

PIANO ATTUATIVO:

# PROGETTO PORTELLO - P.I.I.

OGGETTO:

UNITA' D'INTERVENTO U1 - U2 - U3  
Viale Serra - Viale De Gasperi, Milano

TIPOLOGIA DI INTERVENTO:

PRESENTAZIONE VARIANTE URBANISTICA

PROGETTO DEFINITIVO:

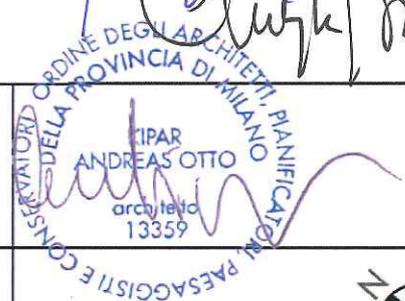
COMMITTENTE:

IPER MONTEBELLO S.P.A.  
Via Grosotto, 7 - 20129 Milano

IPER MONTEBELLO SPA

ARCH. ANDREAS KIPAR  
via Varese, 16 20121 Milano tel. 02.8069111

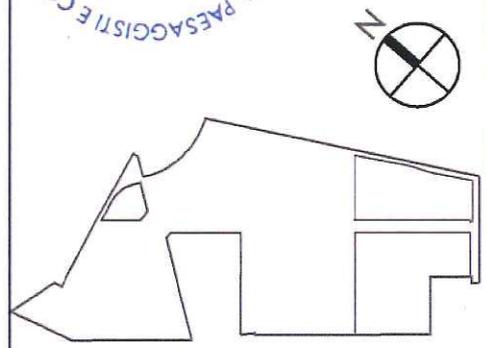
LAND Milano s.r.l.  
Il Direttore Tecnico  
Dr. Arch. Andreas Kipar



Consulenti Aspetti Geologici e Sismici

Dott. Geol. Roberto Luoni - OGL n. 866  
Via S.G. Emiliani 1 - 20135 Milano  
Tel 0255186655 - mail luoni.geo@gmail.com

Dott. Geol. Luca Moreschi - OGL n. 1641 AP  
Via Parpagliona 63 - 20099 Sesto S. Giovanni  
Tel 3335254399 - mail lucamoreschi1@gmail.com



F	29.10.2015	prima emissione
E		
D		
C		
B		
A		
Rev.	Data	Descrizione revisione

DIREZIONE URBANISTICA  
AREA PIANIFICAZIONE URBANISTICA ATTUATIVA  
E STRATEGICA  
IL DIRETTORE DI AREA  
Arch. Marco Porta

COMUNE DI MILANO  
DIREZIONE URBANISTICA  
PG 206507/2017  
Del 04/05/2017 11:21:42  
IPER MONTEBELLO S.P.A.  
(S) PROT. AREA PIANIFICA  
04/05/2017

## RELAZIONE

Tavola:

Titolo: **Contributo geologico specialistico a supporto  
presentazione Variante Urbanistica Progetto Portello**

Verificato:      Approvato:      Data: **29/10/2015**      Scala:



## INDICE

	Pag.
1. <b>PREMESSA</b>	1
2. <b>CARATTERISTICHE TERRITORIALI E GEOLOGICHE</b>	2
2.1 <b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>	2
2.2 <b>CARATTERISTICHE GEOLOGICHE</b>	3
2.3 <b>CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE</b>	4
2.4 <b>CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE</b>	5
2.5 <b>CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE</b>	6
2.6 <b>ANDAMENTO PIEZOMETRICO</b>	9
2.7 <b>FATTIBILITÀ GEOLOGICA</b>	11
3. <b>ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE SISMICA DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE RELATIVO ALL'AREA IN STUDIO</b>	13
3.1 <b>INDAGINE SISMICA</b>	14
3.1.1 <i>Prospezione Sismica Attiva</i>	15
3.1.2 <i>Prospezione Sismica Passiva – HVSR</i>	17
3.1.3 <i>Modalità d'Indagine</i>	19
3.1.4 <i>Risultati Prove Sismiche MASW e HVSR</i>	21
3.2 <b>ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA</b>	29
3.2.1 <i>Analisi di 2° Livello – D.G.R. IX/2614 del 30/11/2011</i>	31
3.2.1 <i>Effetti di Amplificazione Litologica</i>	34



4.	<i>VALUTAZIONE DELLE INTERAZIONI INDOTTE DALLA VARIANTE AL P.I.I PORTELLO CON SUOLO, SOTTOSUOLO ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE</i>	<i>35</i>
4.1	<i>INTERAZIONI CON ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA</i>	<i>35</i>
4.2	<i>INTERAZIONI CON L'ASSETTO IDROGEOLOGICO</i>	<i>36</i>
4.3	<i>INTERAZIONI CON L'IDROGRAFIA SUPERFICIALE</i>	<i>36</i>
4.4	<i>FABBISOGNI E SMALTIMENTO ACQUE</i>	<i>37</i>



## 1. **PREMESSA**

La presente relazione tecnica illustra gli aspetti geologici ed idrogeologici relativi alle aree interessate dalla Variante Urbanistica all'attuazione finale del P.I.I. Portello in comune di Milano.

Tale relazione tecnica viene redatta con riferimento alla D.G.P. n. 318/2014 della Provincia di Milano e alle prescrizioni riportate nello Studio Geologico del Comune di Milano relative alla documentazione da presentare a corredo dei Piani Attuativi Piano in merito alla componente geologica, idrogeologica e sismica dell'area interessata dal progetto.

Contestualmente agli approfondimenti sopra indicati, in relazione al cambio di destinazione d'uso di alcune strutture previsto dalla Variante del PII Portello e alla nuova classificazione sismica del territorio lombardo prevista dalla D.G.R. 11/07/2014 n. X/2129, viene aggiornata la componente sismica dello studio geologico comunale relativamente all'area in esame.

Di seguito quindi vengono descritti i seguenti elementi:

- ⇒ Descrizione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e idrografiche dell'area interessata dalla Variante del PII Portello;
- ⇒ Aggiornamento componente sismica mediante analisi di 2° livello atto a definire i fattori di amplificazione di sito;
- ⇒ Interazioni tra la varianti proposte al PII Portello e l'assetto geologico, idrogeologico e idrografico del comparto esaminato.



## 2. CARATTERISTICHE TERRITORIALI E GEOLOGICHE

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Proposta di variante urbanistica del P.I.I. – comparto U2 e U3 trova sede in località Portello in comune di Milano e viene individuata dal punto di vista topografico nella Sezione B6b2 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000.

La successiva figura 1, mostra l'individuazione dell'area in esame su foto aerea.



Figura 1: Inquadramento aerea interessata da P.I.I.

Come evidenziato dalla foto aerea l'ambito risulta collocato in un settore territoriale completamente pianeggiante e fortemente urbanizzato tipico della città di Milano.



## 2.2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

L'area oggetto di studio risulta caratterizzata dalla presenza di una successione di depositi quaternari sovrapposti appartenenti ai sistemi deposizionali fluviali e fluvioglaciali.

Dall'unità più antica all'unità più recente la successione stratigrafica presente nel sottosuolo presenta le seguenti caratteristiche:

- ⇒ **Diluvium Antico (fluvioglaciale Mindel Auct.):** è costituito da ghiaie a supporto di matrice, caratterizzata da un alto grado di selezione, disposte in letti suborizzontale o leggermente inclinati, con ciottoli poligenici generalmente arrotondati. La matrice, abbondante, è prevalentemente sabbiosa – argillosa di colore giallo-ocraceo. Superficialmente è presente un orizzonte di alterazione dal tipico colore rossastro avente spessore di alcuni metri prodotto da fenomeni di ossidazione, decalcificazione e argillificazione;
- ⇒ **Diluvium Medio (fluvioglaciale Riss Auct.):** i sedimenti che compongono questa unità sono essenzialmente di natura ghiaiosa con ciottoli molto arrotondati, immersi in una matrice abbondante di colore giallo-marrone, a tessitura argilloso-sabbiosa. La natura dei ciottoli è varia, ma raramente si hanno elementi clastici calcarei. Localmente le ghiaie sono ricoperte da un orizzonte di depositi limosi e più frequentemente limosi-sabbiosi con spessore compreso tra 1,0 e 1,5 metri;
- ⇒ **Diluvium Recente (Fluvioglaciale Wurm Auct.):** questa Unità costituisce il cosiddetto “Livello fondamentale della Pianura Padana” e affiora con continuità in tutta la città di metropolitana di Milano. Tale Unità risulta costituita da depositi di natura ghiaiosa-sabbiosa. Dal punto di vista tessiturale vengono individuate tre fasce denominate: ghiaie prevalenti, zona a ghiaie e sabbie e zona sabbie prevalenti, con progressivo aumento delle componenti fini da Nord verso Sud;
- ⇒ **Alluvioni recenti e attuali:** a questa Unità sono attribuiti i depositi che affiorano in corrispondenza degli alvei dei corsi d'acqua; sono costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose con locali intercalazioni di livelli sabbiosi-limosi legati a fenomeni di esondazione.

In particolare, come mostrato nella Tavola n. G.01/1 “*Carta Litologica – Litologia superficiale, idrografia, geomorfologia*” dello Studio Geologico comunale, il sottosuolo dell'area oggetto della presente relazione risulta caratterizzato dalla presenza di sedimenti ghiaioso sabbiosi (G1). Stralcio di tale elaborato grafico viene di seguito riproposto:



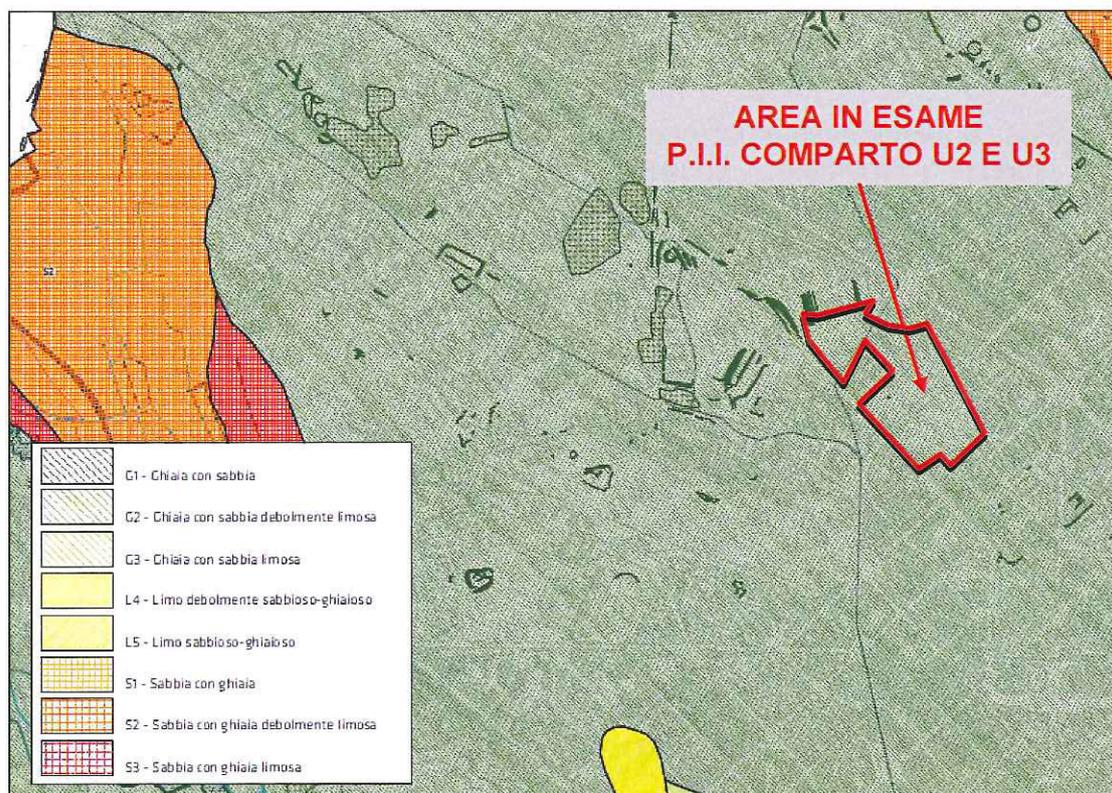


Figura 2: Stralcio Tav. G.01/1 dello Studio geologico comunale

Da punto di vista qualitativo, il suolo e sottosuolo dell'area interessata dal PII Portello e dalla Variante in esame, ha giovato di significativi interventi di bonifica delle contaminazioni indotte dalle pregresse attività che hanno interessato l'ambito, rese possibili dall'attuazione del Progetto.

