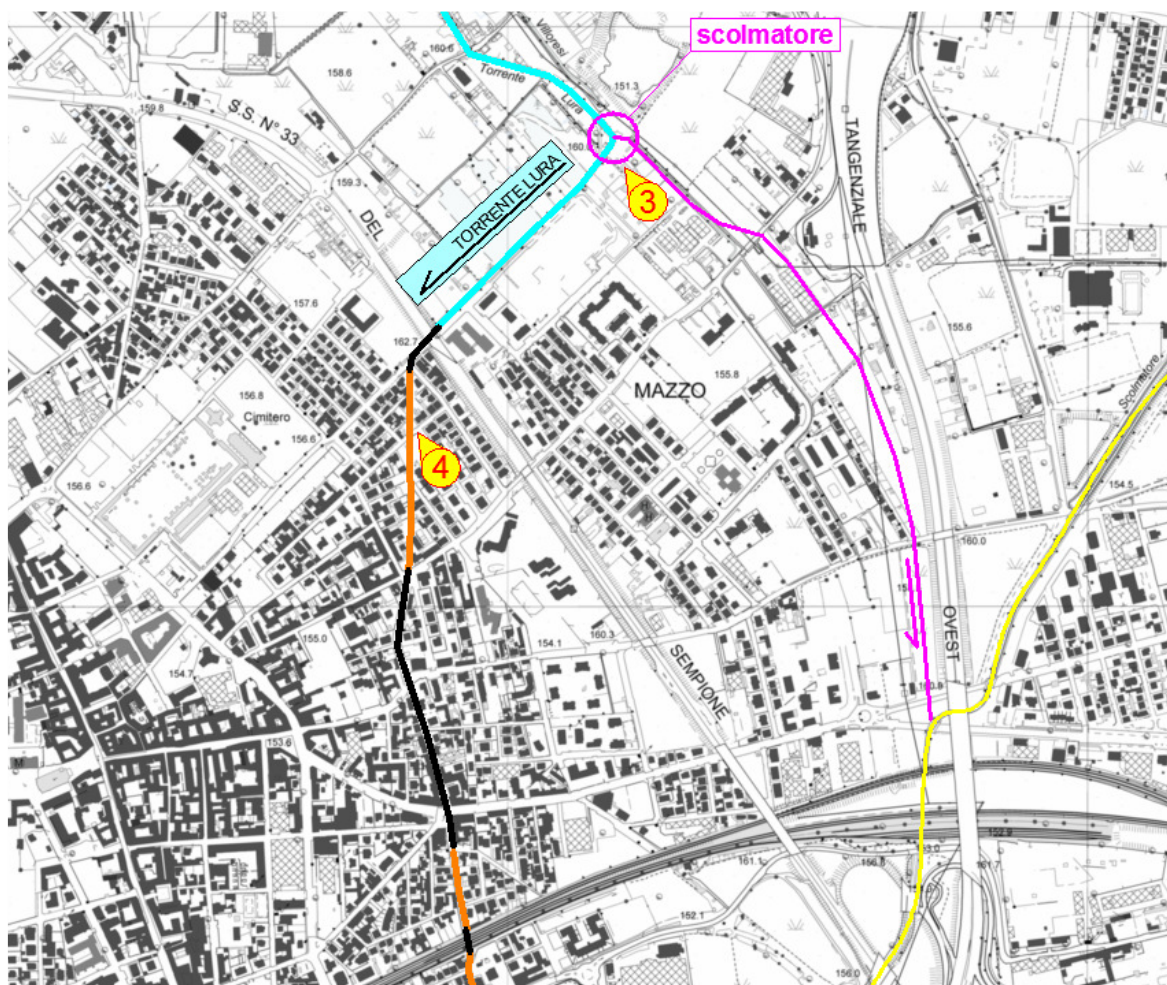


Figura 2. Localizzazione Torrente Lura nel tratto cittadino del Comune di Rho (cfr. tavola 02)

Di seguito si riporta un quadro fotografico del Torrente Lura laddove è coperto con pannelli in polycarbonato, dove risulta a cielo aperto e dove si presenta tombinato.



Quadro fotografico Torrente Lura, cfr. tavola 03

1.0 FASE DI INDAGINE

1.1 INQUADRAMENTO VINCOLISTICO

La porzione di territorio interessata dalle opere di progetto risulta totalmente in alveo torrentizio e quindi le aree in esame ricadono in classe 4 di fattibilità geologica (fattibilità con gravi limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni). In riferimento allo stralcio della carta dei vincoli tratto anch'esso dal geoportale, le aree in studio ricadono in “aree a pericolosità molte elevate” (Ee) e “aree a pericolosità medio-moderata” (Em) relativamente ai potenziali fenomeni di esondazione del Torrente Lura, cfr. figure 3-4.

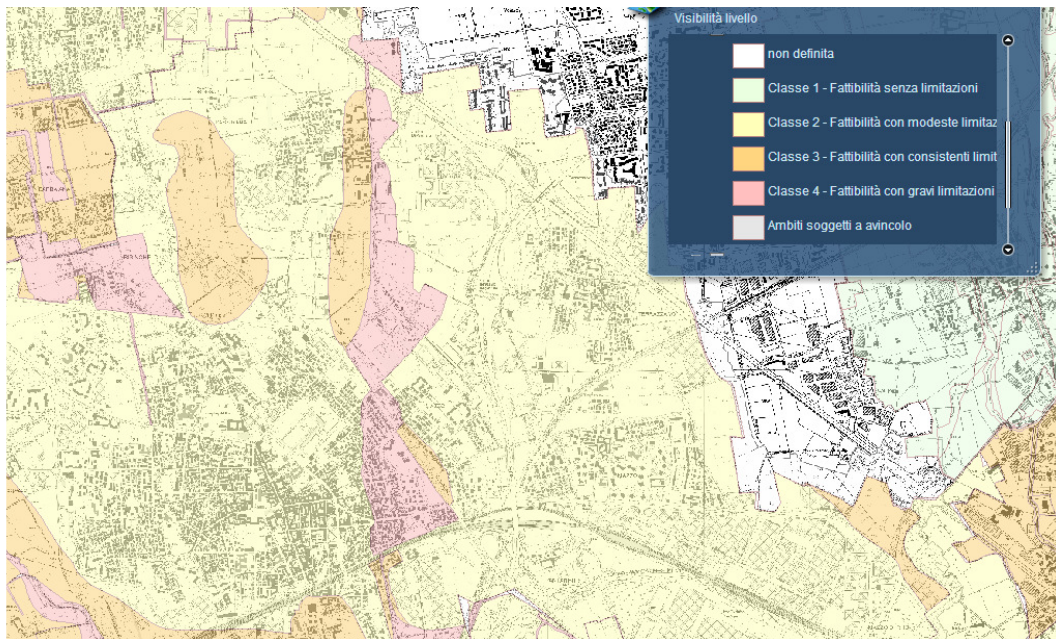


Figura 3. Stralcio della Carta di Fattibilità tratto dal Geoportale della Regione Lombardia

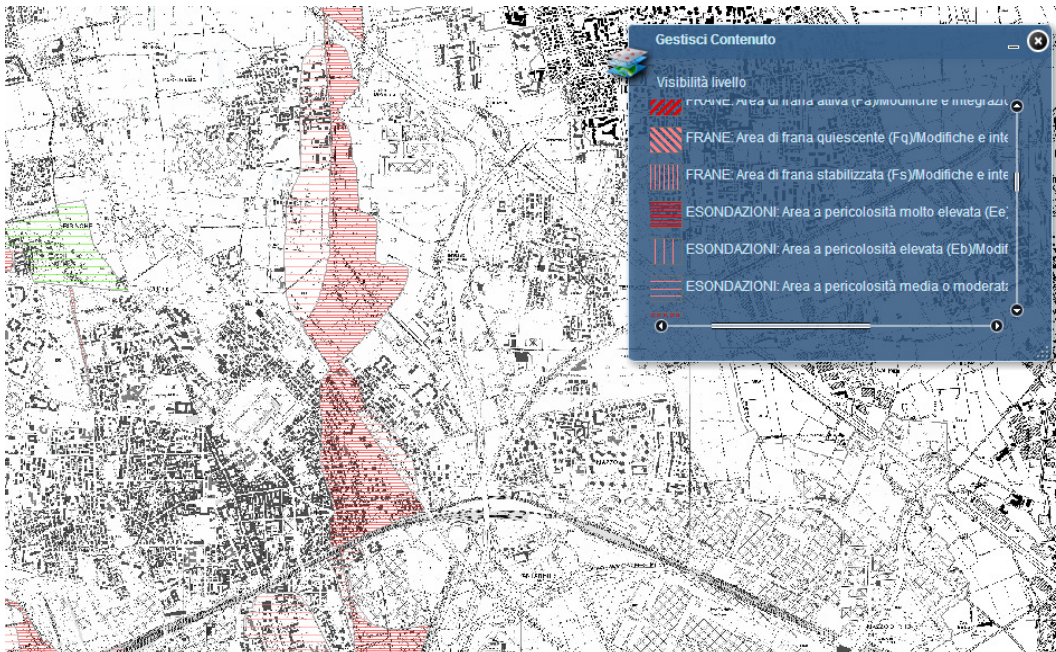


Figura 4. Stralcio della Carta dei Dissesti tratto dal Geoportale della Regione Lombardia

1.2 QUADRO GEOLOGICO GENERALE

Il torrente Lura ha acquisito l'attuale conformazione dopo la fusione dei grandi ghiacciai alpini, in tempi che si possono definire geologicamente molto recenti. L'area del bacino idrografico del Lura attraversa trasversalmente, dalla sorgente alla confluenza con il fiume Olona, molte delle varie tipologie di apparati morenici e coltri di materiali alluvionali fluvioglaciali rinvenibili nella zona compresa tra l'arco alpino e la città di Milano: di conseguenza, l'alveo del corso d'acqua presenta caratteristiche diverse da nord a sud, cfr. figura 5 e tavola O2.

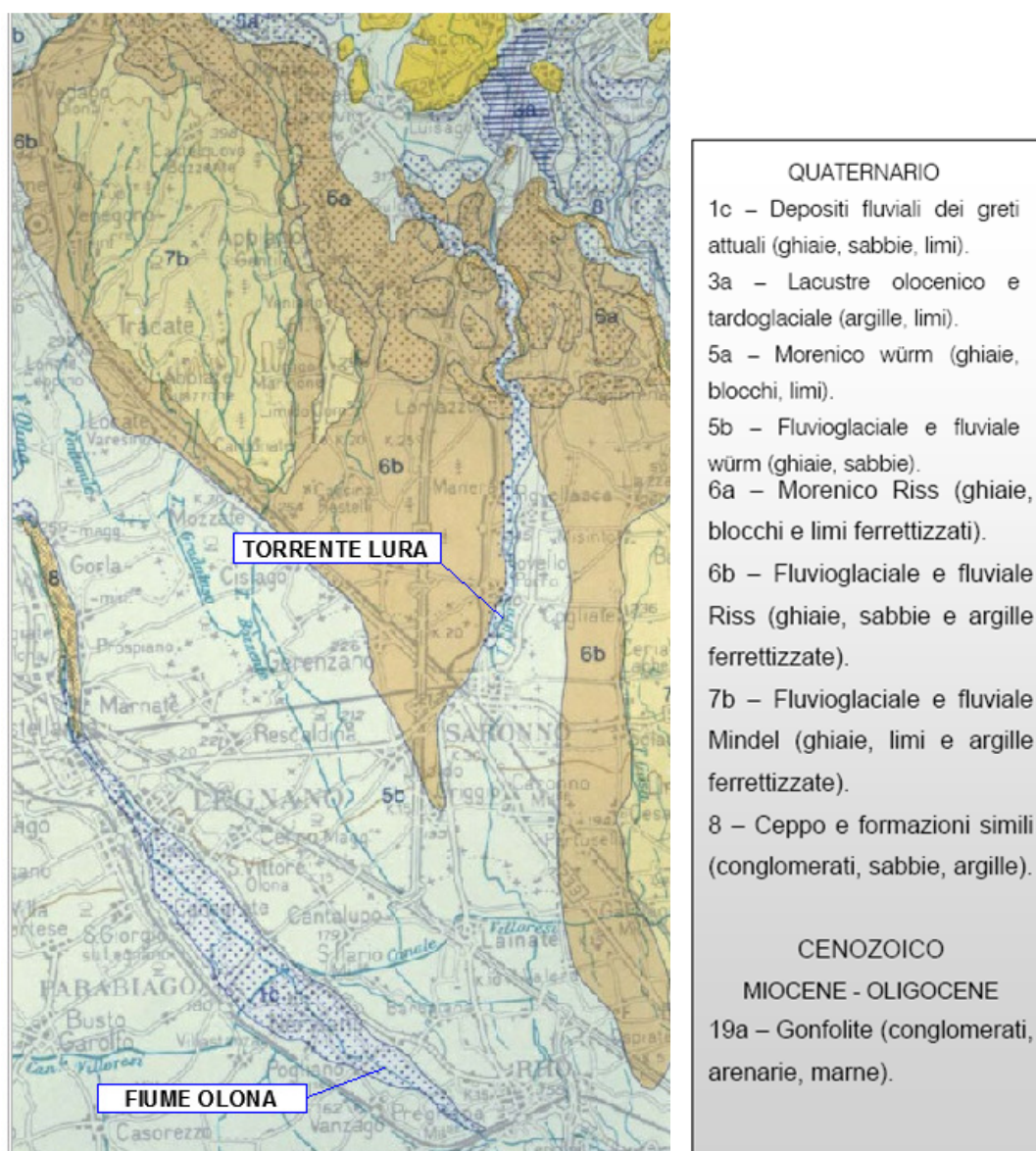


Figura 5. Stralcio carta geologica della Lombardia (a, Montrasio et al, 1990)

Nell'ideale transetto che si ottiene spostandosi dalla sorgente verso sud, seguendo il corso del torrente, si attraversano in primo luogo gli anfiteatri collinari morenici che costituiscono i vasti apparati deposizionali pleistocenici delle colate glaciali principali del Ceresio e del Lario. Lungo il primo tratto di torrente si possono rinvenire formazioni di gonfolite (conglomerati intercalati da arenarie grigie del substrato oligo-miocenico), affioranti in pochi tratti di scarpata, ma è indubbio che la caratterizzazione geomorfologica del territorio attraversato è data principalmente dalla deposizione morenica. In

particolare, si rinviene una cerchia di colline moreniche würmiane nella zona che va dalla sorgente all'abitato di Olgiate Comasco, parzialmente sovrapposte ad un sottostante anfiteatro morenico più antico (rissiano) che si spinge più a meridione, fino ai territori comunali di Appiano Gentile, Guanzate, Cadorago e Lomazzo. Il paesaggio è caratterizzato da terrazzamenti alternati a piccole scarpate, soprattutto nel territorio di Bulgorello (frazione di Cadorago) e Lomazzo, e coincide con le zone dotate di maggior naturalità, tutelate dal Parco della Valle del Torrente Lura. In questa porzione di territorio il torrente attraversa soprattutto depositi morenici ghiaiosi e ciottolosi, ma anche conglomerati del Ceppo Lombardo, fortemente cementati e attribuibili al Pleistocene inferiore (interglaciale Günz-Mindel).