### 2.3 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Dal punto di vista morfologico l'area in esame non presenta spunti di particolare riflessione.

Difatti la morfologia dell'area è rappresentata da un assetto uniformemente tabulare con blanda pendenza verso sud in cui si intercalano elementi morfologici di natura antropica.

Non si rilevano quindi elementi morfologici rilevanti né significative criticità.



## 2.4 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

L'idrografia dell'area di Milano è piuttosto complessa anche a causa dei numerosi interventi effettuati nel corso dei secoli. L'elemento principale che caratterizza il deflusso delle acque superficiali è la direzione di scorrimento dei corsi d'acqua che risulta prevalentemente da NW verso SE, corrispondente alla pendenza principale della pianura.

A Nord-Ovest di Milano entrano vari corsi d'acqua, e quelli che interessano l'area oggetto di studio, risultano completamente tombinati e sono il fiume Olona, che nasce nelle prealpi varesine e decorre a ovest del sito a circa 300m, nel quale s'innestano due torrenti: il Nirone e il Pudiga, dove quest'ultimo provenendo da nord attraversa dapprima la porzione settentrionale del Piano Attuativo comparto U2, lungo via Achille Papa, per poi innestarsi nel fiume Olona poco più a nord di piazza Stuparich.

La successiva figura 3, estratta dal portale SIA della Città Metropolitana di Milano, mostra i percorsi dei corsi d'acqua sopra descritti..

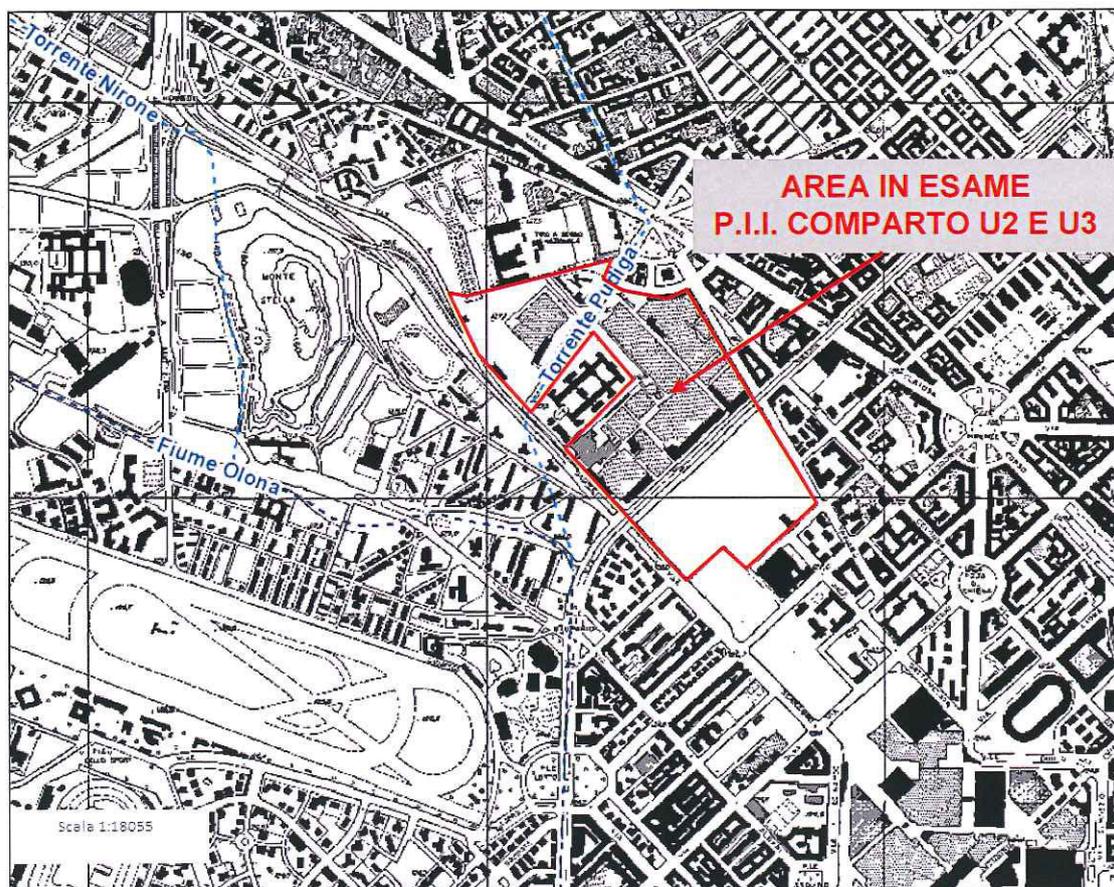


Figura 3: Stralcio carta idrografia – SIA – Città Metropolitana di Milano



## 2.5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'area in esame si estende entro la fascia della media pianura lombarda ed è interessata esclusivamente da sedimenti alluvionali e fluvio-glaciali quaternari.

Ad una generale uniformità della geologia di superficie, testimoniata dalla presenza di una sola unità arealmente estesa, si contrappone, man mano che ci si spinge in profondità, una graduale differenziazione sia all'interno delle stesse unità che al passaggio verso le unità più antiche sottostanti.

Tali caratteristiche geologiche, strettamente connesse alla particolare struttura idrogeologica, condizionano largamente la circolazione idrica sotterranea.

Il criterio utilizzato da ENI – Divisione AGIP e Regione Lombardia (2002) fanno riferimento ai risultati di un'indagine multidisciplinare, compiuta utilizzando diverse fonti di dati (stratigrafie di pozzo (ENI), linee sismiche e log elettrici); tale indagine propone un modello stratigrafico basato sul riconoscimento e la definizione di 4 Unità idrostratigrafiche, definite informalmente: gruppi acquiferi A, B, C e D di seguito descritti:

- ⇒ **Gruppo Acquifero D:** il più profondo, è costituito da una sequenza in facies negativa, o a granulometria inversamente crescente di età pleistocenica inferiore, caratterizzata da argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia finissima in strati sottili alla base, sabbia grigia fine e media nella porzione intermedia e ghiaia alternata a sabbia nella parte alta. La successione è interpretata come un sistema deposizionale di delta-conoide progradante da Nord verso Sud.
- ⇒ **Gruppo Acquifero C:** soprastante il Gruppo D, attribuito al Pleistocene medio, è ripartito in due distinti cicli regressivi: il ciclo inferiore è costituito, alla base, da sedimenti marini di piattaforma, rappresentati in prevalenza da argilla siltosa – sabbiosa che passano superiormente a depositi prevalentemente sabbiosi di ambiente transizionali; la parte alta del ciclo è invece rappresentata da depositi continentali di piana alluvionale con sabbia grigia finissima a media, laminata, alternata ad argilla siltosa e argilla palustre scura, ricca in sostanza organica. Nel suo complesso tale gruppo corrisponde ad una fase di progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani, la quale determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbiditici.
- ⇒ **Gruppo Acquifero B:** è suddivisibile in due distinti cicli positivi di spessore pari a circa 20m, mentre nel ciclo inferiore prevalgono i litotipi sabbiosi con sabbia grigia da fine a grossolana, raramente ciottolosa, in stati gradati da sottili a molto spessi. Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più



grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie in prossimità delle aree alpine e più sabbiose in quelle distali dalle aree di alimentazione. Il limite di base del gruppo coincide con una fase molto importante nell'evoluzione sedimentaria della pianura Padana lombarda per quanto attiene a litologie, facies sedimentarie, ambienti e sistemi deposizionali e direzione degli apporti. Esso segna infatti il passaggio alla deposizione generalizzata di sedimenti grossolani, rappresentati da sabbie medio - grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa. L'ambiente deposizionale è esclusivamente di tipo continentale.

⇒ **Gruppo Acquifero A:** presenta forti analogie con il sottostante Gruppo B, in termini di litofacies, ambienti e sistemi deposizionali. I depositi sono costituiti da ghiaie e ghiaie ciottolose a matrice sabbiosa da media a molto grossolana. L'ambiente deposizionale è di tipo continentale e dominano, in particolare, le piane alluvionali con sistemi fluviali di tipo braided.

Nell'area d'indagine sono presenti numerosi pozzi pubblici che presentano profondità superiori ai 70m e che prelevano acque sia dal gruppo Acquifero A sia da quello B. La trasmissività per l'acquifero milanese risulta mediamente pari a  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

In conclusione gli acquiferi sfruttabili nell'area di Milano sono la parte inferiore dell'acquifero A e l'intero acquifero B. L'acquifero C viene sfruttato solo nella porzione più superficiale.

La figura 4, di seguito riportata, mostra la sezione idrogeologica n. 2 riportata nella relazione tecnica del PGT vigente e descrive la stratigrafia dell'acquifero in direzione da NW verso SE.



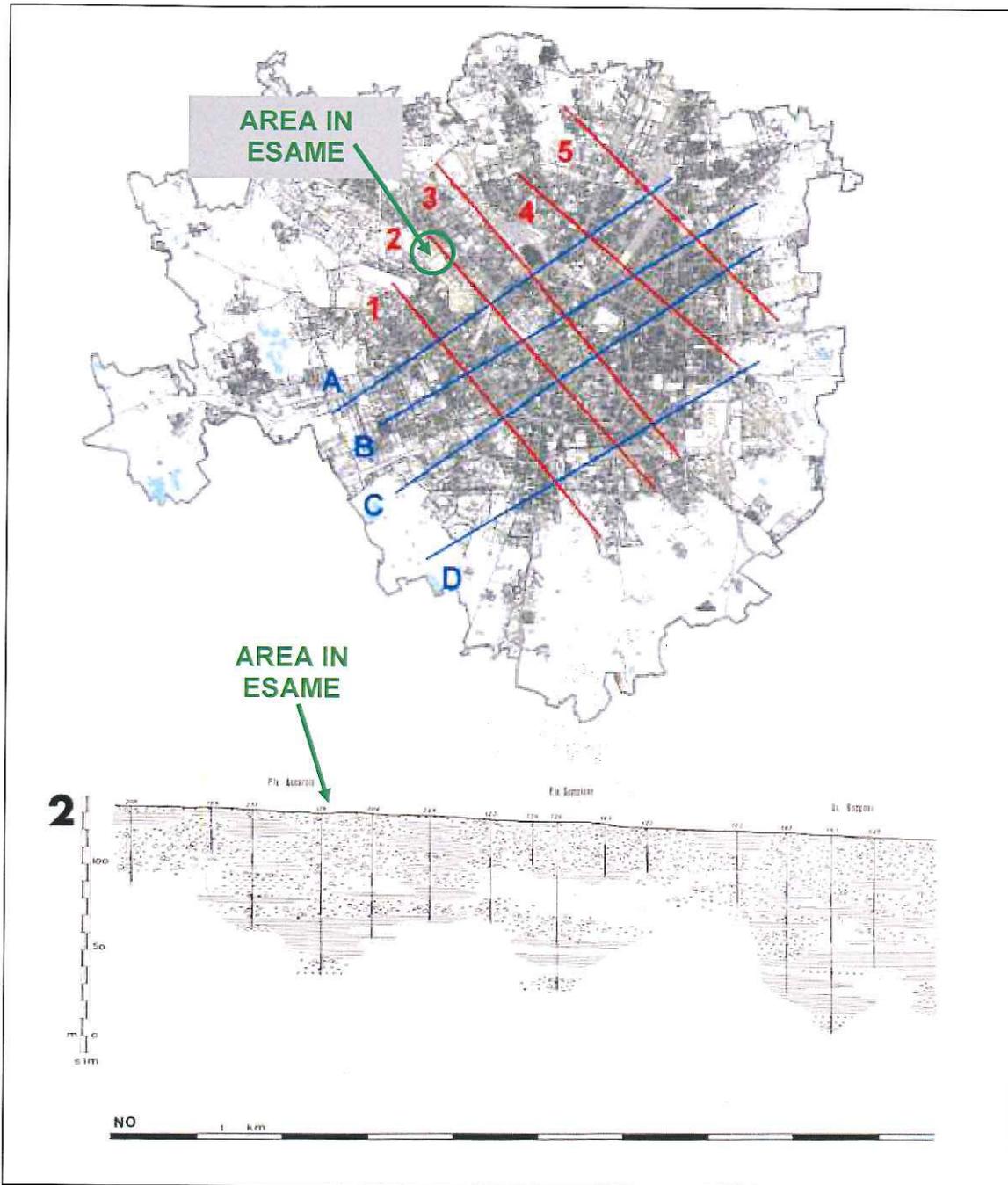


Figura 4: Sezione Idrogeologica tratta dalla figura 3.1 della Relazione tecnica del PGT di Milano



## 2.6 ANDAMENTO PIEZOMETRICO

La piezometria dell'area è stata dedotta dallo studio geologico del comune di Milano. In particolare la successiva figura 5, mostra uno stralcio della Tavola n. G.02/1 denominata: "Carta Idrogeologica – Idrogeologia, piezometria, aree di salvaguardia pozzi pubblici".

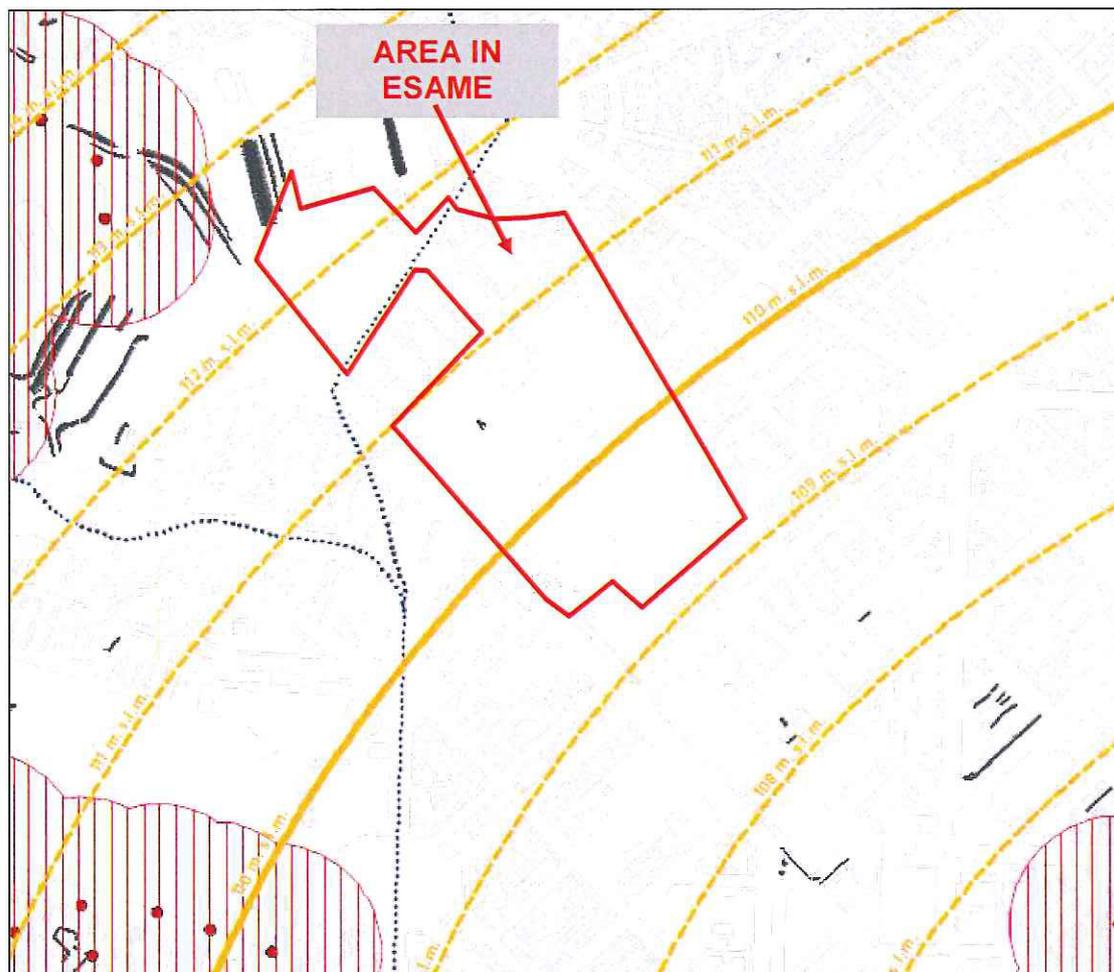


Figura 5: Stralcio tavola G.02/1 – Carta Idrogeologica

L'esame di tale elaborato grafico permette di valutare come l'ambito sia compreso tra le quote piezometriche 111 e 109m s.l.m.. Considerando le quote del piano campagna rispettivamente pari a 128,6m s.l.m. del comparto U2 e 126,0 m s.l.m. del comparto U3 stimate dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, è possibile ricavare una soggiacenza della falda freatica, alla data del rilevamento, pari a circa -17m da p.c.

Tale valore di soggiacenza risulta molto variabile: difatti come descritto nello Studio di Impatto Ambientale del giugno 2000 relativo al PII Portello la



soggiacenza della falda negli anni '50 si attestava nell'area a circa -8m dal p.c. e recentemente si sta assistendo ad una risalita generalizzata della falda freatica rispetto ai valori registrati nei dei primi anni 2000.

Nella figura 5 è inoltre risulta possibile osservare come la falda freatica sia caratterizzata da un deflusso all'incirca NW verso SE a causa della nota depressione Milanese.

Tale depressione è generata dall'elevato fabbisogno idrico della città di Milano, che prelevando un'elevata quantità di risorsa idrica, genera un cono di depressione che richiama acqua dall'esterno, modificando così localmente la direzione tipica della falda che in pianura Padana è mediamente N-S.

Si rileva infine dalla visione della figura 5, che l'area oggetto di studio non è interessata dalla presenza di pozzi pubblici ad uso potabile e quindi priva di fasce di tutela assoluta (10m) e di rispetto (200m) delle captazioni idriche ad uso idropotabile.



## 2.7 FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Tavola n. G.06/1C denominata: "Carta della Fattibilità geologica – Classificazione del territorio comunale" relativa alla classificazione di fattibilità geologica del territorio comunale di Milano riportata nello Studio Geologico Comunale:

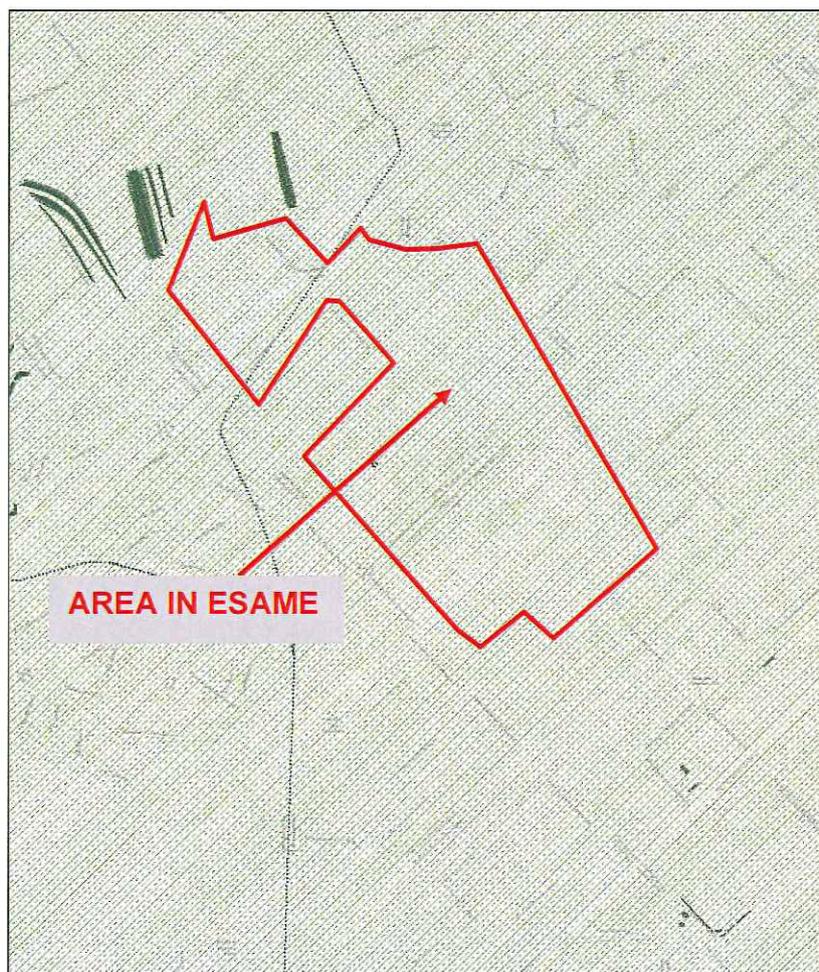


Figura 6: Stralcio Tav. G.06/1C del P.G.T. vigente – Carta di Fattibilità

L'esame dell'elaborato grafico mostrato in figura 6, permette di osservare come l'intero ambito in esame sia inserito nella classe di fattibilità geologica **2** equivalente ad una fattibilità con modeste limitazioni.