L'evoluzione dell'anfiteatro morenico comasco ha portato alla formazione, a meridione delle cerchie collinari, di superfici di deposito alluvionale e fluvioglaciale che, successivamente incise in smantellamenti parziali, sono ora lembi terrazzati di forma sub-triagonale e profondamente compenetrati tra loro. Sono correlati alle fasi glaciali quaternarie più antiche e pronunciate (Mindel e Riss), che hanno formato le due principali e più evidenti superfici di terrazzamento sopraelevato rispetto al "livello fondamentale della pianura" correlato con l'ultima glaciazione würmiana.

Il torrente Lura attraversa un lembo di terrazzo intermedio (rissiano, altresì definito del Diluvium medio), mentre non si riscontrano terrazzi antichi mindeliani sufficientemente vicini al corso d'acqua da poter essere considerati in qualche modo influenti sulla caratterizzazione geomorfologica. Il terrazzo antico più vicino è il pianalto di Tradate-Appiano Gentile, a circa 3-4 km a ovest del torrente Lura all'altezza dei comuni di Lurate Caccivio e Bulgarograsso. Superato in direzione sud il territorio comunale di Rovellasca, il terrazzo intermedio rissiano tende a dividersi in due lembi divergenti. Il lembo di sponda destra prosegue per alcuni chilometri, oltrepassando l'abitato di Saronno, parallelo e adiacente al letto del torrente, mentre il lembo di sponda sinistra si allontana verso oriente. Il torrente Lura scorre successivamente nel livello fondamentale della pianura compenetrato ai lembi di terrazzo intermedio. Il livello fondamentale della pianura è caratterizzato dai depositi del Pleistocene Superiore di ghiaie e sabbie fluvioglaciali würmiane. Le sponde del torrente Lura sono generalmente basse e il corso d'acqua scorre a livello del piano di campagna, con la possibilità di esondare e allagare la pianura circostante.

Tempo (ybp)	Era	Epoca	Età	Cronosequenza Alpina
0	Quaternario	Olocene		Post Glaciale
-10k		Pleistocene	Superiore	Würm
-75k				Riss-Würm
-125k			Medio	Riss
-730k				Mindel-Riss
				Mindel
			Inferiore	Günz-Mindel
Günz				
Donau-Günz				
-1.7M		Donau		

Tabella di conversione tra la cronosequenza alpina delle glaciazioni e il computo del tempo geologico. Il tempo è espresso in anni prima del presente (years before present, ybp). Nella cronosequenza, un nome singolo (es. Riss) indica una glaciazione, mentre l'affiancamento di due nomi (es. Günz-Mindel) indica un periodo interglaciale più caldo. Da M. Panizza, 1985, 1992, modificata.

Vengono di seguito riportate descrizioni geomorfologiche più dettagliate del territorio attraversato dal torrente Lura, che permettono di suddividere le zone lambite dal corso d'acqua in 4 sezioni principali. Le singole sezioni sono state definite in base ai sistemi, sottosistemi e unità di paesaggio utilizzate dall'ERSAL (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia) per la composizione delle carte pedologiche.

Sezione 1 – MR (morenico recente)

Dalla sorgente (a W dell'abitato di Ugiate Trevano) alla zona a SE dell'abitato di Olgiate Comasco. Il torrente attraversa depositi morenici würmiani (recenti), dotati di morfologia a tratti aspra e costituiti da sedimenti glaciali e fluvioglaciali. In particolare, il torrente scorre in un solco vallivo (MR8) che costituisce una testimonianza del reticolo idrografico non più attivo e risulta sovradimensionato rispetto al corso d'acqua esistente, con substrato ghiaioso sabbioso debolmente alterato. Il solco vallivo incide una zona di cordoni morenici piuttosto netti e con pendenze talvolta elevate (MR1), costituiti da substrato ghiaioso limoso e moderata pietrosità.

Associate ai cordoni morenici si rinvencono superfici di raccordo con il solco vallivo (MR2), con pendenza moderata e costituite da depositi colluviali di piede versante o da materiali di deposizione fluvioglaciale. A W dell'abitato di Faloppio, nella zona di sponda destra del torrente, si rinviene una zona a forte idromorfia (MR6), dovuta alla presenza di falda subaffiorante e caratterizzata dalla presenza di una rete di canali di scolo per drenare le acque ristagnanti.

A NE e E dell'abitato di Olgiate Comasco, la zona valliva (MR8) in cui il Lura funge da colatore si amplia e riceve gli apporti idrici di una zona (fino agli abitati di Parè, Gironico, Montano Lucino) caratterizzata da crinali non morenici con substrato roccioso e affioramenti litoidi, conglomeratici e arenacei, non calcarei e secondariamente marnosi (PB3): la pendenza è moderatamente elevata, i crinali sono percorsi da incisioni vallive di origine alluvionale su materiale spesso sabbioso (PV3).

Sezione 2 – MI (morenico intermedio)

Dalla zona a N dell'abitato di Lurate Caccivio fino alla zona immediatamente a N dell'abitato di Lomazzo. Il torrente attraversa depositi morenici rissiani (intermedi), costituiti da materiali di origine glaciale e fluvioglaciale mediamente alterati, a volte sepolti da apporti successivi dovuti a coperture eoliche (loess) o colluviali. A SE dell'abitato di Olgiate Comasco, prima dell'ingresso nel centro abitato di Lurate Caccivio da N, il corso d'acqua attraversa alcuni rilievi isolati e ben definiti (MI1), visibili presso entrambe le sponde, con substrato ghiaioso limoso. Sulla sponda sinistra, il cordone morenico si appoggia ai crinali (PB3) conglomeratici gonfolitici del piano basale già citati nella sezione 1. Nell'area dell'abitato di Lurate Caccivio, benché soggetta a notevoli modificazioni antropiche, è possibile intuire una vasta area piana, a morfologia da subpianeggiante fino a concava (MI3), in cui prevalgono i depositi fluvioglaciale con substrato ghiaioso e matrice sabbioso limosa.

A SE dell'abitato di Lurate Caccivio, dove il torrente abbandona la zona più urbanizzata, diventa più visibile l'effetto recente del passaggio del corso d'acqua stesso, con la presenza della propria piana alluvionale inondabile con dinamica prevalentemente deposizionale (VA8), costituita da sedimenti recenti e attuali. Tale zona si compone altresì di piccole scarpate erosive (dove si possono rinvenire piuttosto frequentemente banchi affioranti di conglomerati del Ceppo Lombardo), nonché di superfici terrazzate (VT1) di piccole dimensioni, ribassate di alcuni metri rispetto alle superfici circostanti rissiane e comprendenti antiche linee di drenaggio (paleoalvei).

Un gradino morfologico che, a causa dell'intenso utilizzo del territorio da parte dell'uomo, non sempre è visibile, separa la piana alluvionale dal territorio circostante, composto (tra la zona a SE dell'abitato di Lurate Caccivio e quella a N dell'abitato di Lomazzo), da rilievi isolati di cerchie moreniche (MI1) e superfici di raccordo (MI2) tra i crinali e la piana fluvioglaciale, queste ultime caratterizzate da pendenze basse ma comprendenti scarpate erosive con pendenze anche molto elevate in prossimità del solco vallivo. Le superfici di raccordo sono solcate da canali di origine fluvioglaciale e sono caratterizzate da substrato ghiaioso limoso.

Sezione 3 – RI (terrazzi intermedi)

Dalla zona immediatamente a N dell'abitato di Lomazzo fino all'ingresso del torrente nell'abitato di Saronno. Il corso del torrente Lura prosegue nella propria piana alluvionale (VA8) piuttosto incisa, con la presenza di piccole scarpate erosive e di superfici terrazzate di piccole dimensioni (VT1), ribassate rispetto al terrazzo intermedio rissiano (RI1) circostante. Il terrazzo del Diluvium medio è sopraelevato rispetto al livello fondamentale della pianura, ma ribassato rispetto al morenico rissiano, ai cui piedi si situa. E' costituito da materiali fluvioglaciali grossolani mediamente alterati attribuiti al Pleistocene medio, generalmente ricoperti da sedimenti fini di probabile deposizione alluvionale ed eolica (loess). La morfologia è subpianeggiante o poco ondulata, l'estensione ampia, il substrato è ciottoloso a matrice sabbioso limosa e copertura fine.

Lungo la sponda destra, il terrazzo intermedio prosegue per tutta l'estensione della sezione a ridosso dell'incisione valliva del torrente, mentre lungo la sponda sinistra il bordo del terrazzo tende ad allontanarsi verso E già a N dell'abitato di Rovellasca, permettendo, tra i due lembi di terrazzo, la penetrazione della piana fluvioglaciale costituente il livello fondamentale della pianura, al cui interno l'incisione valliva del Lura si colloca. La piana fluvioglaciale si è formata per colmamento alluvionale durante e al termine dell'ultima glaciazione würmiana, e nella zona origina ampie conoidi ghiaiose a morfologia subpianeggiante, rappresentative della cosiddetta "alta pianura ghiaiosa" (LG1) e con tracce di paleoidrografia. Presso l'incisione del Lura sono presenti ampie ondulazioni, il substrato è ghiaioso con matrice sabbiosa, la pietrosità superficiale è comune.

Sezione 4 – LG (alta pianura ghiaiosa)

Dall'abitato di Saronno fino al termine della zona rilevata, presso lo stabilimento Alfa Romeo di Arese. Il percorso del torrente Lura è spesso modificato da interventi antropici e raddrizzato. Solo nella zona a N del territorio comunale di Caronno Pertusella si rinviene una porzione di piana incisa naturalmente dal corso meandriforme del torrente associabile alla piana alluvionale naturale (VA8). La zona circostante è interamente composta dalla superficie rappresentativa delle conoidi dell'"alta pianura ghiaiosa" (LG1). Il terrazzo intermedio rissiano rimane ancora piuttosto vicino sia a W che a E del torrente, ma non influenza ulteriormente la morfologia.

Lungo la valle del Torrente Lura è possibile osservare l'affiorare del ceppo, conglomerato prevalentemente calcareo-dolomitico con scarsi elementi cristallini. E' piuttosto massiccio, senza stratificazione, di colore grigiastro, con sottili intercalazioni sabbioso-arenacee.



Affioramento di terreni appartenenti al "Ceppo" lungo il torrente Lura, tipica formazione conglomeratici recente più o meno cementata

1.3 ASPETTI IDROGEOLOGICI

Nei suoi lineamenti fondamentali, la struttura idrogeologica dell'area è quella tipica e ben conosciuta della pianura milanese. Le caratteristiche principali del sottosuolo evidenziano il progressivo affinamento dei caratteri litologici all'aumentare della profondità e una marcata e generale riduzione della granulometria procedendo verso Sud.

Ciononostante il sottosuolo capoluogo lombardo è contraddistinto da una discreta omogeneità strutturale in quanto le principali caratteristiche litologiche e idrogeologiche si rinvergono con buona continuità areale. Per la ricostruzione della geometria e dei rapporti tra i diversi acquiferi presenti nel sottosuolo dell'area in oggetto possono essere adottati criteri distintivi basati sull'identificazione di "unità idrostratigrafiche", che sono unità contraddistinte da un'associazione di litotipi che presentano simile circolazione idrica sotterranea, rapporto di alimentazione-deflusso delle falde e disposizione geometrica rispetto agli altri acquiferi.

Secondo la suddivisione introdotta da Avanzini M., Beretta G.P., Francani V. e Nespoli M, 1994, dall'alto verso il basso, si possono individuare le seguenti unità idrostratigrafiche:

- unità ghiaioso-sabbiosa (facies fluviali dell'Olocene-Pleistocene Sup.);
- unità sabbioso-ghiaiosa (facies fluviali del Pleistocene Medio);
- unità a conglomerati e arenarie (facies fluviali del Pleistocene Inf.);
- unità sabbioso-argillosa (facies continentale e transizionale, Pleistocene Inf.- Villafranchiano Sup. e Medio Auct.);
- unità argillosa (facies marina, Pleistocene Inf.-Calabrian Auct.).

Queste unità sono state più di recente riclassificate da Regione Lombardia, Eni Divisione Agip, 2002, nelle nuove seguenti unità idrostratigrafiche:

- Gruppo acquifero A (Olocene-Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'unità ghiaioso-sabbiosa;
- Gruppo acquifero B (Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'insieme delle unità sabbioso-ghiaiosa e a conglomerati e arenarie;
- Gruppo acquifero C (Pleistocene Medio); corrispondente alla parte superiore dell'unità sabbioso-argillosa;
- Gruppo acquifero D (Pleistocene Inf.); corrispondente alla restante parte dell'unità sabbioso-argillosa.

Le caratteristiche strutturali delle suddette unità, sono di seguito sinteticamente descritte.