In particolare nelle Norme di Piano, riportate nel vigente PGT, sono incluse in tale categoria tutte le aree nelle quali sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie, fatto salvo l'obbligo di verificare la compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 14/08/2008, per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.



Lo studio delle componenti consente di definire le aree in classe di fattibilità geologica 2 come pianeggianti, litologicamente costituite da depositi di natura sabbiosa-ghiaiosa con percentuali variabili di matrice limosa o limosa sabbiosa.

Talvolta sono aree con presenza di terreni granulari/coesivi con mediocri/scadenti caratteristiche geotecniche fino a 5-6m di profondità.

Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia (così come definiti dall'art. 27 della L.R. 12/2005), nel rispetto delle normative vigenti.

Nello specifico per l'ambito in esame, si rende necessaria l'esecuzione di approfondimenti di indagini preventive alla progettazione per le verifiche idrogeologiche e litotecnica dei terreni, mediante rilevamento di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie.

Inoltre dal punto di vista sismico, per la progettazione di edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03), dovranno essere adottati tutti i criteri antisismici previsti nel D.M. 14/01/2008, definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 2° e 3° livello, secondo le specifiche contenute nell'allegato 5 della D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/2011, o in alternativa utilizzando lo spettro previsto dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore.



### **3. ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE SISMICA DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE RELATIVO ALL'AREA IN STUDIO**

Come accennato in premessa, al fine di adempiere alla prescrizione prevista dalla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 in materia di Studi Geologici a supporto della pianificazione urbanistica, risulta obbligatorio per tutti i nuovi progetti di edifici strategici e rilevanti, contenuti nell'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03, procedere con l'approfondimento sismico di 2° livello, al fine di verificare se la normativa vigente è sufficiente o meno a tenere in considerazione tutti i possibili effetti di amplificazione litologica.

Inoltre la Regione Lombardia con D.G.R. del 11/07/2014 n. X/2129 ha riclassificato dal punto di vista sismico il territorio lombardo inserendo il comune di Milano in Classe di rischio sismico 3, modificando quindi l'analisi sismica condotta nello Studio geologico comunale che considerava il territorio nella classe di rischio sismico 4 vigente al momento della sua stesura.

La variante al Piano Attuativo in programma comporta quindi la necessità di un adeguamento dello studio geologico comunale relativamente alla componente sismica ed un'analisi di II livello in quanto la variante prevede funzioni che ricadono nell'elenco tipologico del d.d.u.o. n. 19904/03 e il Comune di Milano ricade in classe di rischio sismico 3 a seguito dell'entrata in vigore della D.G.R. del 11/07/2014 n. X/2129.

Sulla base di tali premesse, al fine di adempiere a tali prescrizione, è stata eseguita in sito un'indagine geofisica diretta, mediante esecuzione di una prova MASW le cui modalità esecutive e successive elaborazioni vengono descritte nei successivi paragrafi.

Sulla base degli elementi emersi da tale prova è stato quindi elaborato l'adeguamento dello studio geologico comunale relativo all'area interessata dalla variante del PII Portello e gli approfondimenti di II livelli richiesti dalla vigente normativa per edifici ricadenti nell'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03.



### 3.1 INDAGINE SISMICA

L'indagine geofisica è stata eseguita lungo via Don Luigi Palazzolo presso il quartiere Portello di Milano e individuata nella successiva foto:



Figura 7: Stendimento MASW – via Don Palazzolo - Milano

Vista la forte urbanizzazione dell'area d'indagine, si è reso necessario eseguire una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) con onde di Rayleigh congiuntamente ad una prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) al fine di verificare la sismicità locale del sito.

Le due tecniche utilizzate si differenziano tra loro, in quanto la prima è definita di tipo "attivo" e la sua esecuzione è possibile solo a seguito di un'energizzazione effettuata manualmente da un qualsiasi punto definito "sorgente" del piano campagna; mentre la seconda, di tipo "passivo", rileva le



oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici, denominati "microtremori".

Dall'osservazione di questi ultimi, mediante il rapporto di ampiezza tra le onde orizzontali e verticali (metodo H/V di Nakamura, 1989), si riescono a definire le frequenze che possono essere soggette ad amplificazione in caso di terremoto generando i fenomeni di risonanza del sito.

Inoltre la prova HVSR è stata utilizzata per ovviare al problema di "non univocità", che consiste in un'ambiguità nel modello ricostruito a partire dal dato osservato, è stato adottato un approccio di elaborazione congiunto delle due metodologie citate, permettendo così di vincolare le inversioni necessarie per la definizione del profilo Vs (vd. Dal Moro 2010 - 2011).

Le indagini nel loro insieme, in accordo con le linee guida fornite dal D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni, hanno permesso di definire il profilo delle velocità delle onde di taglio (Vs) per il sito d'indagine ed inquadrare i terreni interessati dalle opere in progetto secondo la normativa nazionale, vale a dire in funzione delle Vs30 valutate nei primi 30 metri di profondità a partire dal piano d'imposta delle fondazioni. La formula di seguito mostrata consente il calcolo di tale parametro:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

Nei paragrafi successivi vengono descritte le metodologie di studio adottate e le conclusioni ottenute.

### 3.1.1 *Prospezione Sismica Attiva*

Con il termine MASW si indica uno studio della propagazione delle onde di superficie mediante una energizzazione del terreno. Tale pratica viene comunemente svolta mediante l'impiego di una mazza battente o, nel caso di necessità di indagine a profondità superiori ai 30/50m, l'utilizzo del cosiddetto cannoncino sismico. Comunemente tale analisi viene condotta analizzando la sola componente delle onde di Rayleigh (R), la cui generazione avviene attraverso un'energizzazione verticale del sito.

Tuttavia, tale tipologia d'acquisizione è il più delle volte incompleta o fuorviante a causa di alcune ambiguità degli spettri di risposta che caratterizzano questo tipo di onda superficiale. Pertanto è buona norma, e talvolta necessario, abbinare a questa tipologia d'analisi lo studio di un'altra famiglia di onde di superficie, vale a dire quelle di Love (L), la cui



interpretazione risulta meglio rappresentativa del modello litologico in esame per via del minor numero di modi di propagazione.

Queste onde vengono dette di superficie, in quanto la loro ampiezza decresce con la profondità di propagazione, pertanto il loro sviluppo interessa quasi esclusivamente le porzioni più superficiali di terreno. Le due tipologie di onde si differenziano a seconda di come si propagano nel mezzo attraversato, le onde di Rayleigh hanno un moto radiale di tipo retrogrado, mentre quelle di Love si muovono esclusivamente sul piano orizzontale con una oscillazione che si presenta perpendicolare alla direzione di propagazione.

A prescindere dalla loro tipologia, un'onda sismica è costituita dalla sommatoria di diverse componenti (frequenza e lunghezza d'onda) con differenti valori di ampiezza e di fase che, una volta sommate, danno luogo all'onda di propagazione.

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Dove:

- ⇒  $\lambda$  = lunghezza d'onda
- ⇒  $V$  = velocità di propagazione
- ⇒  $f$  = frequenza.

In particolare la velocità di propagazione di una specifica componente (frequenza) dipende dalle caratteristiche del mezzo attraversato, e interessa indicativamente una profondità pari a circa  $\lambda/2$  o  $\lambda/3$ , secondo una approssimazione che viene spesso definita "Steady state approximation".

Analizzando così la velocità di propagazione di ciascuna componente, si è in grado di quantificare le caratteristiche del mezzo attraversato in funzione della profondità di osservazione. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale, ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga, tale proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate "rumore", per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

L'intero processo avviene seguendo tre passi fondamentali:



- ⇒ Acquisizione delle onde superficiali (Ground Roll);
- ⇒ Costruzione della curva di dispersione (Velocità di fase - Frequenza);
- ⇒ Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Al fine di ottenere un profilo di velocità (Vs), è obbligatorio generare un treno d'onde superficiali a banda larga, cercando per quanto possibile di ridurre al minimo la registrazione del cosiddetto "rumore ambientale". A tal fine sono presenti molteplici tecniche attuabili nella fase d'acquisizione che variano principalmente in funzione della strumentazione utilizzata, della geologia del sito, dalla possibilità o meno di effettuare una stesa sismica sufficientemente sviluppata e del livello di disturbo antropico "rumori accidentali".

Nel caso si voglia effettuare un'analisi del rapporto spettrale delle onde di Rayleigh, sarà buona norma energizzare il terreno mediante un colpo verticale, in modo da massimizzare la risposta radiale nel terreno. Al contrario se si vuole eseguire un'analisi del rapporto spettrale delle onde di Love, la migliore energizzazione sarà quella fornita da un colpo di taglio, ortogonale rispetto alla direzione dello stendimento.

L'interpretazione della curva di dispersione ottenuta dalla combinazione dei dati di campagna, viene svolta mediante un procedimento iterativo, finalizzato all'interpretazione dello spettro delle velocità di fase, mediante confronto con un modello teorico del sito formulato dall'interprete sulla base delle proprie conoscenze stratigrafiche e geologiche.

Questo approccio è talvolta preferito alla classica procedura di *picking*, in quanto evita l'insorgere di errori dovuti alla presenza di modi superiori che potrebbero concentrarsi all'interno dello stesso dataset, traendo in inganno l'interprete. Questa metodologia risulta quindi molto efficace, sia in condizioni "ordinarie" sia in condizioni geologiche relativamente complesse (spettri di risposta particolarmente difficili o disturbati).

Di conseguenza, partendo da una stratigrafia desunta da eventuali indagini geotecniche svolte in sito, è possibile attribuire dei valori di velocità e relativi spessori ai singoli strati seguendo un processo iterativo che riguarda sia il modo fondamentale che quelli superiori fino al raggiungimento del "fitting" ottimale con la curva di dispersione.

### 3.1.2 Prospezione Sismica Passiva – HVSR

La metodologia sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) misura il rumore sismico ambientale che è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre, in quanto viene generato dai fenomeni naturali come:



l'oscillazione delle onde oceaniche, microterremoti, vento, ecc., nonché dall'attività antropica in generale.

In particolare la metodologia HVSR, introdotta da Nakamura (1989), sfrutta tali rumori naturali al fine di determinare le possibili frequenze di risonanza dei terreni e quindi la valutazione dell'amplificazione sismica locale, di grande utilità per l'ingegneria sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza (F) dello strato di terreno (n) è data dalla seguente funzione:

$$F_n = V_s / 4 h$$

Dove:

⇒ " $V_s$ " indica la velocità media delle onde di taglio S nello strato n

⇒ " $h$ " è lo spessore dello strato indagato.