Unità Ghiaioso-sabbiosa (Fluviali Würm, Würm tardivo e alluvioni recenti Auct.) [Gruppo acquifero A] - L'unità in esame è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani con lenti argillose di limitato spessore ed estensione areale; nella terminologia di uso corrente viene identificata come "primo acquifero" in quanto forma la roccia serbatoio della falda libera del settore milanese. Nei settori di alta pianura a Nord dell'area di studio l'unità in esame contiene una falda libera, in comunicazione con quella del "Ceppo", unicamente in alcuni settori localizzati riferibili a strutture di "paleoalveo", risultando insatura nelle restanti aree. Solo a partire dalla media pianura difatti, in relazione all'avvicinamento del livello piezometrico alla superficie del terreno, l'unità forma il primo acquifero (Francani e Pozzi, 1981). Per l'elevata permeabilità le aree di affioramento dei depositi fluvio-glaciali

würmiani assumono importanza nella ricarica degli acquiferi per infiltrazione da corsi d'acqua, canali o da precipitazioni (Francani e Pozzi, 1981, De Wrachien e Savi, 1993).

L'insieme degli acquiferi contenuti in questa unità e in quella successivamente descritta, viene identificato come "acquifero tradizionale" in quanto costituisce il corpo idrico sotterraneo contenente la falda tradizionalmente sfruttata dai pozzi dell'area milanese. Nella realtà questo complesso è formato da un sistema multifalda che viene assimilato ad un monostrato acquifero.

Questa condizione strutturale assume un carattere ancor più marcato nelle aree di bassa pianura a Sud dell'area di studio dove, in relazione all'affinamento della granulometria dei terreni, l'unità in esame è caratterizzata già a partire dalla superficie dalla prevalenza di livelli limoso argillosi ai quali si alternano terreni più grossolani (sabbie e sabbie con ghiaia), che formano acquiferi con falde semi-confinare o confinate.

In corrispondenza dell'area milanese l'unità ghiaioso-sabbiosa presenta uno spessore medio di circa 40 m e uno spessore saturo di circa 20÷25 m nei settori Nord e 35÷40 m in quelli a Sud.

Questo acquifero è quello di principale interesse in quanto contiene la falda freatica, con soggiacenza di circa 6-10 m, che verrà interessata dalle eventuali opere in progetto.

All'interno dell'area milanese tra i sedimenti appartenenti all'unità Ghiaioso-Sabbiosa si sottolinea inoltre la presenza di un primo orizzonte argilloso rinvenuto ad una profondità compresa tra 22 e 37 m costituito da lenti di rilevante continuità areale e spessore.

Unità Sabbioso-ghiaiosa (Fluviali Mindel-Riss Auct.) [Gruppo acquifero B] - Nell'area milanese questo complesso, attribuito al Pleistocene Medio, forma la parte basale dell'"acquifero tradizionale" ed è identificata sotto l'aspetto idrogeologico come "secondo acquifero". E' costituita da una alternanza di depositi ghiaioso-sabbiosi, sabbiosi e limoso-argillosi, talora con lenti cementate conglomeratiche o arenitiche. Nelle aree pedemontane e di alta pianura questa unità forma i terrazzi morfologicamente più elevati, caratterizzati da uno strato di alterazione superficiale (tipo vetusol nel Mindel Auct.) che lo rende scarsamente permeabile così da favorire il deflusso superficiale delle acque.

Nel settore terminale della bassa pianura (basso Lodigiano) si verifica invece una risalita verso la superficie di questo complesso che affiora in corrispondenza del Colle di S. Colombano al Lambro (Coggi e di Napoli Alliata, 1950, AA.VV., 1988).

Anche in questa unità procedendo verso Sud si verifica una riduzione di granulometria che conferisce caratteri litologici del tutto analoghi a quelli della sottostante unità sabbioso-argillosa in facies continentale. Gli acquiferi contenuti in essa sono separati dalla falda sovrastante da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi e argille, talora molto spessi (5-10 m) e quasi sempre molto estesi, che limitano gli scambi tra la falda libera del primo acquifero e quella contenuta nel secondo acquifero. Per tali motivi le falde in essa contenute risultano semi-confinare e localmente possono assumere caratteristiche prossime a quelle confinate.

Unità a Conglomerati e arenarie ("Ceppo" Auct. p.p.) [Gruppo acquifero B] - Questa unità è formata da litologie prevalentemente conglomeratiche, con arenarie in subordine, passanti localmente a ghiaie e sabbie. L'unità è estesa in gran parte del settore pedemontano e nella medio-alta pianura dove si rinviene nei primi 50÷100 m di sottosuolo e dove forma la roccia serbatoio del primo acquifero; inoltre nelle zone pedemontane, in corrispondenza della valli più incise, il "Ceppo" affiora alla base dei versanti.

A partire dal settore meridionale del capoluogo lombardo, l'unità perde la propria connotazione litologica poiché viene sostituita lateralmente da terreni non cementati sia sabbioso-ghiaiosi che a minore granulometria; in queste aree viene di conseguenza accorpata ai terreni soprastanti formando un'unica unità sabbioso-ghiaiosa.

Unità Sabbioso-argillosa [Gruppi acquiferi C-D] - Sempre nell'ambito del Pleistocene medio e inferiore, in seguito alla regressione marina, si formarono depositi litorali, lagunari, palustri e alluvionali che individuano un'unità idrogeologica formata in prevalenza da argille e limi di colore grigio e giallo (con frequenti alternanze nella colorazione) con torbe, che forma il substrato della falda tradizionalmente sfruttata. A questi litotipi sono intercalate lenti più o meno estese di sabbie, ghiaie e conglomerati che formano acquiferi con falde confinate che vengono identificati con la denominazione di "terzo acquifero" o "acquiferi profondi".

Per l'unità idrogeologica in esame sono in uso ulteriori terminologie tra cui Argille sotto il Ceppo ed Argille Villafranchiane; queste definizioni, peraltro comprensive di tutti i termini argillosi, di ambiente marino o continentale, vengono frequentemente utilizzate nelle zone comprese tra il pedemonte e la media pianura, dove la sedimentazione di questi litotipi era connessa ad ambienti differenti (glaciale, palustre-lacustre e transizionale).

Unità Argillosa - E' formata prevalentemente da argille e limi di colore grigio-azzurro con fossili marini, alle quali sono subordinati livelli sabbiosi, generalmente di modesto spessore. Il tetto di questa unità si rinviene nei pozzi per acqua della Centrale Martini a profondità superiori a circa 300 m. L'età è stata attribuita al Pleistocene inferiore, ma secondo altri Autori anche al Pliocene Superiore.

1.3.1 LIVELLO PIEZOMETRICO

I caratteri piezometrici dell'area di studio sono stati derivati facendo riferimento ai dati rilevati dal SIF della Provincia di Milano. Il Sistema Informativo Falda (SIF), gestito dal Servizio Gestione e Controllo Acque Sotterranee, è una banca dati per le acque sotterranee nata da una convenzione tra gli enti pubblici che studiano, controllano e distribuiscono le acque destinate al consumo umano.

L'andamento principale di flusso della falda freatica è orientato NO-SE, il gradiente idraulico varia da 0.1% nel settore settentrionale di Rho a 0,5% nel settore Sud-Orientale del medesimo al confine con il Comune di Arese, Bollate e Pero. La soggiacenza in corrispondenza dell'areale di studio varia tra 5 e 12 m da p.c. (con valori misurati nei piezometri S1 ed S2 intorno ai 6 mt da p.c.), corrispondenti ad una quota piezometrica pari a circa 142÷144 m slm.

L'alimentazione della falda è legata sia alle condizioni pluviometriche (che determinano una differente ricarica della falda) che alla rete idrica superficiale, che determina innalzamenti soprattutto in funzione dei cicli di irrigazione. Un ruolo importante viene anche svolto dai prelievi antropici che, specie in corrispondenza dell'area della conurbazione milanese, creano un'evidente depressione del cono di influenza determinando un aumento del valore di soggiacenza oltre che locali variazioni di direzione del flusso idrico.

Nei due piezometri realizzati nell'area in esame il livello di falda misurato, con freatimetro manuale risulta pari a 6,2 e 6,0 mt di profondità da p.c. rispettivamente nelle tubazioni piezometriche di sondaggio S1 e S2.

1.4 ASPETTI IDROGRAFICI GENERALI

Torrente Lura

Il torrente ha un percorso di notevole lunghezza (circa 40 km) poiché raggiunge, confluendo nel Fiume Olona (che a sua volta si immette nel Fiume Lambro), il territorio di Rho e di Pero; nasce da una serie di rogge presenti nella pianura tra Uggiate Trevano, Albiolo, vale a dire dalle morene laterali occidentali dell'apparato morenico del T. Faloppia, attraversa il territorio comunale di Faloppio e Lurate Caccivio dove in sponda sinistra, raccoglie le acque delle valli di Gironico (roggia Reale), di Montano Comasco e di Meraccio. All'altezza di Cadorago riceve le acque della roggia Livescia che è alimentata dalle acque drenate dalla falda freatica omonima del territorio di Villaguardia e di Luisago. Originariamente la roggia Livescia nasce da un fontanile, cioè da una sorgente alimentata naturalmente dalla falda sottostante. Complessivamente il Torrente Lura è alimentato dalle acque di drenaggio dei terreni morenici dell'alto e medio bacino (apparato morenico) del Faloppia nella parte iniziale e del Lario per gli affluenti di sponda sinistra, ed infine dalle acque di falda del fontanile Livescia. È inoltre importante notare che la maggioranza delle zone attraversate dal Torrente Lura fanno parte dell'omonimo parco (Parco del Lura), si tratta di un parco locale di interesse sovracomunale (acronimo Plis) che occupa un'area di 924 ettari circa ed interessa un totale di dieci Comuni di cui otto sono in Provincia di Como e due in Provincia di Varese. Il bacino idrografico del Torrente Lura ha una lunghezza complessiva di 45 km (pendenza media 0,95%), una superficie di 130 km² ed una portata media alla sezione di chiusura in tempo di asciutto di circa 0,8 m³/s (per maggiori informazioni si faccia riferimento alla relazione idraulica).

Fiume Olona

Il fiume Olona ha origine alle pendici dei monti a nord di Varese, ad una quota di circa 1.000 m s.l.m., e, dopo un tragitto di circa 60 km, entra in Milano, che attraversa tombinato. La parte montana è costituita dal ramo occidentale dell'Olona e dal ramo orientale dei bacini dei torrenti Bevera, Clivio e Ranza. Il ramo occidentale, molto urbanizzato, attraversa gli abitati di Varese e di Induno Olona; quello orientale, salvo alcuni centri abitati di modeste dimensioni, è per la maggior parte costituito da terreno boschivo e agricolo. A valle di Ponte Curone, il bacino diventa di forma molto stretta e allungata in direzione nord - sud, alternando zone densamente urbanizzate ad altre che mantengono una considerevole porzione di superficie non occupata da insediamenti. Fino all'altezza dell'autostrada Milano - Laghi, i centri abitati sono situati in posizione sopraelevata rispetto al corso del fiume; in prossimità dell'alveo sono invece presenti numerose industrie. A valle dell'autostrada il bacino diventa pianeggiante e il fiume entra nella zona maggiormente urbanizzata, attraversando i comuni di Castellanza e Legnano. A valle di questi centri abitati, si ha ancora un'alternanza di aree agricole e di aree urbane fino al confine del territorio del comune di Rho, dove è posta l'opera di derivazione "Olona 1", attraverso la quale le piene sono scolmate nel CSNO (Canale Scolmatore di Nord Ovest, si tratta di un'opera artificiale realizzata all'inizio degli anni '80 ed ideata per alleggerire i carichi idraulici sul reticolo idrografico che entra in Milano. Scolma i contributi di piena a nord di Milano, intercettando i corsi d'acqua a partire dal Seveso, per sversarli nel Ticino all'altezza di Abbiategrasso).

1.5 INDAGINI ESEGUITE

I progettisti nell'area di studio hanno previsto la realizzazione di:

- n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (uno in via Bersaglio-Parco Turati e l'altro in via Monte Cervino) della lunghezza di 20 mt ciascuno con esecuzione di prove penetrometriche in foro, realizzati dalla ditta Eurogeo srl;
- n°2 indagini geofisiche di tipo "masw" per la definizione delle velocità delle onde di taglio nei primi 30 mt di sottosuolo, a ridosso dei sondaggi geognostici eseguiti.

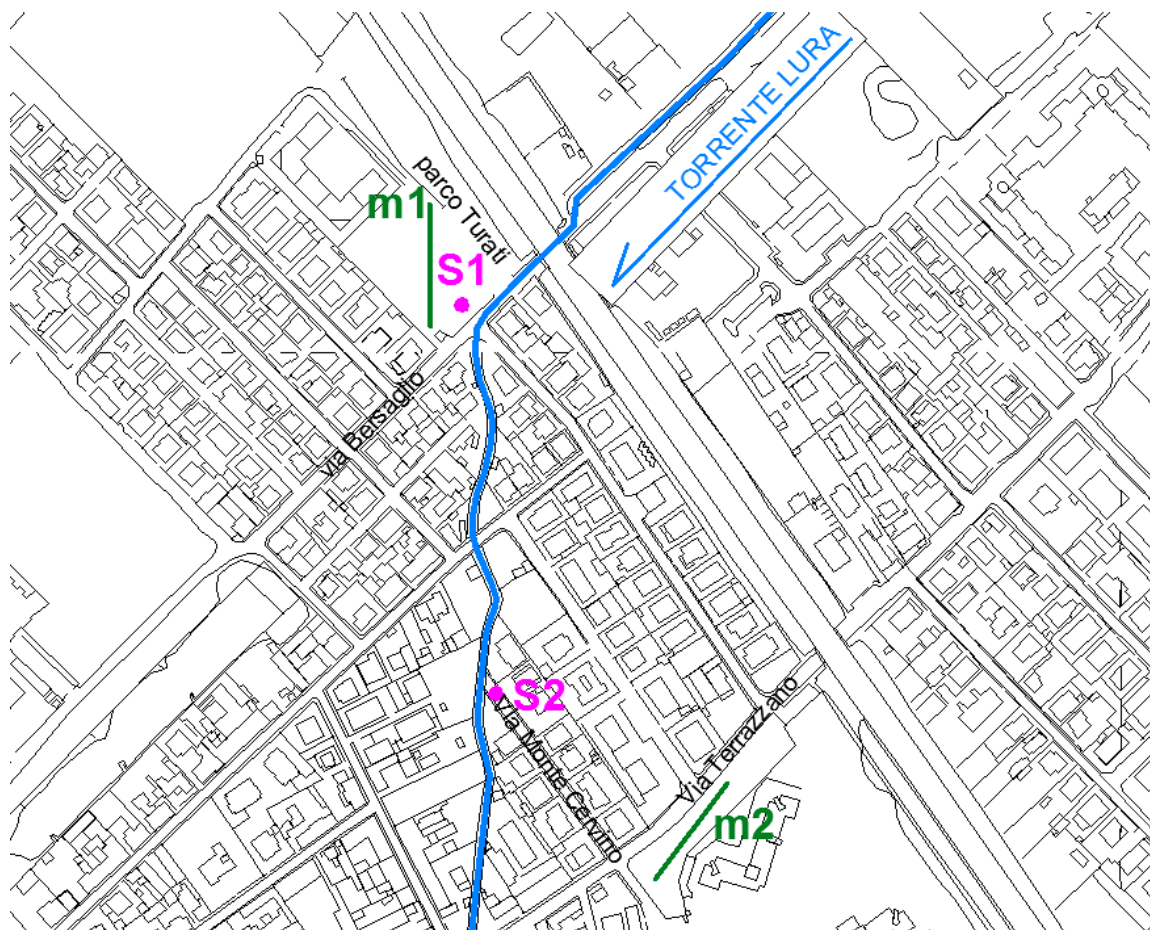


Figura 6. Localizzazione sondaggi geognostici (sondaggio S1 e sondaggio S2) indagini sismiche Masw (m1, m2)