Questo, congiuntamente alla stima delle velocità  $V_s$ , è in grado di fornire un'indicazione di massima relativa allo spessore ed alla profondità dello strato indagato. Di conseguenza, nota la stratigrafia del sito e conosciuta la frequenza, è teoricamente possibile fornire una valutazione approssimativa della velocità delle onde S alle quote dei singoli strati.

Nel caso indagato, allo scopo di definire il periodo di risonanza di un sito e migliorare la definizione del profilo delle  $V_s$  nelle porzioni più profonde (analisi congiunta MASW + HVSR), è stata eseguita una misura dei microtremori necessaria a definire il rapporto H/V di Nakamura seguendo i criteri del progetto SESAME.

Le curve HVSR e gli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e Z), sono state acquisite mediante un campionamento a 500Hz e successivamente ricampionate mediante un software WinMASW-3C © a 128Hz, avendo cura di ripulire tutti i "picchi di segnale" legati ad eventi antropici improvvisi sopraggiunti durante la fase di registrazione.

L'osservazione dello spettro di dispersione permetterà di individuare i possibili picchi di risonanza all'interno dell'intervallo delle frequenze d'interesse geologico - ingegneristico (0.5 - 20Hz) previa verifica statistica condotta con i criteri SESAME.



### 3.1.3 Modalità d'Indagine

La fase di indagine ha visto l'utilizzo di un geofono triassiale GEMINI, il quale è formato da una terna di geofoni con masse oscillanti da 2Hz ed un acquirente hardware da 24bit. Tale strumento permette di registrare:

- ⇒ Dati HVSR – sismica passiva;
- ⇒ Rilievi MASW – sismica attiva.

I tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del progetto SESAME:

- ⇒ Asse Z = geofono verticale = direzione Up-Down;
- ⇒ Asse X = geofono orizzontale = direzione E – W;
- ⇒ Asse Y = geofono orizzontale = direzione N – S.

L'energizzazione necessaria per la fase di acquisizione dei dati MASW (sismica attiva) è stata eseguita con mazza battente da 8 kg, mentre i parametri della stesa sismica sono i seguenti:

Linea	Lunghezza	N° Shot	Distanza intercanale	Distanza minima canale	Tipologia di acquisizione
MASW	98m	14	6m	20m	Rayleigh (Verticale)

Il geofono è stato posizionato come visibile nella successiva figura 8, mentre il punto di energizzazione più lontano è stato posto all'estremità opposta del via.



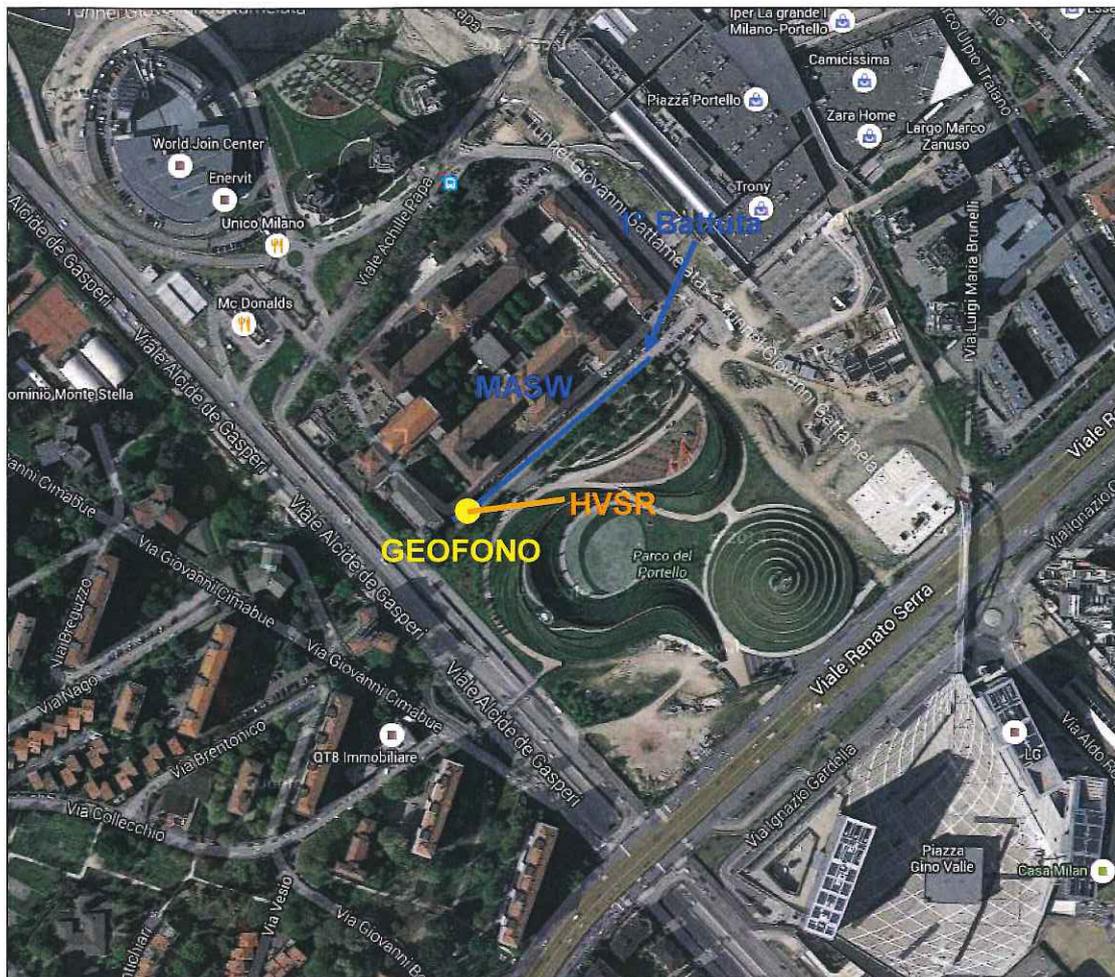


Figura 8: Ubicazione MASW e HVSR

Vista la posizione del sito all'interno della città di Milano e la natura dei terreni si è ritenuto opportuno eseguire l'indagine attiva con energizzazioni verticali con 5 stack, al fine di ridurre il più possibile il rumore di fondo di origine antropica presente durante la fase di acquisizione. Questa scelta ha comportato una predilezione per le onde di Rayleigh piuttosto che per quelle di Love.

La geometria dello stendimento è basata sulla metodologia "off-end shooting" vale a dire con le energizzazioni svolte da uno stesso lato rispetto al sistema di acquisizione.

Data la tipologia di strumentazione utilizzata (singolo geofono triassiale), gli scoppi sono stati svolti a intervalli di retrocessione regolari di 6 m, partendo dal punto più lontano (98m) fino a raggiungere l'ultima energizzazione avvenuta a 20m dal geofono.

Per quanto riguarda la prova sismica passiva "HVSR" è stata eseguita secondo quanto previsto dai criteri SESAME:



PROVA	TEMPO DI ACQUISIZIONE
HVSR	30 min

Il periodo di campionamento della prova HVSR ha raggiunto una durata di 30 minuti, con una frequenza di acquisizione pari 500Hz al fine di intercettare un più ampio *range* di "vibrazioni di sito".

Nella fase successiva all'acquisizione, i dati raccolti sono stati elaborati con il software WinMASW-3C ©, prodotto dalla società Eliosoft, il quale ha permesso di elaborare le prove MASW e HVSR mediante l'interpretazione congiunta delle curve di dispersione.

### 3.1.4 Risultati Prove Sismiche MASW e HVSR

In considerazione al contesto residenziale nella quale sono state svolte le prove sismiche MASW e HVSR, risulta normale la presenza di disturbi generati dal passaggio dei mezzi lungo la viabilità ordinaria che decorre sia in direzione S-W a circa 50m e a S-E a circa 200m rispetto all'area di studio.

I grafici di seguito riportati mostrano il rapporto: frequenza – tempo di registrazione della prova H/V e la direzionalità dei tremori di sito.

In particolare nel caso indagato ed in considerazione dell'orientamento del N dello strumento lungo la linea sismica, orientata NE-SW, è possibile osservare una direzionalità del segnale lungo una direttrice E-W coincidente con le due arterie stradali limitrofe.

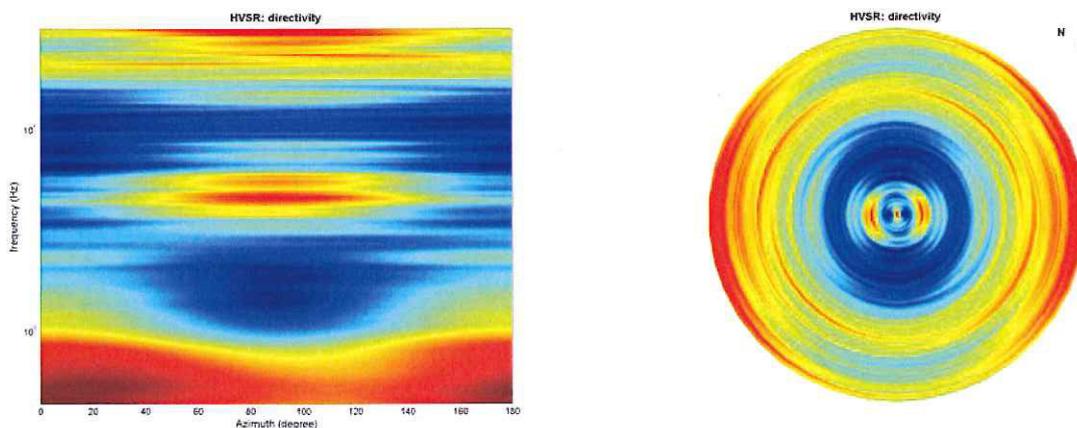
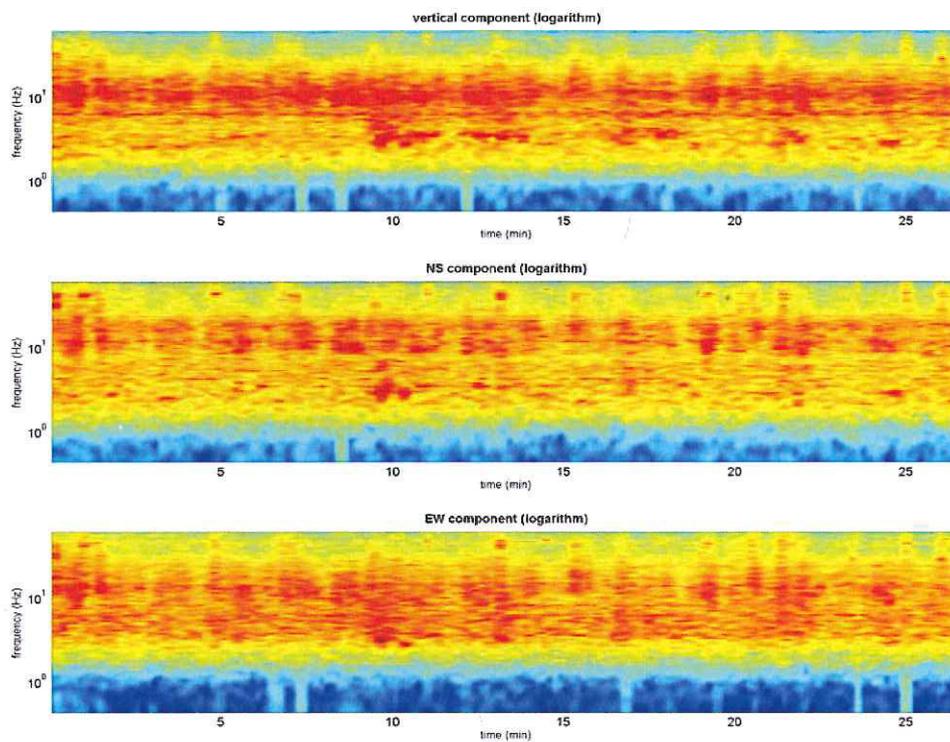


Figura 9: direzionalità del rumore sismico: "microtremori"



*Contributo geologico specialistico  
a supporto Variante PII Portello*



*Figura 10: Rapporto frequenza – tempo di registrazione della prova H/V*

Nelle successive figure vengo mostrati i risultati della prova MASW in onde di Rayleigh e l'interpretazione del rapporto spettrale della prova HVSR.