INDAGINI GEOGNOSTICHE					
SONDAGGI GEOGNOSTICI					
ID sondaggio	Localizzazione	Tipo di sondaggio	Lunghezza sondaggio (m)	n° Prove SPT	Profondità livello di falda (m da p.c.)
S1	Sito 1 Via Bersaglio-Parco Turati	Carotaggio continuo	20	5	6.2
S2	Sito 2 Via Monte Cervino	Carotaggio continuo	20	5	6.0

INDAGINI GEOFISICHE		
STENDIMENTO SISMICO MASW		
ID	Localizzazione	Lunghezza (m)
m1	Parco Turati	50
m2	Incrocio Via Terrazzano-Via Monte Cervino	54

1.5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE SPT

Le n° 2 perforazioni sono state eseguite nel mese di giugno 2014, con sonda cingolata tipo Atlas Mustang 13F, fornita di un meccanismo di rotazione costituita da mandrino montato nella parte superiore dell'antenna; il tiro e la spinta sono assicurati da un motore oleodinamico con trasmissione a catena e a pistone; la morsa è di tipo doppio con sistema di controllo oleodinamico. Il controllo della verticalità è assicurato tramite quattro stabilizzatori a pistone e tramite livella a bolla posta nella parte posteriore. I sondaggi sono stati realizzati con perforazione a rotazione a carotaggio continuo. Il fluido di perforazione, utilizzato per l'avanzamento del carotaggio, è costituito da acqua chiara. Il materiale prelevato durante le perforazioni è stato depositato, in modo continuo ed ordinato, in apposite cassette catalogatrici in PVC (capacità 5,00 m), siglate ognuna temporaneamente con l'identificativo del sondaggio, la profondità di prelievo di riferimento, la profondità di esecuzione delle prove in situ, il committente e la data di perforazione. Gli utensili utilizzati per l'avanzamento della perforazione ed il prelievo dei campioni in continuo sono carotiere semplici, costituiti da un tubo metallico cilindrico aventi diametri esterni di 101 mm e lunghezza pari a 1,50/3,00 m, munito all'estremità inferiore di un corona con inserti in Carburo di Tungsteno e provvisto, nella parte sommitale, di un dispositivo (valvola di ritenzione) che impedisce la perdita dei campioni di terreno prelevati. Alternativamente all'approfondimento del carotiere, è stato necessario porre in opera una colonna di tubazioni di rivestimento per i terreni sciolti di copertura, quale sostegno delle pareti del foro, costituita da tubi metallici cilindrici avente diametro esterno di 127 mm e lunghezza pari a 1,50 m, muniti anch'essi all'estremità inferiore di un scarpa con inserti al Carburo di Tungsteno.

Prove spt

Si tratta di prove che vengono eseguite in avanzamento sul fondo del foro di sondaggio dalle quali si ricava la resistenza alla penetrazione in funzione della profondità. Le prove S.P.T. sono state eseguite seguendo le modalità standard suggerite dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana). Le prove penetrometriche dinamiche tipo S.P.T. sono state eseguite, tramite impiego di apposita attrezzatura di battitura, costituita da un maglio a sganciamento automatico del tipo Plicon-Nenzi (peso maglio 63.50 kg), con caduta libera da un'altezza di 75 cm, che scorre lungo aste di collegamento ($L = 3.00$ m, $\varnothing = 50$ mm, giunte a nipplo m/m) al terminale di infissione. La prova S.P.T. consiste quindi nell'infissione a percussione di un apposito campionatore (campionatore Raymond a punta aperta, dove la stratigrafia lo ha consentito, o a punta chiusa), che penetrando nel terreno, consente di valutarne la resistenza meccanica alla penetrazione (numero di colpi N necessario ad attraversare tre tratti da 15 cm ognuno, per una lunghezza totale di 45 cm). L'utilizzo della punta aperta ha permesso di ottenere dei campioni prelevando il terreno dal campionatore e posizionandolo in sacchetti di polietilene che sono stati stoccati insieme alle cassette catalogatrici. L'esecuzione avviene secondo le modalità contenute nella normativa ASTM n° D 1586/68 e compresa nelle "Raccomandazioni ISSMFE" per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1976). Il numero di colpi N_{spt} è la somma dei valori relativi agli ultimi due tratti di prova (30 cm) e consente la definizione, con buon grado di precisione, dei principali parametri meccanici del terreno; i valori riferiti ai primi 15 cm, generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione. Per i terreni nel quale si è registrato il rifiuto della prova non esistono in letteratura correlazioni con

l'angolo di attrito e/o con la coesione. Indicativamente è possibile individuare un valore di massima ponendo in tale caso $N_{spt} = 50$.

1.5.2 INDAGINI SISMICHE MASW

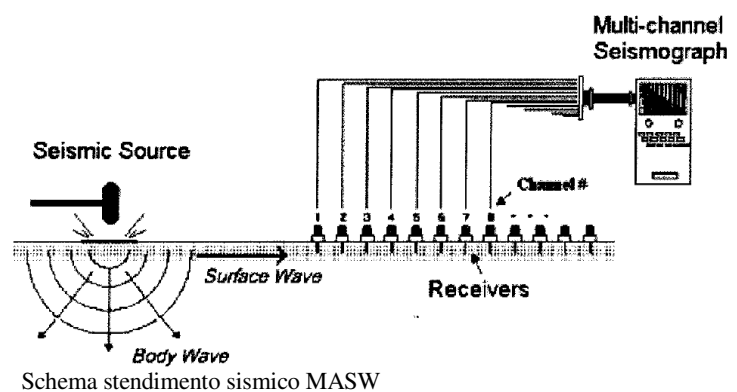
Il metodo MASW “Multichannel Analysis of Surface Waves” è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni posti sulla superficie del suolo. Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love, sono dette superficiali perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di superficie, rispetto le onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado, l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale. Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

La Nuova Normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e Nuove Norme Tecniche per le costruzioni) ha introdotto la classificazione dei terreni secondo la velocità delle Onde di taglio “Onde S” con precisione il fattore discriminante è il V_{s30} .



Il parametro V_{s30} rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i è lo spessore dello strato i -esimo, V_i è la velocità dello strato i -esimo

2.0 FASE DI ELABORAZIONE

2.1 RISCHI GEOLOGICI NATURALI E INDOTTI

Per quanto riguarda i rischi geologici naturali, lungo l'asta del Torrente Lura si rilevano alcune situazioni di rischio, legate alle potenziali correnti di piena che potrebbero fuoriuscire in alcuni punti critici e soprattutto nella parte abitata di Rho coinvolgere edifici e popolazione, così come descritto nella tavola 3-Carta della dinamica e di cui si riporta uno stralcio nella figura seguente.

Le aree critiche individuate coincidono con le aree a pericolosità elevate (Ee), relativamente ai potenziali fenomeni di piena, perimetrare nelle carte PAI dissesti.

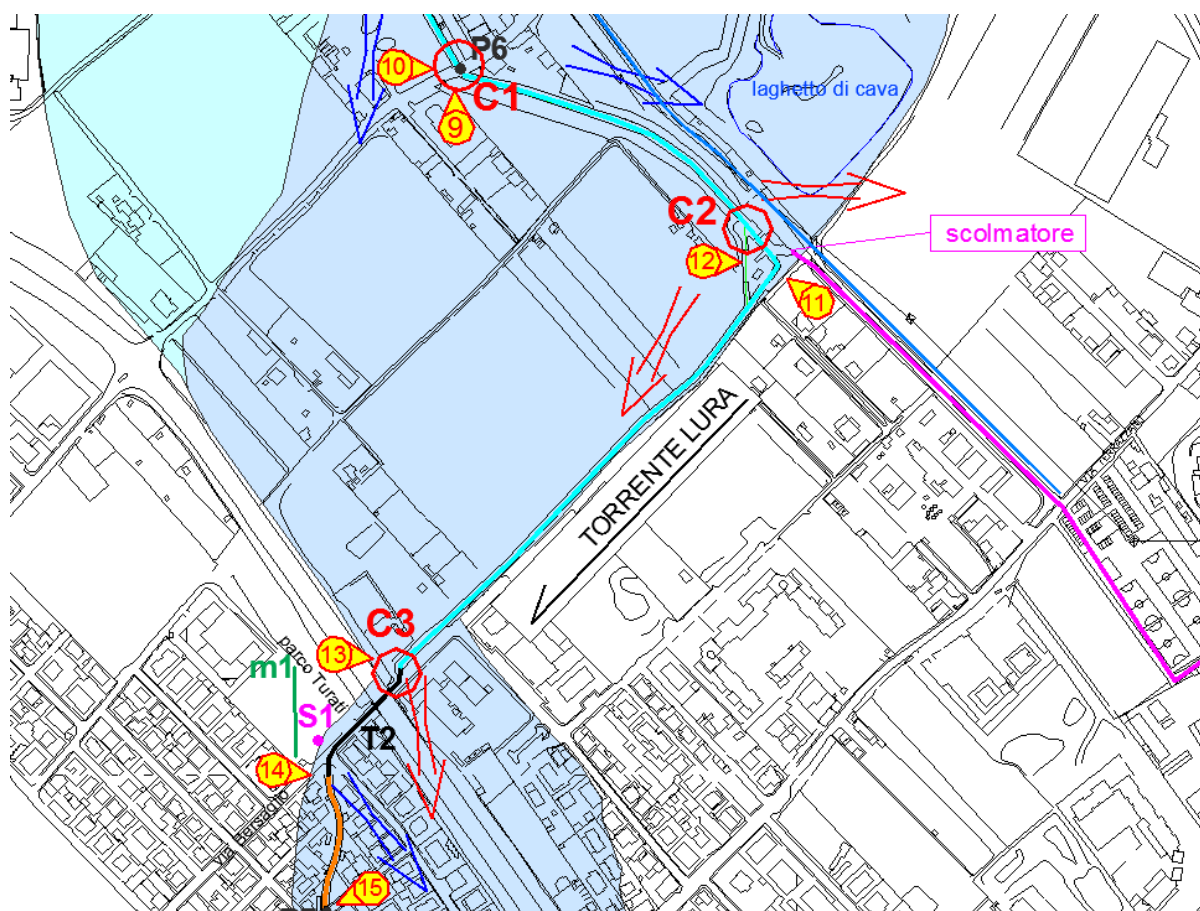


Figura 7. Alcune aree critiche dal punto di vista idraulico individuate nella carta della dinamica, tavola 03

Per quanto riguarda i rischi indotti, si possono considerare:

- possibili locali fenomeni di cedimento lungo le murature d'argine del torrente, come già successo il 6 agosto 2010 a ridosso di via Monte Cervino, laddove i fenomeni di escavazione generati dalle correnti di piena a ridosso dell'argine sinistro hanno causato una destabilizzazione dello stesso ed il crollo all'interno dell'alveo del torrente;
- possibili cedimenti differenziali degli edifici che lambiscono gli argini del torrente, causa arretramento del fenomeni di erosione generati dalle correnti di piena in deflusso.

2.2 STRATIGRAFIE E FOTO SONDAGGI

Di seguito vengono riportate le stratigrafie e foto sondaggi geognostici S1 e S2, realizzati il primo in via Bersaglio-Parco Turati e l'altro in via Monte Cervino.

Le misurazioni del livello di falda all'interno dei tubi piezometrici installati nei fori di sondaggio, hanno mostrato un livello di falda variabile dai 6,0 ai 6,2 mt di profondità da p.c. rispettivamente nei piezometri S1 ed S2.

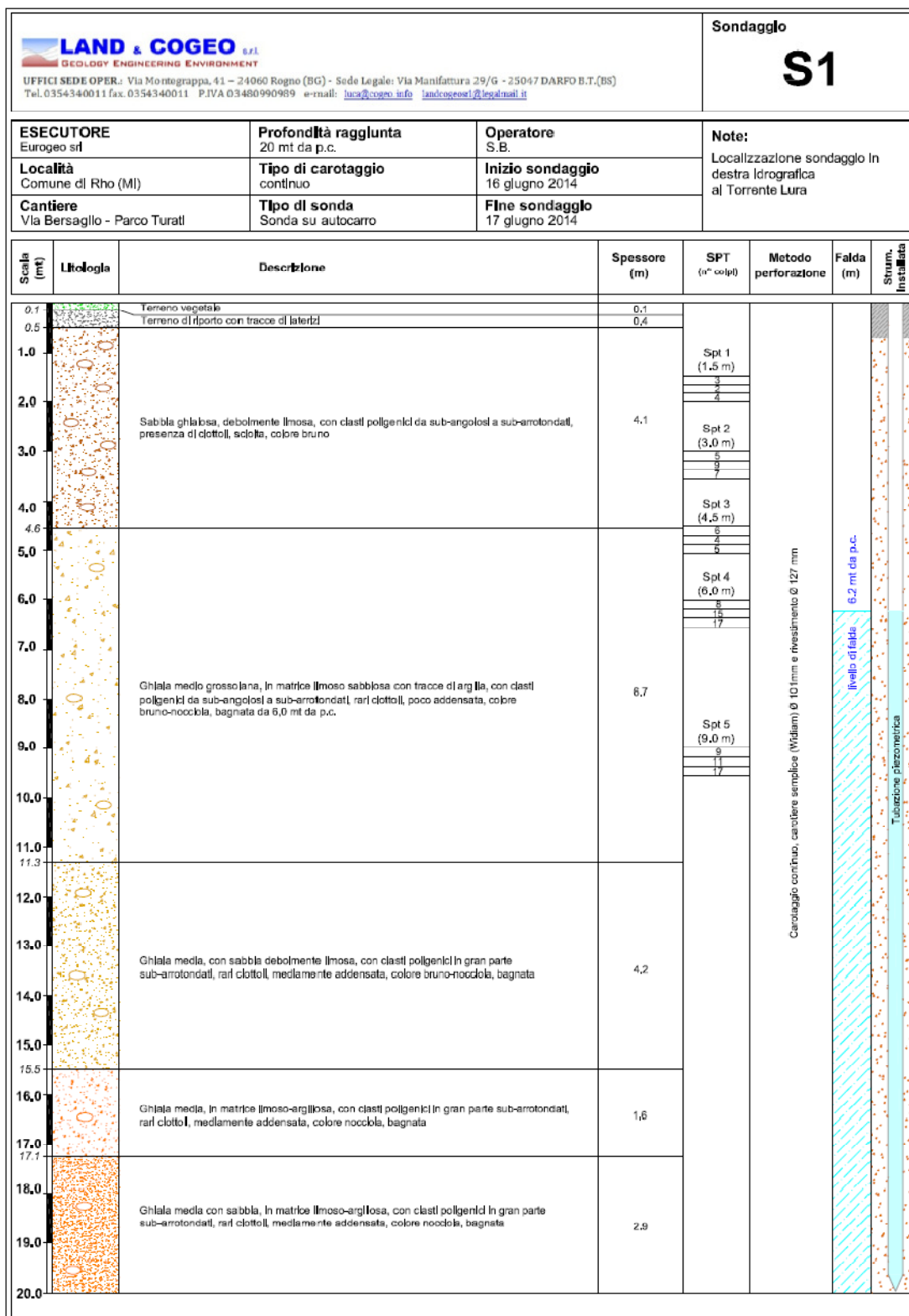


FOTO SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1



Foto 1. Ubicazione sondaggio geognostico S1



Foto 2. Prova spt



Foto 3. Stratigrafia sondaggio S1 (0-5 mt)




Foto 4. Stratigrafia sondaggio S1 (5-10 mt)



Foto 5. Stratigrafia sondaggio S1 (10-15 mt)



Foto 6. Stratigrafia sondaggio S1 (15-20 mt)

<div><div>LAND & COGEO s.r.l.</div><div>GEOLOGY ENGINEERING ENVIRONMENT</div></div> <div>UFFICI SEDE OPER.: Via Montegrappa, 41 - 24060 Rogno (BG) - Sede Legale: Via Manifattura 29/G - 25047 DARFO B.T. (BS) Tel. 0354340011 fax. 0354340011 P.IVA 03480990989 e-mail: lura@cogeo.info landcogeo.srl@legalmail.it</div>						<div>Sondaggio</div> <div>S2</div>	
ESECUTORE Eurogeo srl		Profondità raggiunta 20 mt da p.c.		Operatore S.B.			
Località Comune di Rho (MI)		Tipo di carotaggio continuo		Inizio sondaggio 17 giugno 2014			
Cantiere Via Monte Cervino		Tipo di sonda Sonda su autocarro		Fine sondaggio 18 giugno 2014			
Note: Localizzazione sondaggio in sinistra idrografica al Torrente Lura							

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore (m)	SPT (n° colpi)	Metodo perforazione	Falda (m)	Strum. installata
0.1		Asfalto	0.1				
1.0		Terreno di riporto con tracce di laterizi	1.4	Spt 1 (1.5 m)			
1.5				8			
2.0				16			
				21			
3.0		Ghiaccia medio grossolana, sabbiosa, con clasti poligenici da sub-angolosi a sub-arrotolati, presenza di ciottoli, sciolta, colore bruno	3.1	Spt 2 (3.0 m)			
				5			
				8			
				6			
4.0				Spt 3 (4.5 m)			
4.60				10			
5.0		Ghiaccia medio grossolana, in matrice limoso sabbiosa con tracce di argilla, con clasti poligenici da sub-angolosi a sub-arrotolati, rari ciottoli, poco addensata, colore bruno-nocciola	1.4	Spt 4 (6.0 m)			
				10			
				11			
6.0		Ghiaccia medio grossolana, sabbiosa, con clasti poligenici sub-arrotolati, rari ciottoli, sciolta, colore bruno-nocciola	0.5	9			
6.50				9			
				6			
7.0		Ghiaccia medio grossolana, sabbiosa, in matrice limosa con clasti poligenici da sub-angolosi ad angolosi, rari ciottoli, addensata, colore nocciola, bagnata	1.0				
7.50							
8.0				Spt 5 (9.0 m)			
9.0		Ghiaccia medio grossolana con sabbia, debolmente limosa, con clasti poligenici sub-arrotolati, presenza di ciottoli, mediamente addensata, colore bruno-nocciola, bagnata	3.0	17			
				14			
				15			
10.0							
10.5							
11.0		Ghiaccia medio grossolana con sabbia, in matrice limoso-argillosa, con clasti poligenici sub-arrotolati, rari ciottoli, mediamente addensata, colore bruno-nocciola, bagnata	2.0				
12.0							
12.5							
13.0							
14.0							
15.0		Ghiaccia con sabbia, da medio grossolana a fine, in matrice limosa, con clasti poligenici da sub-angolosi a sub-arrotolati, rari ciottoli, mediamente addensata, colore bruno-nocciola, bagnata	5.5				
16.0							
17.0							
18.0							
19.0		Ghiaccia fine con sabbia, in matrice limosa, con clasti poligenici da sub-angolosi a sub-arrotolati, rari ciottoli, mediamente addensata, colore bruno-nocciola, bagnata	2.0				
20.0							

Carotaggio continuo, carotere semplice (Wolam) Ø 101mm e rivestimento Ø 127 mm

6.0 mt da p.c.

livello di falda

Tubazione piezometrica

FOTO SONDAGGIO GEOGNOSTICO S2



Foto 1. Ubicazione sondaggio geognostico S2



Foto 2. Prova spt



Foto 3. Stratigrafia sondaggio S2 (0-5 mt)



Foto 4. Stratigrafia sondaggio S2 (5-10 mt)



Foto 5. Stratigrafia sondaggio S2 (10-15 mt)



Foto 6. Stratigrafia sondaggio S2 (15-20 mt)

2.3 ELABORAZIONE PROVE SPT

Le elaborazioni SPT riportate di seguito hanno fornito parametri tecnici delle caratteristiche dei terreni utilizzando opportune correlazioni empiriche, di cui si riporta uno stralcio nelle tabelle seguenti. Il numero di colpi N_{spt} è la somma dei valori relativi agli ultimi due tratti di prova (30 cm) e consente la definizione, con buon grado di precisione, dei principali parametri meccanici del terreno; i valori riferiti ai primi 15 cm, generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione. Per i terreni nel quale si è registrato il rifiuto della prova non esistono in letteratura correlazioni con l'angolo di attrito e/o con la coesione. Indicativamente è possibile individuare un valore di massima ponendo in tale caso $N_{spt} = 50$.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele.

Committente: Comune di Rho (MI)
Cantiere: Sondaggio S1 nei pressi del Parco Turati-Via Bersaglio
Sondaggio S2 in via Monte Cervino

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,76 m
Peso sistema di battuta	4,2 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	10 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,99 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	0,926
Rivestimento/fanghi	No

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE **(DYNAMIC PROBING)** **DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$Nspt = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (δ/N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{(Pa/\sigma'_{vo})} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \times (ER/60) \times C_s \times C_r \times C_d$$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_s : Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d : Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r : Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda) .

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensibilità > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , ($Cu-N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_γ)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVE SPT NEL SONDAGGIO S1

Strumento utilizzato...CAMPIONATORE RAYMOND FORO

Prova eseguita in data 16/06/2014

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
1,65	3
1,80	2
1,95	4
3,15	5
3,30	9
3,45	7
4,65	6
4,80	4
4,95	5
6,15	8
6,30	15
6,45	17
9,15	9
9,30	11
9,45	17

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Intestazione NSPT\$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Strato	5,556	1,95	25,05	52,35	59,7	22,3
[2] - Strato	14,816	3,45	38,85	72,34	72,67	42,68
[3] - Strato	8,334	4,95	23,3	48,94	49,45	29,19
[4] - Strato	29,632	6,45	40,52	74,59	74,21	54,51
[5] - Strato	25,928	9,45	35,06	65,75	66,5	51,91

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	28,59	21,59	29,56	31,34	31,9	0	<30	24,13	28,67	33,23	25,54
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	31,23	24,23	32,15	30,67	35,41	38,13	30-32	29,91	31,44	40,45	32,21
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	29,38	22,38	30,33	28,83	33,03	0	<30	26,18	29,5	34,34	27,91
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	33,38	26,38	34,25	29,89	37,74	38,44	30-32	33,3	33,69	42,05	36,13
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	32,85	25,85	33,73	29,18	37,21	37,21	30-32	32,52	33,14	40,08	35,23

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	---	44,45	---	---	---
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	274,75	118,53	175,53	291,12	149,08
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	---	66,67	99,04	---	---
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	337,19	178,53	264,03	347,37	186,58
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	322,90	163,71	242,18	333,48	177,32

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	---	38,88	39,45	62,78
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	88,90	57,90	105,19	104,08
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	---	44,58	59,17	75,17
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	133,90	73,30	158,44	137,53
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	122,78	69,50	145,29	129,27

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	Meyerhof ed altri	1,56
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	Meyerhof ed altri	1,88
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	Meyerhof ed altri	1,67
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	Meyerhof ed altri	2,04
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	Meyerhof ed altri	2,00

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,45
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,40

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	(A.G.I.)	0,34
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	(A.G.I.)	0,33
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	(A.G.I.)	0,34
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	(A.G.I.)	0,31
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	(A.G.I.)	0,31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	325,83	356,42
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	819,22	648,97
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	477,00	456,62
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	1203,96	833,52
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	1109,80	790,54

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	Ohta & Goto (1978) Limi	91,59
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	Ohta & Goto (1978) Limi	132,1
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	Ohta & Goto (1978) Limi	130,23
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	Ohta & Goto (1978) Limi	163,8
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	Ohta & Goto (1978) Limi	172,07

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Strato	5,556	1,95	5,556	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Strato	14,816	3,45	14,816	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Strato	8,334	4,95	8,334	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - Strato	29,632	6,45	22,316	Seed e Idriss (1971)	>10
[5] - Strato	25,928	9,45	20,464	Seed e Idriss (1971)	5,747

PROVE SPT NEL SONDAGGIO S2

Strumento utilizzato... CAMPIONATORE RAYMOND FORO
 Prova eseguita in data 17/06/2014
 Falda rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
1,65	8
1,80	16
1,95	21
3,15	5
3,30	8
3,45	6
4,65	10
4,80	11
4,95	11
6,15	9
6,30	9
6,45	6
9,15	17
9,30	14
9,45	15

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Intestazione NSPT\$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	34,262	1,95	67,61	100	100	67,55
[2] -	12,964	3,45	35,81	67,41	67,87	39,17
[3] -	20,372	4,95	40,23	74,17	73,62	51,78
[4] -	13,89	6,45	28,94	56,59	57,24	40,96
[5] -	26,854	9,45	34,26	64,53	65,67	52,58

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbur n-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	34,262	1,95	34,262	36,79	29,79	37,59	34,39	40,53	42	32-35	37,67	37,28	49,15	41,18
[2] -	12,964	3,45	12,964	30,7	23,7	31,63	30,42	34,76	37,44	30-32	28,94	30,89	39,25	31,1
[3] -	20,372	4,95	20,372	32,82	25,82	33,7	30,03	37,18	38,38	30-32	32,48	33,11	41,77	35,19
[4] -	13,89	6,45	13,89	30,97	23,97	31,89	28,84	35,09	35,92	30-32	29,43	31,17	37,36	31,67
[5] -	26,854	9,45	20,927	32,98	25,98	33,86	29,02	37,34	37,03	30-32	32,72	33,28	39,79	35,46

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	34,262	1,95	34,262	417,81	274,10	404,99	436,96	246,31
[2] -	12,964	3,45	12,964	257,00	103,71	153,68	277,23	139,82
[3] -	20,372	4,95	20,372	322,17	162,98	241,09	332,79	176,86
[4] -	13,89	6,45	13,89	266,02	111,12	164,60	284,17	144,45
[5] -	26,854	9,45	20,927	326,53	167,42	247,64	336,95	179,63

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	34,262	1,95	34,262	205,57	97,84	243,26	190,81
[2] -	12,964	3,45	12,964	77,78	54,09	92,04	95,82
[3] -	20,372	4,95	20,372	122,23	69,31	144,64	128,86
[4] -	13,89	6,45	13,89	83,34	56,00	98,62	99,95
[5] -	26,854	9,45	20,927	125,56	70,45	148,58	131,33

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	34,262	1,95	34,262	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
[2] -	12,964	3,45	12,964	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] -	20,372	4,95	20,372	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] -	13,89	6,45	13,89	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] -	26,854	9,45	20,927	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] -	34,262	1,95	34,262	Meyerhof ed altri	2,17
[2] -	12,964	3,45	12,964	Meyerhof ed altri	1,82
[3] -	20,372	4,95	20,372	Meyerhof ed altri	2,00
[4] -	13,89	6,45	13,89	Meyerhof ed altri	1,85
[5] -	26,854	9,45	20,927	Meyerhof ed altri	2,01

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] -	34,262	1,95	34,262	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50
[2] -	12,964	3,45	12,964	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
[3] -	20,372	4,95	20,372	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,40
[4] -	13,89	6,45	13,89	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
[5] -	26,854	9,45	20,927	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,41

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	34,262	1,95	34,262	(A.G.I.)	0,29
[2] -	12,964	3,45	12,964	(A.G.I.)	0,33
[3] -	20,372	4,95	20,372	(A.G.I.)	0,31
[4] -	13,89	6,45	13,89	(A.G.I.)	0,33
[5] -	26,854	9,45	20,927	(A.G.I.)	0,31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	34,262	1,95	34,262	1801,51	1083,13
[2] -	12,964	3,45	12,964	722,58	598,13
[3] -	20,372	4,95	20,372	1105,11	788,37
[4] -	13,89	6,45	13,89	771,00	623,88
[5] -	26,854	9,45	20,927	1133,39	801,42

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	34,262	1,95	34,262	Ohta & Goto (1978) Limi	125,46
[2] -	12,964	3,45	12,964	Ohta & Goto (1978) Limi	129,09
[3] -	20,372	4,95	20,372	Ohta & Goto (1978) Limi	152,01
[4] -	13,89	6,45	13,89	Ohta & Goto (1978) Limi	150,9
[5] -	26,854	9,45	20,927	Ohta & Goto (1978) Limi	172,73

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	34,262	1,95	34,262	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	12,964	3,45	12,964	Seed e Idriss (1971)	--
[3] -	20,372	4,95	20,372	Seed e Idriss (1971)	--
[4] -	13,89	6,45	13,89	Seed e Idriss (1971)	4,752
[5] -	26,854	9,45	20,927	Seed e Idriss (1971)	5,54

2.4 MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO

Confrontando le stratigrafie dei suoi sondaggi geognostici S1 e S2, le prove SPT e i dati sismici Masw, è stato possibile formulare un modello geologico del sottosuolo dell'area in esame, con realizzazione di sezioni geologiche, come riportato di seguito nella tavola 6-Planimetria e sezioni geologiche.