Contributo geologico specialistico  
a supporto Variante PII Portello

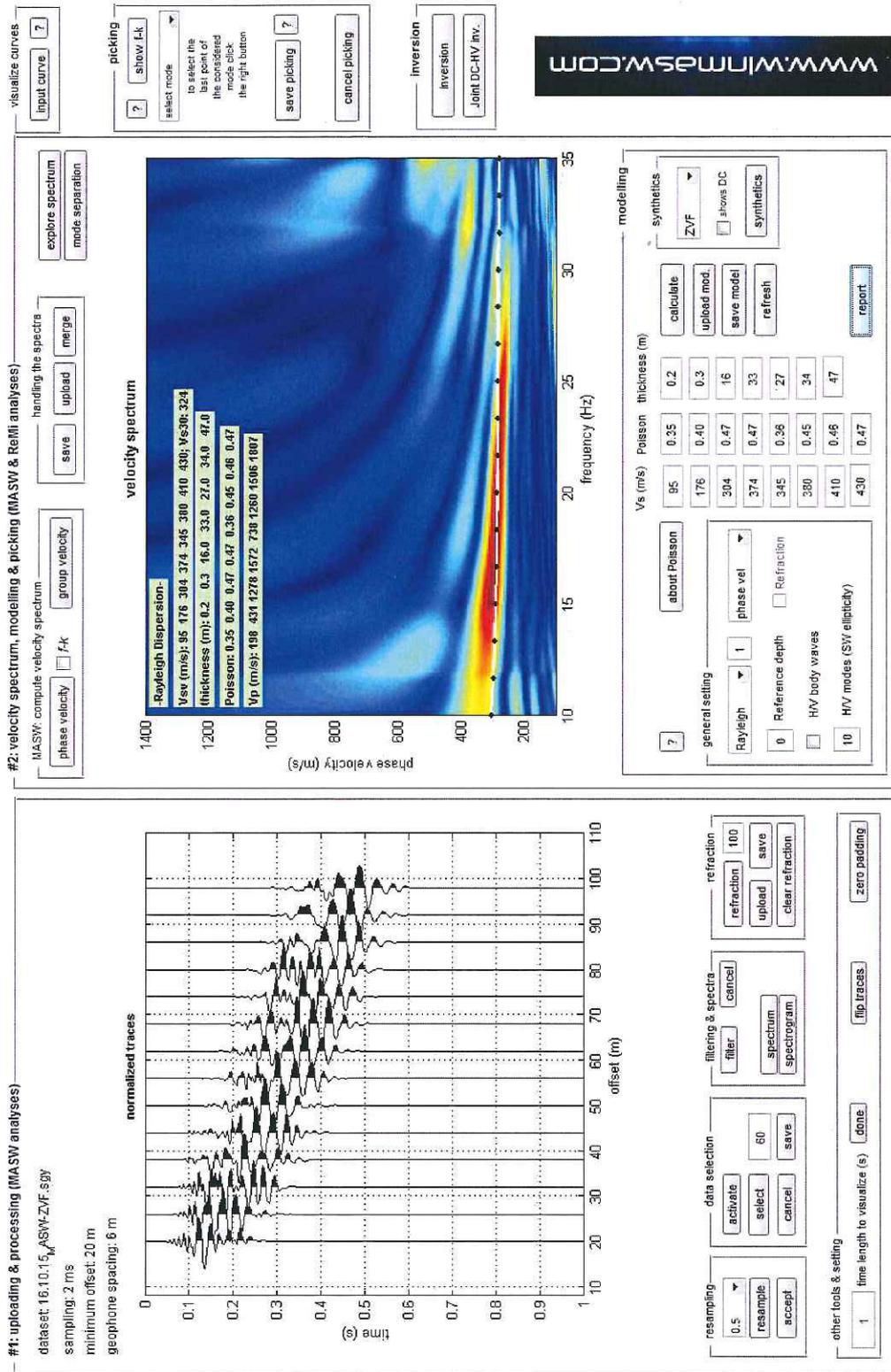
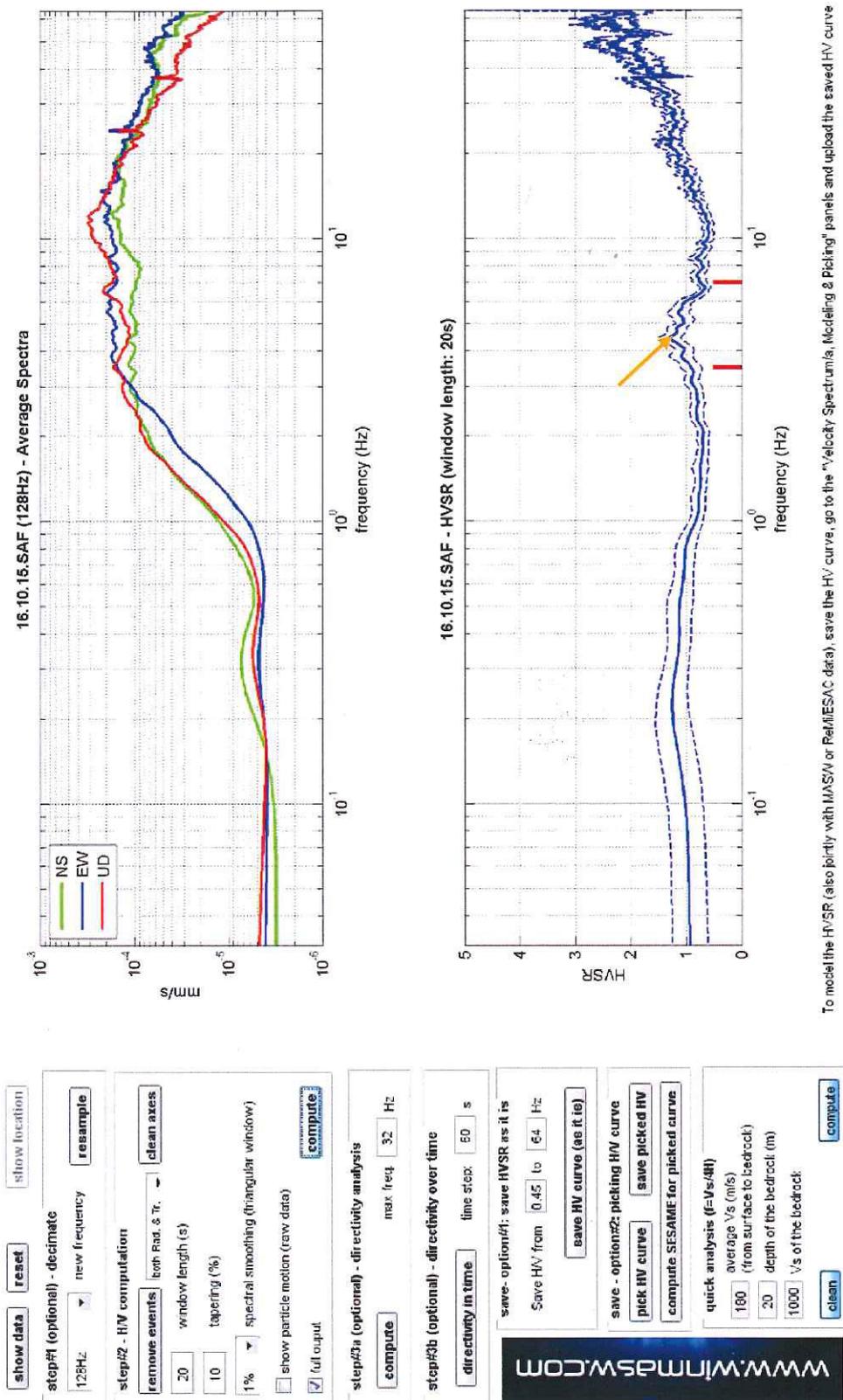


Figura 11: Interpretazione prova MASW con software Winmasw 3C ©





To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectra, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Figura 12: Interpretazione prova HVSR con software Winmasw 3C ©



Dall'analisi dello spettro della prova HVSR si evidenzia come alle frequenze di interesse litologico è presente un picco posto a 4,5Hz (Vd. freccia arancione), la cui verifica ai criteri SESAME ha fornito 6 ok su 9, tale da non poterlo considerare dal punto di vista statistico come picco di risonanza litologica, ma bensì come presunto picco di risonanza, in quanto risulta caratterizzato da un discreto rapporto H/V che nel caso in esame è pari a 1,3.

Lo schema di seguito riporta mostra l'esito dei criteri SESAME per il presunto picco di risonanza appena descritto:

<p>In the following the results considering the data in the 3.5-7.0Hz frequency range</p> <p>Peak frequency (Hz): 4.5 (<math>\pm 0.7</math>)</p> <p>Peak HVSR value: 1.3 (<math>\pm 0.2</math>)</p> <p>==== Criteria for a reliable H/V curve =====</p> <p>#1. [<math>f_0 &gt; 10/Lw</math>]: <math>4.5 &gt; 0.5</math> (OK) #2. [<math>nc &gt; 200</math>]: <math>11210 &gt; 200</math> (OK) #3. [<math>f_0 &gt; 0.5\text{Hz}</math>; <math>\sigma_A(f) &lt; 2</math> for <math>0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math>] (OK)</p> <p>==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====</p> <p>#1. [exists <math>f^-</math> in the range [<math>f_0/4, f_0</math>]   <math>AH/V(f^-) &lt; A_0/2</math>]: (NO) #2. [exists <math>f^+</math> in the range [<math>f_0, 4f_0</math>]   <math>AH/V(f^+) &lt; A_0/2</math>]: yes, at frequency 6.7Hz (OK) #3. [<math>A_0 &gt; 2</math>]: <math>1.5 &gt; 2</math> (NO) #4. [<math>f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math>]: (OK) #5. [<math>\sigma_{\text{maf}} &lt; \epsilon(f_0)</math>]: <math>0.747 &gt; 0.224</math> (NO) #6. [<math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math>]: <math>0.204 &lt; 1.58</math> (OK)</p>
---

La successiva figura 13, mostra un riepilogo dell'interpretazione congiunta MASW e HVSR e il risultato ottenuto da tale interpretazione.