In sintesi, le stratigrafie di sondaggio S1 ed S2 mostrano delle litologie simili appartenenti a livelli di ghiaie sabbiose debolmente limose con clasti sub-arrotondati in interdigitazione ad orizzonti di ghiaie medio-grossolane in matrice limoso sabbioso.

Mentre il primo orizzonte superficiale risulta appartenere a materiale di riporto (0,5 mt nel sondaggio S1, 1,5 mt nel sondaggio S2), approfondendosi con i sondaggi si sono intercettate le granulometrie ghiaioso-sabbiose e sabbioso-ghiaiose descritte precedentemente; il livello di falda è stato intercettato nel corso dei sondaggi e misurato per mezzo di freatimetro manuale alla profondità di circa 6,2 e 6,0 mt da p.c. rispettivamente nei sondaggi S1 ed S2.

Il modello geologico realizzato è stato interpretato confrontando i dati dei due sondaggi geognostici e prendendo come parametri tecnici quelli riferibili alle prove penetrometriche con valori più bassi a parità di quota di esecuzione. Si sottolinea che, a favore di sicurezza, nella stesura del modello geologico preliminare sono stati considerati i massimi spessori individuati nell'area di indagine, relativi alle unità dotate di caratteristiche tecniche scadenti. Tale modello è riferito all'ambito indagato con i sondaggi geognostici.

In sintesi dalle prove ed analisi condotte è possibile considerare i seguenti parametri di resistenza (Range di variabilità); si tratta di valori medi ottenuti dalle prove, non sono valori caratteristici di progetto, che il progettista geotecnico potrà ottenere in relazione al grado di sicurezza che si vuole assumere per l'opera in progetto e ai carichi e contesto progettuale geotecnico.

ID Livello	Litologia	Spessori (m)	N Spt Medio	N spt Medio corretto per presenza di falda	Angolo di resistenza al taglio [°]	Modulo di Young [Kg/cmq]	Modulo di Poisson	Peso unità di volume [t/mc]	Peso unità di volume saturo [t/mc]	Velocità onde di taglio (m/s)
1	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	6,0	5,5	5,5	28-30	44-99	0,34	1,56	1,89	91,5
2	Ghiaia medio grossolana sabbiosa	3,0	13,8	13,8	30-32	144-266	0,33	1,85	1,94	150,9
3	Ghiaia medio grossolana con sabbia e ciottoli	--	25,9	20,4	32-35	177-322	0,31	2	2,4	172

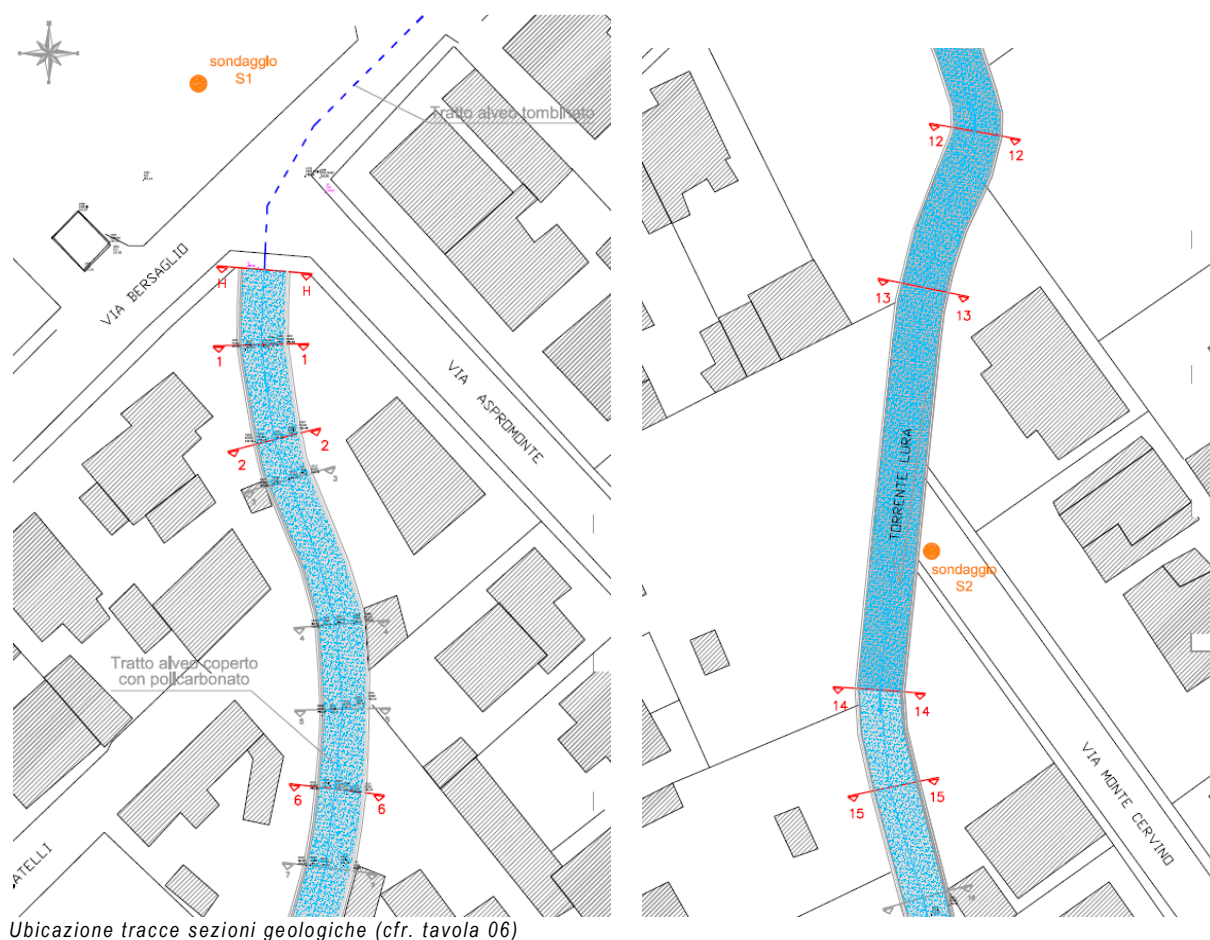
La successione del modello geologico preliminare del sottosuolo può essere distinto in 3 unità principali (livelli 1, 2, 3) a partire dal piano campagna, come sintesi dei parametri dei due sondaggi geognostici eseguiti:

- **Livello 1.** Tale orizzonte caratterizzato da “Sabbia ghiaiosa debolmente limosa”, mostra uno spessore di 6 mt, da piano campagna sino alla profondità di 6 mt, individuato dalla prova penetrometrica n° 1 realizzata nel sondaggio geognostico S1: il valore minimo di Nspt medio pari a 5,5 nella prova SPT1 (a 1,5 mt di profondità) indica un materiale poco addensato;
- **Livello 2.** Tale orizzonte caratterizzato da “Ghiaia medio grossolana sabbiosa” mostra uno spessore di 3 mt, da 6 a 9 mt di profondità da p.c., individuato dalla prova penetrometrica n° 4 realizzata nel sondaggio geognostico S2: il valore minimo di Nspt medio pari a 13,8 nella prova SPT4 (a 6 mt di profondità) indica un materiale mediamente addensato;

- **Livello 3.** Tale orizzonte caratterizzato da “Ghiaia medio grossolana con sabbia e ciottoli” ipotizzato dalla profondità di 9 mt si a fine sondaggio, risulta individuato dalla prova penetrometrica n° 5 realizzata nel sondaggio geognostico S1: il valore minimo di Nspt medio pari a 25,9 (che diventa 20,4 per correzione presenza di falda) nella prova SPT5 (a 9 mt di profondità) indica un materiale addensato.

2.5 SEZIONI GEOLOGICHE

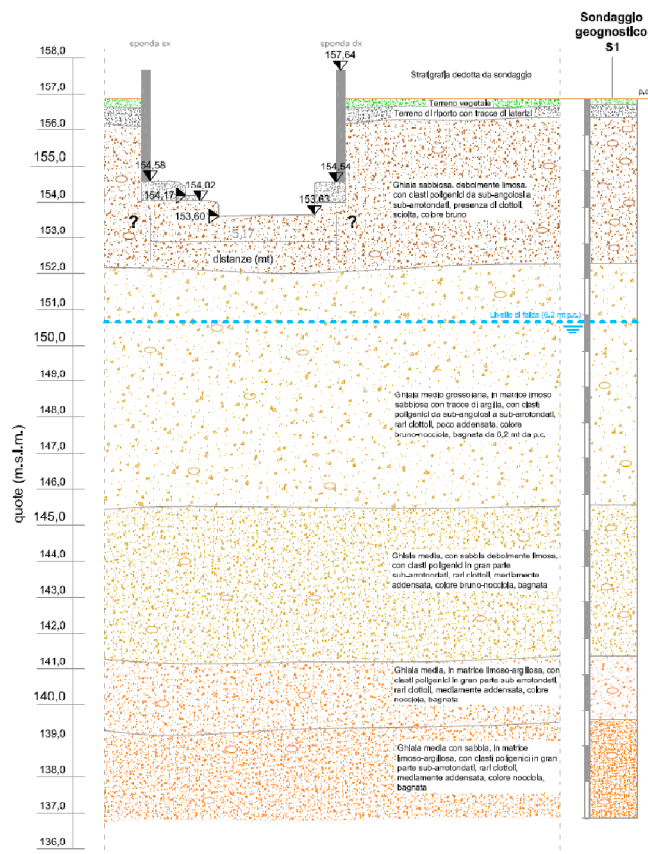
Di seguito si riportano alcune sezioni geologiche eseguite come correlazione dei sondaggi geognostici S1 ed S2 sulla tavole e sezioni topografiche fornite dal progettista, cfr. tavola 6-Planimetria e sezioni geologiche. Nella tavola 6 si riportano n° 8 sezioni geologiche di cui 4 correlate al sondaggio geognostico S1 (sezioni H-H, 1-1, 2-2, 3-3) e 4 correlate al sondaggio geognostico S2 (sezioni 12-12, 13-13, 14-14, 15-15).



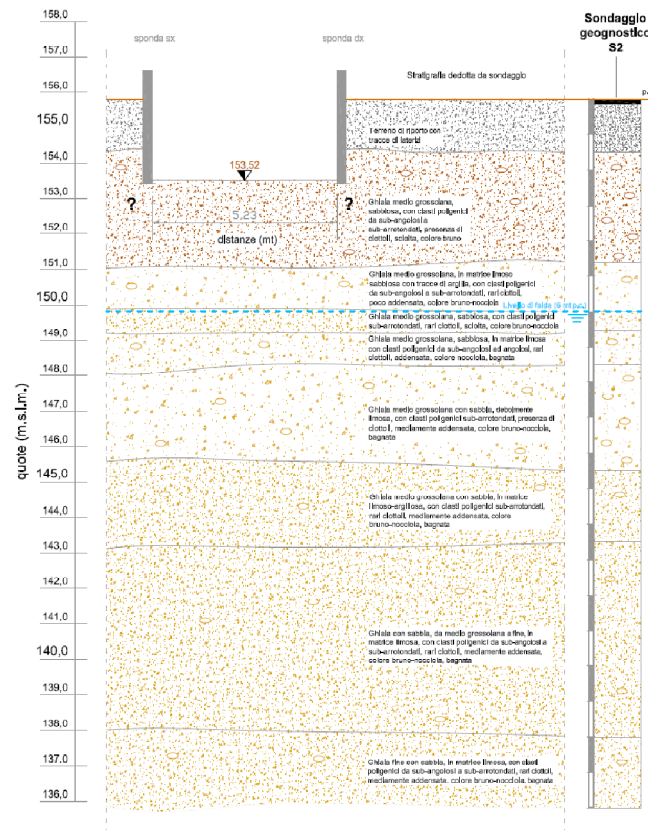
Le sezioni geologiche mostrano una successione stratigrafica costituita dagli orizzonti intercettati con i sondaggi geognostici S1 ed S2, caratterizzati da sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose debolmente limose con clasti poligenici, da sub-angolosi a sub-arrotondati e con presenza di ciottoli.

Di seguito si riporta uno stralcio delle sezioni 1-1 (sondaggio S1) e 13-13 (sondaggio S2).

SEZIONE GEOLOGICA 1-1 (SCALA 1:100)



SEZIONE GEOLOGICA 13-13 (SCALA 1:100)



Sezioni geologiche 1-1 e 13-13, tratte dalla tavola 06

2.6 CARATTERI SISMICI DEL SITO

L'acquisizione di campagna è stata condotta mediante il sismografo Pasi 12S12L, su uno stendimento parallelo allo stendimento di sismica a rifrazione, con geofoni verticali di 4,5 Hz ed un energizzazione costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), dove il terreno lo permetteva sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

- 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
- Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

- 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
- Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

- 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
- Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW Professional 6.0.

Nella MASW 1 (Parco Turati-Via Bersaglio) sono stati acquisiti i dataset ZVF e RVF, il dataset THF non è stato possibile per la mancanza d'interazione traversina in legno e terreno. I dataset ZVF e RVF sono stati elaborati singolarmente tramite modellazione ed inversione.

Nella MASW 2 (Incrocio Via Terrazzano e Via Monte Cervino) sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF) e per le Onde di Love (THF). Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto si è deciso se usare per l'analisi congiunta la combinazione (ZVF-THF) o (RVF-THF). Scelta la combinazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati.

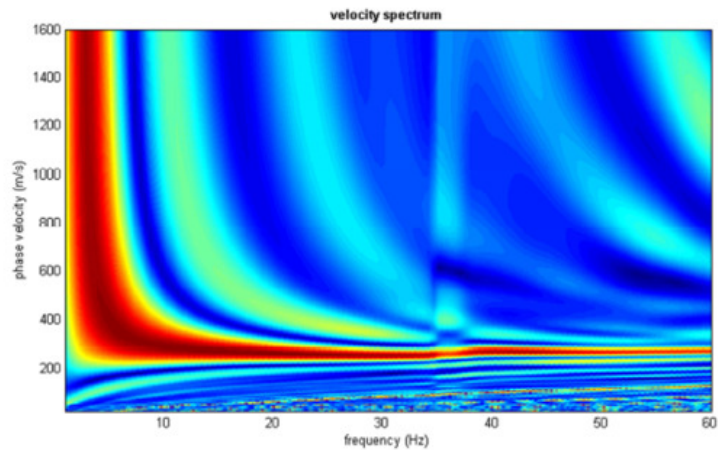


Immagine Satellitare 2012 Microsoft Satellite, in blu sono individuati i 2 stendimenti Masw effettuati nel Comune di Rho. (Masw m1: Parco Turati-via Bersaglio e Masw m2: Incrocio Via Terrazzano e Via Monte Cervino)

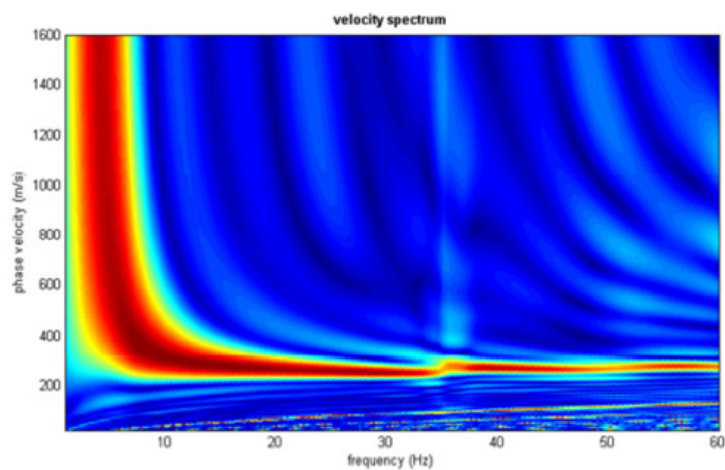
MASW m1-PARCO TURATI-VIA BERSAGLIO

- Stendimento 50 metri
- Offset 6 metri
- Durata acquisizione 1024 ms
- Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

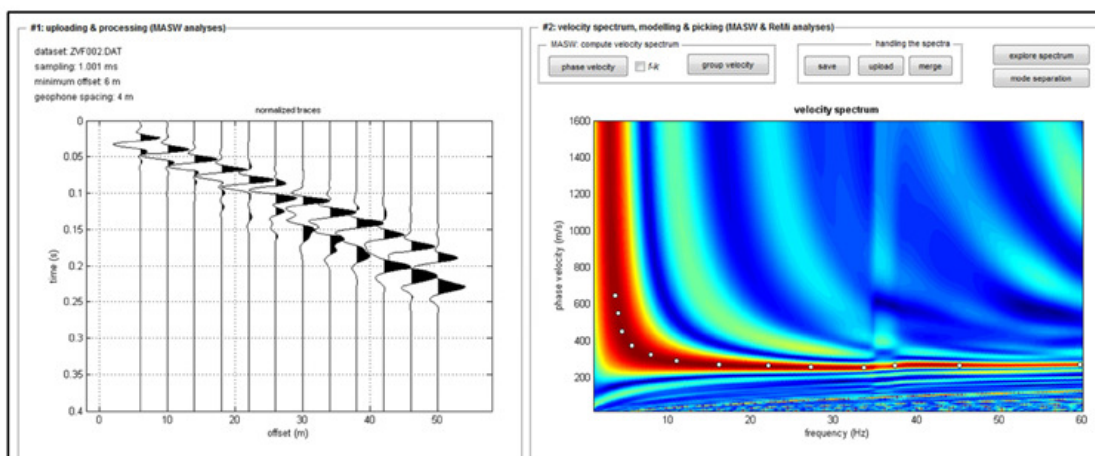


Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)



Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

ZVF



Input dati, spettro di velocità con picking modo fondamentale

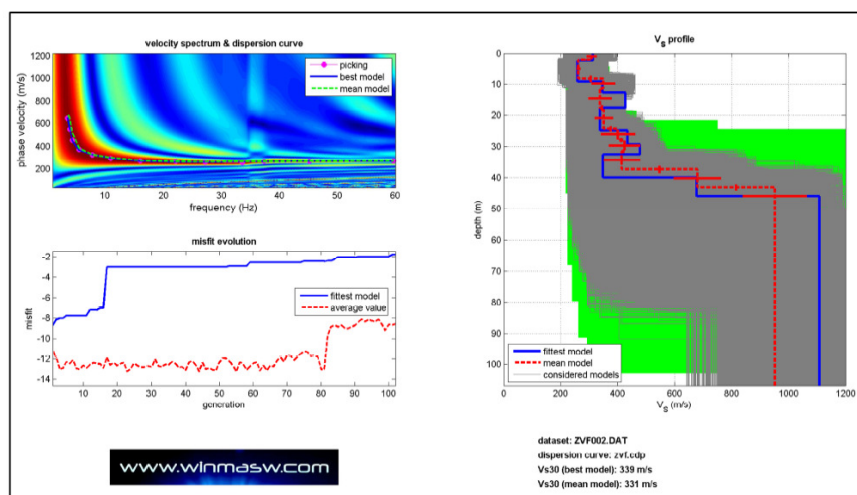
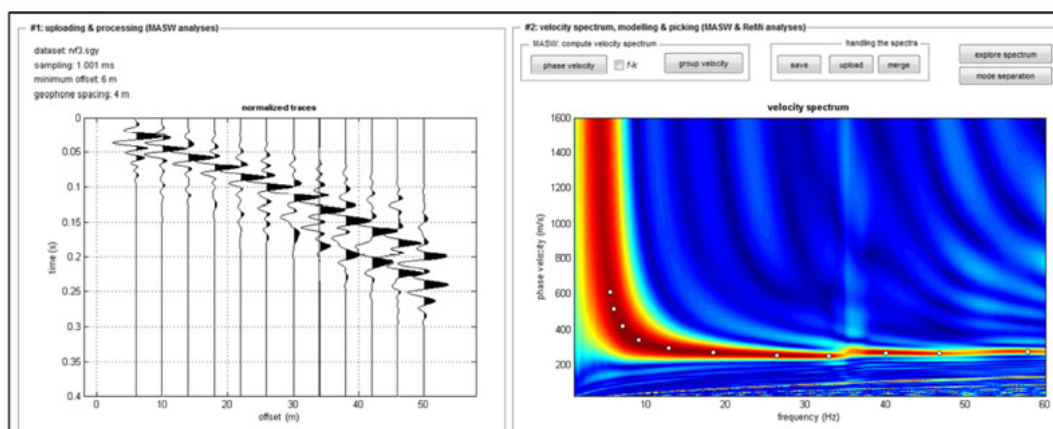


Figura 6: Inversione onde Rayleigh (ZVF)

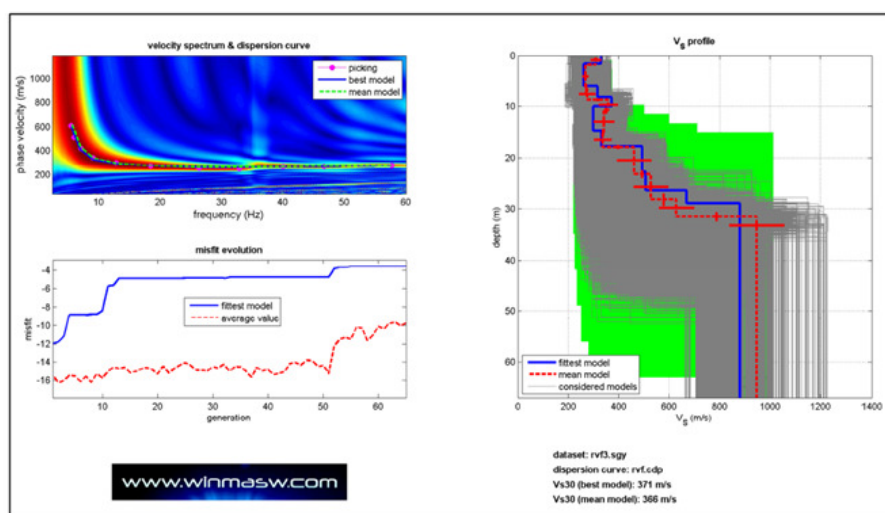
Modello Migliore Vs30 = 339 m/s

Modello Medio Vs30 = 331 m/s

RVF



Input dati, spettro di velocità con picking modo fondamentale



: Inversione onde Rayleigh (RVF)

Modello Migliore Vs30 = 371m/s

Modello Medio Vs30 = 366 m/s

Nelle inversioni i dati ricavati sono i seguenti:

ZVF Vs30 = 331 m/s

RVF Vs30 = 366 m/s

Vedendo i risultati si propone la categoria di suolo C.

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Deposit di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

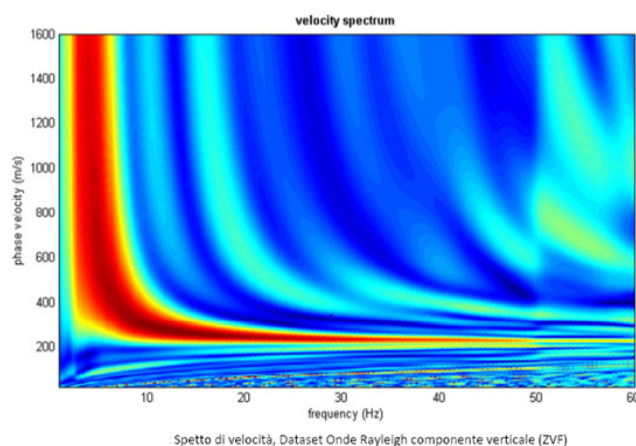
D - Deposit di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

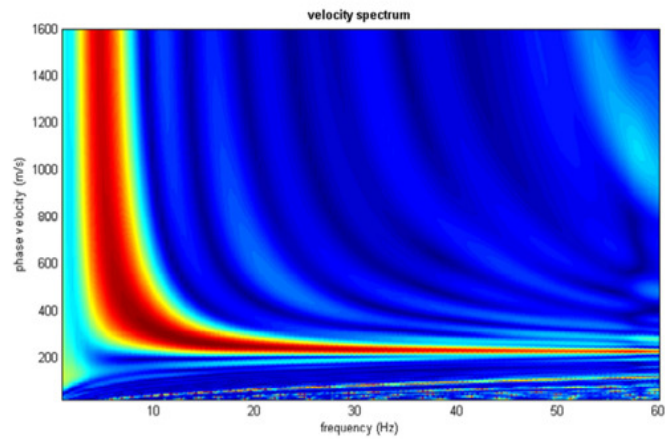
E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s)

MASW m2-INCROCIO VIA TERRAZZANO-VIA MONTE CERVINO

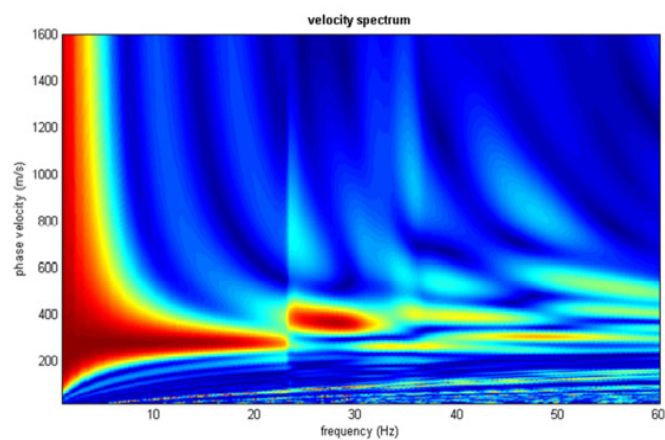
- Stendimento 54 metri
- Offset 10 metri
- Durata acquisizione 1024 ms
- Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ