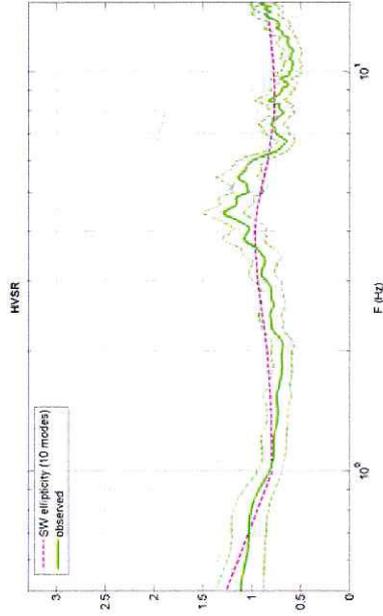
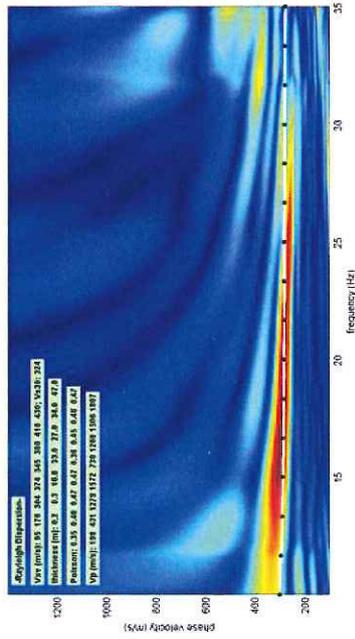
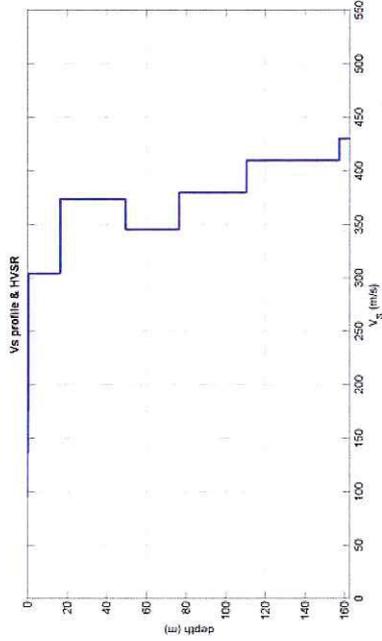


Figura 13: Interpretazione congiunta MASW e HVSR



Dall'osservazione dell'analisi congiunta della dispersione delle onde di superficie e dal rapporto H/V di Nakamura, si è potuto risalire al parametro delle Vs e di conseguenza al parametro di Vs30 (a partire dal quota del p.c.), valutato in:

$$Vs30 = 324\text{m/s}$$

Dall'osservazione del profilo delle velocità si nota la presenza di alcuni strati superficiali caratterizzati da Vs inferiori a 200m/s, attribuibili al suolo vegetale messo in posto a seguito della realizzazione del verde pubblico.

Al di sotto di tali livelli, vi è la presenza di una serie di strati aventi spessori variabile compresi tra i 16 e 47m, caratterizzati da una lieve inversione di velocità posta tra i -49,5m da p.c. e i -76,5m da p.c. attribuibile ad un livello prevalentemente argilloso-sabbioso e/o limoso.

Oltre tale livello la successione stratigrafica risulta costituita da sabbie e ghiaie sempre più consolidate con un costante e graduale miglioramento delle proprietà. Tali livelli sono caratterizzati da  $v_s > 400\text{m/s}$ .

Il modello di velocità/profondità sintetico derivante dall'interpretazione è il seguente:

Velocità (m/s)	Spessore presunto strati (m)
110	0,20
176	0,30
304	16,0
376	33,0
345	27,0
380	34,0
410	47,0
430	//

In conclusione come stabilito nel D.M. 14 gennaio 2008, il sito in esame risulta classificabile nella seguente categoria:

⇒ **Categoria C** - Depositi 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  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).



Relativamente alla prova HVSR, è possibile concludere affermando che a seguito della verifica ai criteri SESAME, è **presente una possibile frequenza di risonanza litologica attorno ai 4,5Hz.**

### 3.2 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona, possono produrre in occasione di eventi sismici effetti diversi, da tenere in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti, pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

In funzione quindi delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due tipi di effetti:

⇒ **Effetto di amplificazione sismica locale:** a sua volta composto da due tipologie di amplificazione di seguito elencate:

1. Effetti di amplificazione Topografica;
2. Effetti di amplificazione Litologica.

⇒ **Effetto di Instabilità:** interessano tutti i terreni che mostrano comportamento instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono generalmente rappresentati da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno.

Gli "**effetti di amplificazione topografica**", si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e l'iterazione fra il campo d'onda incidente e quello rifratto.

Se l'irregolarità topografica è rappresentata da un substrato completamente roccioso si avrà un'amplificazione topografica pura, mentre se sarà costituito da materiali non coerenti, l'effetto amplificatorio sarà generato dall'iterazione tra l'effetto topografico e quello litologico.



Gli “**effetti di amplificazione Litologica**” si verificano quando le condizioni locali sono caratterizzate dalla presenza di morfologie sepolte (bacini sedimentari, corpi lenticolari, gradini di faglia, ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche.

Tali condizioni consentono l'esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno causando fenomeni di risonanza e doppia risonanza tra le onde sismiche incidenti, generando diversi modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

La metodologia utilizzata per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, sono quelle proposte dalla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 – allegato 5.

L'analisi si articola su 3 livelli di approfondimento di seguito descritti:

- ⇒ Analisi 1° Livello: riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche, sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni.
- ⇒ Analisi 2° Livello: obbligatoria per i comuni ricadenti nelle zone sismiche due e tre, è caratterizzata da un'analisi semi-quantitativa degli effetti di amplificazione e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di Amplificazione ( $F_a$ ). L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale è insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale ( $F_a$  calcolato superiore a  $F_a$  di soglia comunale forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini e agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:
- Aniché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente, si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
  - Aniché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello del suolo D.
- ⇒ Analisi 3° Livello: serve a definire gli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:
- Quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche;



- Alla presenza di aree caratterizzate da effetti d'instabilità, cedimenti e/o liquefazione, nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti;
- Nel caso di sovrapposizione di più scenari sul medesimo ambito territoriale si dovrà procedere con il grado di approfondimento più cautelativo.

Gli approfondimenti di 2° e 3° livello non devono essere eseguiti in quelle aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermo restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

### 3.2.1 Analisi di 2° Livello – D.G.R. IX/2614 del 30/11/2011

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area in esame ricade nello scenario "Z4a" equivalente a "Zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi", soggette a possibili effetti di Amplificazione litologica e geometrica come riportato nella figura che segue:

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Figura 14: Scenari di pericolosità sismica locale – Allegato 5 – D.G.R. IX/2611 del 30/11/2011

Il paragrafo 1.4.4. della D.G.R. 2616 del 30/11/2011 prescrive che venga eseguita un'analisi 2° Livello secondo le linee guida riportate nell'Allegato 5 per lo scenario di PLS sopra indicato nei seguenti casi:



- ⇒ per i territori ricadenti in Zona Sismica 3 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabili;
- ⇒ per i territori ricadenti in Zona Sismica 4, solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)

Nel caso in esame è necessario quindi eseguire l'approfondimento di 2° livello previsto dall'Allegato 5 della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011

Tale analisi viene condotta con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di  $F_a$ . Il valore di  $F_a$  si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

I due intervalli nei quali " $F_a$ " sono stati valutati in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti nel territorio regionale sono in particolare:

- ⇒ L'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide;
- ⇒ L'intervallo tra 0.5-1.5 secondi si riferisce invece a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di  $F_a$  per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0.1-0.5 s.

Questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale a elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0.5-1.5s.

Il dato fondamentale per la valutazione del fattore di Amplificazione ( $F_a$ ) sono le  $V_{s30}$ , ricavate mediante l'esecuzione di prove MASW.

L'analisi MASW ha assunto particolare importanza in seguito all'Ordinanza del DPCM n. 3274/2003 e successive disposizioni, che ha imposto la classificazione del territorio italiano secondo la  $V_{s30}$ . Il sito viene classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$ , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di  $N_{SPT}$ .

La classificazione generale del tipo di suolo è la seguente:

- ⇒ A: Formazioni litoidi o terreni omogenei caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo di 5m;



- ⇒ B: Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT > 50, o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa);
- ⇒ C: Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media rigidità, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < \text{NSPT} < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa);
- ⇒ D: Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s ( $\text{NSPT} < 15$ ,  $c_u < 70$  kPa);
- ⇒ E: Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di  $V_{s30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con  $V_{s30} > 800$  m/s.

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

- ⇒ S1: Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $IP > 40$ ) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 100$  m/s ( $10 < c_u < 20$  kPa);
- ⇒ S2: Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nell'ambito del presente lavoro, al fine di calcolare il fattore di Amplificazione ( $F_a$ ) con cui verificare se la normativa vigente sia sufficiente o meno a valutare i possibili effetti di amplificazione litologica, è stato eseguito lo stendimento MASW descritto nei paragrafi precedenti (3.1).



### *3.2.1 Effetti di Amplificazione Litologica*

La procedura semplificata, richiede la conoscenza dei seguenti parametri ottenuti attraverso le linee sismiche eseguite con la metodologia MASW descritta in precedenza:

- ⇒ Litologia prevalente nel sito;
- ⇒ Stratigrafia;
- ⇒ Andamento delle  $V_s$  con la profondità fino a valori pari o superiore a 800 m/s.

La valutazione degli effetti di amplificazione litologica, è stata eseguita con l'ausilio di un foglio Excel dove è stata calcolata la  $V_{s30}$  di sito, il periodo T, la velocità dello strato equivalente (necessaria quando il primo strato ha spessore inferiore a 4,0 m).