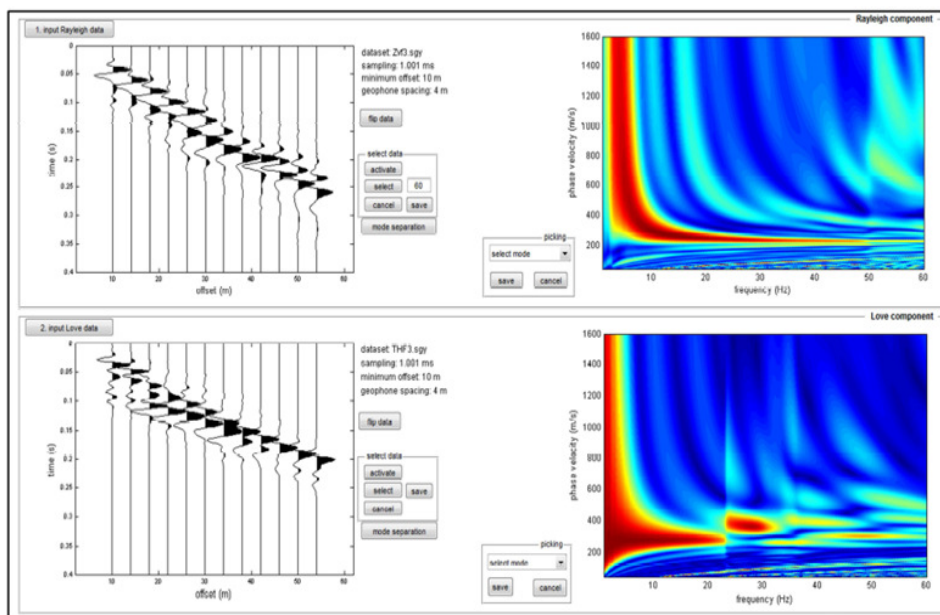
Spetto di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)



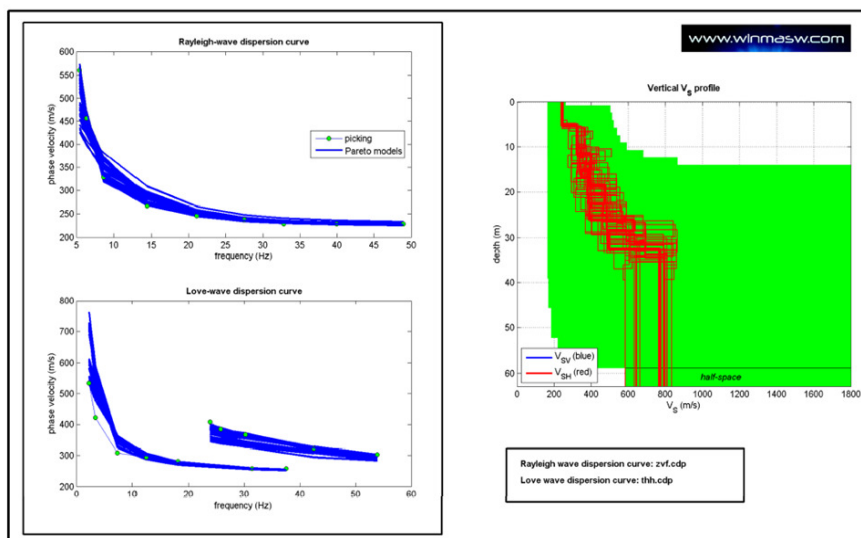
Spetto di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

Si è scelto di utilizzare nell'analisi congiunta la combinazione (ZVF-THF)

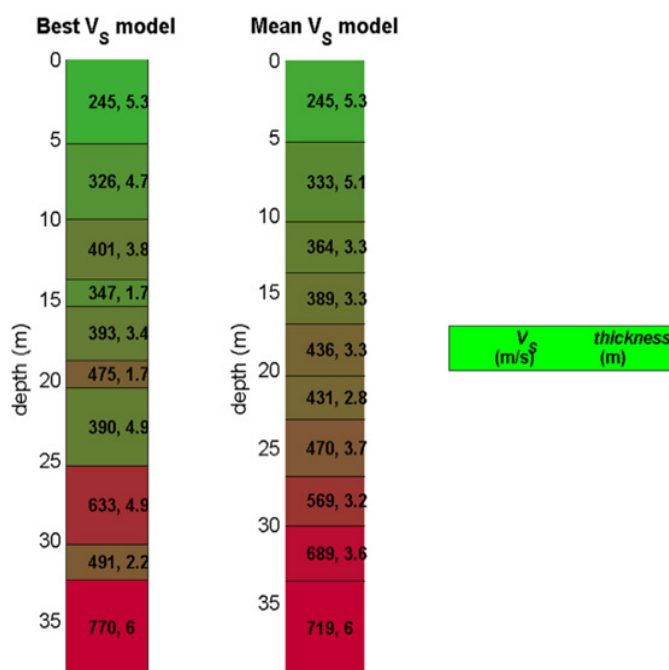
ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE "MASW"



Input dati, spettro di velocità pre-inversione



Inversione congiunta Rayleigh e Love



Migliore e Medio modello onde V_s , si possono notare delle piccole inversioni di velocità in entrambi i modelli, che indicano livelli con caratteristiche geotecniche simili, che potrebbero essere riconducibili a passaggi tra sabbia limosa a ghiaia sabbiosa.

Minimum V_{s30} (m/s): 345

Maximum V_{s30} (m/s): 379

Best model:

V_{sv} (m/s): 245, 326, 401, 347, 393, 475, 390, 633, 491, 770

V_{sv30} (m/s): 365

V_{sh} (m/s): 245, 326, 401, 347, 393, 475, 390, 633, 491, 770

V_{sh30} (m/s): 365

Thickness (m): 5.3, 4.7, 3.8, 1.7, 3.4, 1.7, 4.9, 4.9, 2.2

Mean model:

V_{sv} (m/s): 245, 333, 364, 389, 436, 431, 470, 569, 689, 719

V_{sv30} (m/s): 366

V_{sh} (m/s): 245, 333, 364, 389, 436, 431, 470, 569, 689, 719

V_{sh30} (m/s): 366

Thickness (m): 5.3, 5.1, 3.3, 3.3, 3.3, 2.8, 3.7, 3.2, 3.6

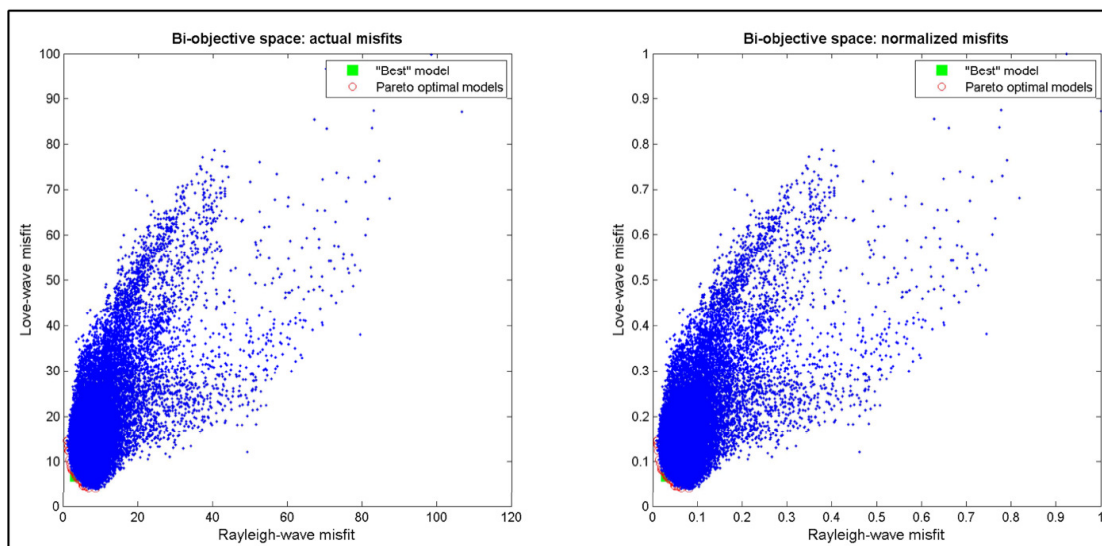
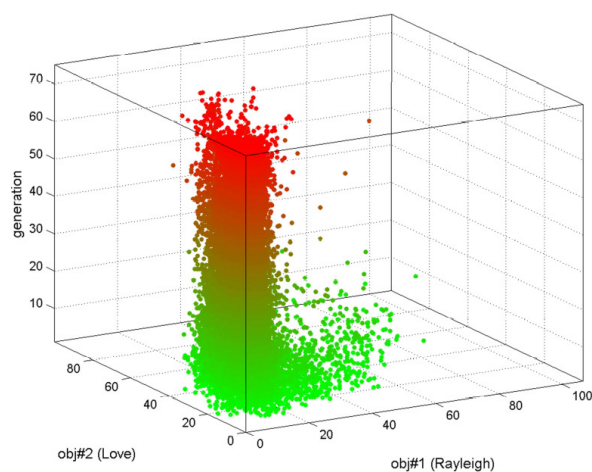
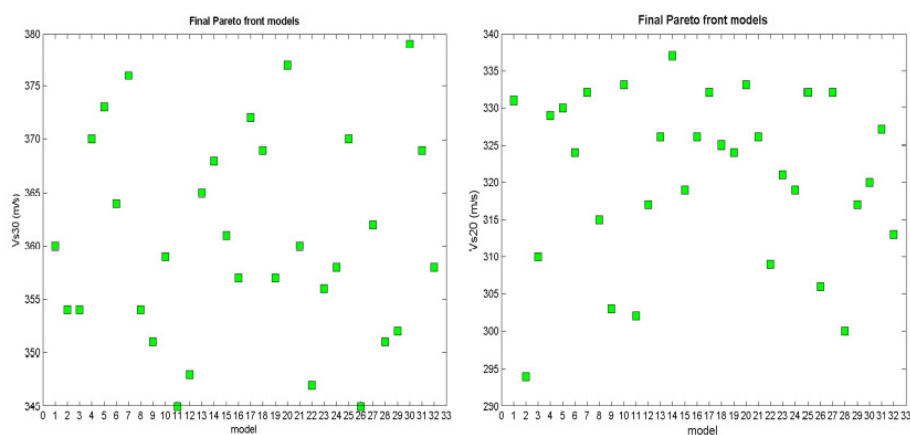


Diagramma distribuzione modelli ed errori



Distribuzione di Pareto tridimensionale



Modelli finali Pareto per Vs30 e Vs20

Vs30 (m/s): 365

Minimum Vs30 (m/s): 345

Maximum Vs30 (m/s): 379

La velocità delle onde S a 30 metri è stata individuata uguale a 365 m/s, al limite tra categoria di suolo B e categoria di suolo C, si lascia la scelta al progettista.

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS_{30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS_{30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS_{30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $VS > 800$ m/s)

3.0 FASE DI SINTESI

La presente relazione geologica è a supporto del “PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO DELLE SPONDE DEL TORRENTE LURA NEL TRATTO CITTADINO DEL COMUNE DI RHO (MI) E ANALISI GENERALI DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE”.

Il presente elaborato ha lo scopo di definire i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici delle aree interessate dagli interventi secondo quanto contenuto nella normativa vigente, con particolare riferimento a:

- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Testo Unitario – D.M.14/09/2005 di fatto mai entrato in vigore per difficoltà operative;
- D.M. 14 gennaio 2008 Norme tecniche per costruzioni;
- Circolare n. 617 del 2.02.2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : “Istruzioni per l’applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008”.

Nell’area in studio sono state eseguite indagini geognostiche (sondaggi S1 ed S2) e sismiche (masw m1 ed m2) che hanno permesso di investigare il sottosuolo e definire le caratteristiche dei terreni nell’intorno dell’alveo del Torrente Lura e le velocità nei primi 30 mt di sottosuolo (Vs30), come illustrato nei paragrafi precedenti.

Lo studio delle aree in esame a ridosso del Torrente Lura ha permesso di delineare le problematiche presenti e proporre una serie di interventi ed opere volti alla mitigazione dei potenziali fenomeni di tracimazione e rigurgito delle correnti di piena durante i periodi di piogge intense e prolungate nell’area urbanizzata di Rho.

Le opere in progetto provvederanno a migliorare la stabilità degli argini del Torrente Lura nell’area cittadina di Rho, aumenteranno lo scorrimento idrico in alveo ma non ridurranno il rischio idrogeologico, definito dalle perimetrazioni dissesti contenute nelle carta PAI, che non subiranno pertanto proposta di modifica (aree Ee ed Em, rispettivamente “aree a pericolosità molte elevate” e “aree a pericolosità medio-moderata” relativamente ai potenziali fenomeni di esondazione).

Di seguito si riportano una serie di prescrizioni di carattere generale che dovranno essere osservate durante le attività lungo l’alveo e le sponde del torrente:

- gli scavi per la realizzazione delle nuove opere, delle attività di pulizia e manutenzione lungo gli argine e l’alveo del T. Lura non dovranno alterare in alcun modo l’assetto e la stabilità delle aree circostanti (caratterizzati da edifici, orti e giardini), evitando fenomeni di arretramento dei cigli di scavo e coinvolgimento delle proprietà private;
- durante le attività di scavo nei siti di intervento (sia in alveo che a ridosso delle sponde), dovranno essere approntati tutti gli accorgimenti tecnici volti a garantire l’incolumità delle maestranze al lavoro e la non interferenza con le proprietà e le strutture esistenti a ridosso del torrente. Gli scavi dovranno essere eseguiti a setti progressivi e/o armati con sbatacchi in legno e coperti con teli impermeabili onde evitare fenomeni di arretramento dei fronti di scavo;

- eventuali stillicidi, venute idriche importanti che potrebbero emergere in fase di scavo, dovranno essere raccolti e tramite tubazione convogliati a valle, evitando che le acque vadano ad insistere sui terreni costituenti il piano di posa delle opere in progetto. Le acque richiamate in fase di scavo lungo l'alveo dovranno essere allontanate dall'area tramite adeguate pompe idrovore;
- i terreni di riporto che andranno a chiudere gli scavi necessari per l'esecuzione delle nuove opere dovranno essere ben compattati ed essere costituiti da materiali dalla tipologia adeguata, onde evitare che le correnti di piena generino fenomeni di erosione nell'intorno delle nuove strutture (erosioni spondali, al piede, ecc.) con lesione e disconnessione delle stesse;
- si dovrà provvedere come riportato nella carta di sintesi (tavola 13) e nella relazione idraulica alla realizzazione, con i massimi accorgimenti, di nuove griglie a monte delle scolmatore e di uno sgrigliatore con sistema autopulente in via Bersaglio;
- si dovrà inoltre garantire lungo l'alveo un adeguato collegamento strutturale tra le sponde/argini esistenti e le nuove opere in modo che non si determinino instabilità delle opere in caso di piena, fenomeni di erosione/escavazione nell'intorno delle nuove opere.

Dott. Geol. Luca M. Albertelli