Il risultato ottenuto viene mostrato nella figura successiva:

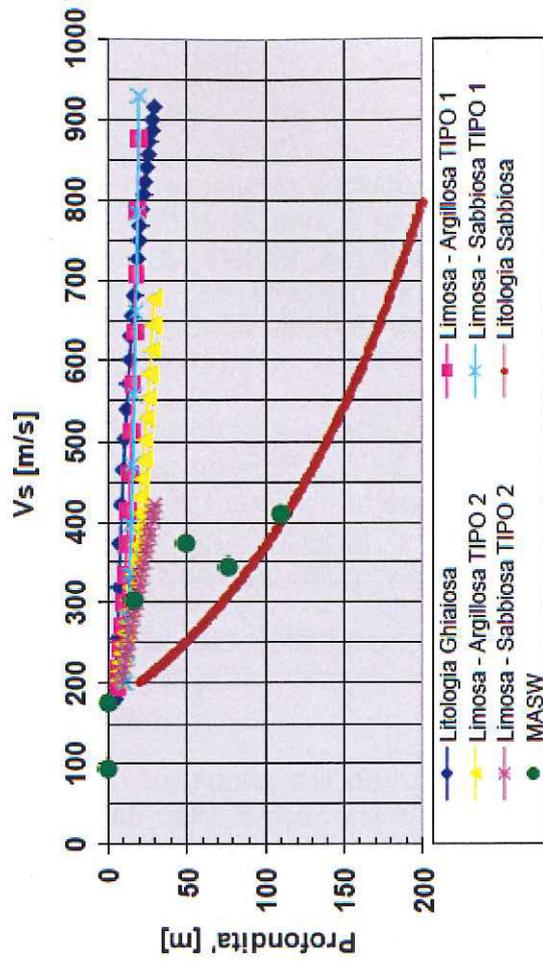


DATI GENERALI	
NOME	MASW - Via Don Luigi Palazzolo
COMMITTENTE	IPER MONTEBELLO S.P.A.
DATA ELABORAZIONE	19/10/2015
NORMATIVA	D.G.R.n.IX/2616 del 30/11/2011
COMUNE	MILANO
SCHEDA UTILIZZATA	SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA
RISULTATO PROVA SISMICA	
Profondità [m da p.c.]	$V_s$ [m/s]
0,20	95
0,50	176
16,50	304
49,50	374
76,50	345
110,50	410
210,00	800
DATI ELABORAZIONE	
$V_{s30}$ stimata [m/s]	324
Periodo Proprio del Sito	1,47
$V_s$ Strato Eq. [m/s]	299
Categoria iniziale	C
Profondità stimata bedrock [m]	210,0
SOGLIE $F_a$ 0.1-0.5	
B	D
1,4	2,2
	2,0
SOGLIE $F_a$ 0.5-1.5	
B	D
1,7	4,2
	3,1
FATTORE DI AMPLIFICAZIONE	
$F_a$ 0.1-0.5	1,00
	NORMATIVA SUFFICIENTE
$F_a$ 0.5-1.5	1,50
	NORMATIVA SUFFICIENTE

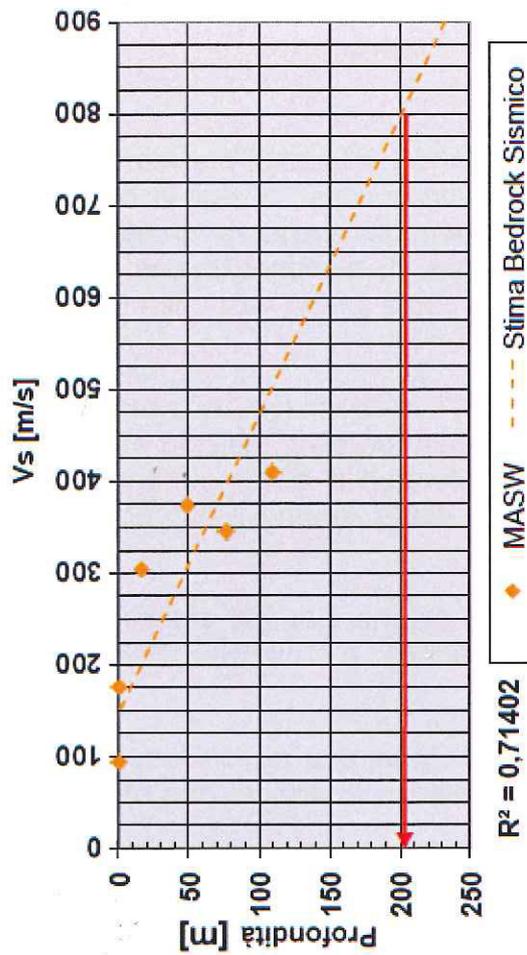
**NORMATIVA SUFFICIENTE:** a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;

**NORMATIVA NON SUFFICIENTE:** a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi in fase di progettazione sarà necessario eseguire l'analisi di 3° livello o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore. z

### CAMPO DI VALITA' SCHEDE



### STIMA BEDROCK SISMICO





L'ambito in oggetto della presente relazione, ubicato in località Portello in comune di Milano, è stato classificato come suolo di tipo "C" equivalente a depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media rigidità, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < cu < 250$  kPa).

Dall'analisi effettuata si può accertare che l'area interessata dalla P.I.I. Portello comparto U2 e U3 non supera le soglie limite previste dalla normativa vigente per i suoli di categoria C, pertanto si può affermare che la normativa nazionale è sufficiente a tenere in considerazione gli eventuali effetti di amplificazione morfologica e litologica del sito.

Si può quindi escludere la necessità di procedere per tale ambito ad ulteriori approfondimenti di 3° Livello previsti dalla sopracitata delibera regionale.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di  $V_s$ , utilizzati nella procedura di 2° livello viene assegnato per l'analisi in esame il seguente grado di attendibilità:

DATI	ATTENDIBILITA'	TIPOLOGIA	NOTE
LITOLOGICI	Bassa	Da bibliografia	Sondaggi ENI-AGIP
	Alta	Prove in sito e laboratorio	//
STRATIGRAFICI (spessori)	Bassa	Da bibliografia	//
	Media	Prove indirette	MASW in onde R e Prova HVSR
	Alta	Prove dirette	//
Geofisici ( $V_s$ )	Bassa	Da Bibliografia	//
	Media	Prove indirette – Relazioni Empiriche	//
	Alta	Prove Dirette	MASW in onde R e Prova HVSR

*Tabella 1: Tabella dei livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti – Allegato 5,  
Tab. 2 della D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/2011*



#### 4. VALUTAZIONE DELLE INTERAZIONI INDOTTE DALLA VARIANTE AL P.I.I PORTELLO CON SUOLO, SOTTOSUOLO ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

Come prescritto nel paragrafo dalle norme geologiche di Piano del PGT del Comune di Milano (par. 7.2. "Indagini ed approfondimenti geologici - Criteri generali") di seguito vengono valutate le possibili interazioni indotte dalla variante al PII Portello proposta con gli elementi geologici, idrogeologici e idrografici descritti nei precedenti paragrafi.

In particolare vengono valutati i seguenti aspetti:

- ⇒ Interazioni tra la variante al Piano Attuativo del PII Portello e l'assetto geologico-geomorfologico e l'eventuale rischio idraulico;
- ⇒ Interazioni tra il piano attuativo e il regime delle acque superficiali;
- ⇒ Fabbisogni e smaltimenti delle acque.

Quanto segue tiene conto dei contenuti riportati nello Studio di Impatto Ambientale relativo al PII Portello redatto nel settembre 2000 e di quelli riportati nel Rapporto preliminare ambientale relativo alla Verifica di assoggettabilità alla valutazione ambientale strategica relativo alla variante del PII Portello redatto nel Giugno 2015.

##### 4.1 INTERAZIONI CON ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Gli aspetti geologici e geomorfologici che caratterizzano l'area del PII Portello sono stati descritti nei paragrafi 2.2 e 2.3 della presente relazione.

In particolare l'area in esame, ubicata nel settore nord-ovest della Città Metropolitana di Milano, risulta caratterizzata superficialmente da un'unica Unità stratigrafica conosciuta come: "Livello fondamentale della Pianura Padana", che è costituita prevalentemente da ghiaia e sabbia di recente deposizione e presenta uno spessore di diverse decine di metri, e non presenta elementi geomorfologico significativi.

Lo Studio di Impatto Ambientale redatto nel 2000 a supporto del PII Portello non evidenziava impatti significativi su tali componenti ambientali indotte dall'esecuzione e dall'esercizio del progetto Portello, anzi sottolineava che la sua realizzazione permetteva significativi interventi di bonifica ambientale di tali matrici ambientali dalle contaminazioni indotte dai precedenti utilizzi delle aree.



In tale quadro si prevede che gli interventi previsti dalla Variante al PII Portello in programma non comportino alcuna variazione rispetto agli impatti stimati in sede di pianificazione originaria dell'intervento.

Difatti la Variante in programma non prevede l'esecuzione di piani interrati e scavi che interessino la matrice suolo e sottosuolo e le funzioni previste non comportano potenziali fonti di contaminazione dei terreni.

Si ritiene invece che l'ampliamento dell'area a parco prevista nel settore U2D comporti un effetto positivo su tale matrice ambientale, ricostituendo l'assetto naturale del suolo-sottosuolo in tale ambito.

#### **4.2 INTERAZIONI CON L'ASSETTO IDROGEOLOGICO**

Tutti gli interventi previsti dalla Variante al PII Portello non interferiranno in alcun modo con la falda freatica presente nel sottosuolo dell'area in esame.

Non sono difatti previsti interventi che possano raggiungere o alterare la struttura della falda freatica, né si prevede che le funzioni previste dalla Variante possano comportare una potenziale fonte di alterazione dell'assetto qualitativo delle acque sotterranee.

Anche in questo caso quindi si può concludere che la Variante al PII Portello in programma non comporterà interazioni di nessun tipo con tale matrice ambientale.

#### **4.3 INTERAZIONI CON L'IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

Come descritto nel paragrafo 2.4 della presente relazione e da come si evince dallo Studio di Impatto Ambientale del giugno 2000, l'ambito in oggetto risulta attraversato nella sua porzione settentrionale dal torrente Pudiga, che scorre completamente tombinato in direzione NE-SW.

Nell'area di studio il torrente scorre in una galleria sottostante via Achille Papa e ha come recapito finale il tratto urbano del fiume Olona che decorre poco più a nord di piazza Stuparich a circa 300m verso ovest dall'area del P.I.I. comparto U2 e U3.

Gli interventi sul corso del torrente Pudiga finalizzati alla realizzazione del tratto interrato di via Gattamelata sono stati analizzati nello Studio di Impatto Ambientale relativo al Progetto Portello e le interazioni e i potenziali impatti indotti su tale elemento idrografico valutati in tale sede.



Gli interventi previsti dalla Variante al PII Portello non comportano invece alcuna interazione con l'idrografia superficiale, né sono ipotizzabili possibili fonti di alterazione delle acque superficiali da parte delle funzioni previste.

Anche in questo caso quindi si può concludere che la Variante al PII Portello non comporterà interazioni di nessun tipo con tale matrice ambientale.

#### **4.4 FABBISOGNI E SMALTIMENTO ACQUE**

La Variante al PII Portello prevede esclusivamente il trasferimento di quote di slp (con minimo incremento) già considerate in sede progetto generale e valutate in sede di Studio di Impatto Ambientale redatto nel giugno 2000.

Tale trasferimento non comporta significative variazioni al regime di fabbisogni idrici e scarichi delle acque.

Difatti la Variante al PII Portello non determina un aumento della superficie impermeabile nel comparto U3 dove gli interventi previsti interessano aree già impermeabilizzate, mentre l'ampliamento del parco nel settore U2D comporta un aumento della superficie filtrante con riduzione del carico delle portate meteoriche gravanti sul collettore fognario.

Le reti acquedottistiche e fognarie sono comunque ampiamente in grado di sostenere le minime variazioni indotte dalla Variante al PII Portello rispetto a quelle previste dal progetto originario.

