

Dott. geol. Rosario Spagnolo
GEOLOGIA TECNICA-IDROGEOLOGIA
V. Stradella, 35 – Bigarello (MN) 46030
Tel & Fax 0376.262759 - 338.2949637
E-mail: ro.spagnolo@tiscali.it
P.IVA 01919730208

PROVINCIA DI MANTOVA

COMUNE DI MANTOVA

**STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO
GEOTECNICO E SISMICO RELATIVO AL PIANO
DI LOTTIZZAZIONE DENOMINATO “DEI
QUARANTA” IN CASTELLETTO BORGO**

(L.R. 11 MARZO 2005 – N° 12 - D.M. 14 GENNAIO 2008)

Committente:

Marchini Bruno & Bidoli Remo s.n.c.

Sig. Savasi Benito

IL TECNICO

Dott. geol. Rosario Spagnolo

Bigarello, Luglio 2011

INDICE DEI CAPITOLI

1	PREMESSA	1
2	UBICAZIONE GEOGRAFICA	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
4	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	5
5	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	6
6	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	7
7	PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'	8
8	VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO	9
9	METODOLOGIA DI INDAGINE	14
10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
11	RISCHIO SISMICO	16
12	AZIONE SISMICA.....	19
12 .1	INDAGINI GEOGNOSTICHE	20
12.3	STRUMENTAZIONE.....	22
12.4	ELABORAZIONE.....	23
13	CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE.....	25
	Analisi di primo livello	27
14	CONSIDERAZIONI FINALI E PRESCRIZIONI	28

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1: Inquadramento territoriale	scala 1:10.000
Fig.2: Estratto di mappa con localizzazione dei sondaggi geognostici	
Tav.1: Carta della litologia di superficie	scala 1:5.000
Tav.2: Carta idrogeologica	scala 1:5.000
Tav.3: Carta della vulnerabilità idrogeologica	scala 1:5.000
Tav. 4: Carta della pericolosità sismica locale	scala 1:5.000

INDICE DELLE TABELLE

1 PREMESSA

Il presente studio, commissionato dai Sig.ri Marchini Bruno e Bidoli Remo, è finalizzato alla prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico e nella individuazione di eventuali prescrizioni di natura geologico-applicativa, da valutare in fase di pianificazione territoriale, per la nuova area a destinazione residenziale.

L'indagine geognostica si propone, pertanto, d'inquadrare gli aspetti di carattere geologico, illustrare i principali lineamenti geomorfologici, idrogeologici, sismici e geotecnica, consentire una visualizzazione sufficientemente completa delle attuali condizioni di assetto del territorio e fornire, in particolare, tutte le informazioni utili per una corretta impostazione delle problematiche legate all'area di indagine.

Lo studio è stato effettuato tanto attraverso ricerche bibliografiche quanto a mezzo di osservazioni sull'intera superficie di lottizzazione; sono stati affrontati i tematismi tipici degli studi geologici del territorio con particolare attenzione alla situazione di fatto.

Le prove penetrometriche statiche (C.P.T.) hanno consentito di caratterizzare geotecnicamente, al fine di definire la vocazione d'uso, i terreni della futura lottizzazione, mentre la prova geofisica (masw) ha consentito di determinare la categoria di suolo di fondazione.

Vengono di seguito richiamate le leggi a cui si è fatto riferimento:

- L.R. 11 marzo 2005 n° 12 – Legge per il governo del territorio;

- L.R. 41/97 - “Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti”;
- D.G.R. 29 ottobre 2001 – n° 7/6645;
- D.M. 11.03.1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate.....”;
- piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI), adottato con deliberazione n° 18/01 del Comitato Istituzionale ed approvato con D.P.C.M..
- D.G.R. 25/01/02 – n° 7/7868. Determinazione del reticolo idrico principale. Trasferimento delle funzioni relative alla polizia idraulica concernenti il reticolo minore;
- O.P.C.M. 20 Marzo 2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- L. n. 183/1989 – Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo; istituzione delle Autorità di Bacino per la redazione dei Piani di bacino idrografico;
- D.lgs. n° 152/99 (T.U. Ronchi sulla tutela delle acque dall’inquinamento) e successive modificazioni;
- D.lgs. n° 152/06 – Norme in materia Ambientale;
- L. n° 431/85 (Legge Galasso);

- ▣ R.D. n° 523/1904 (fascia di rispetto dei corsi d'acqua secondari).

2 UBICAZIONE GEOGRAFICA

Il territorio studiato ha una superficie catastale di 49.966,10 m² e si colloca a completamento dell'abitato di Castelletto Borgo.

L'area di indagine è cartografata nella sezione E7e5 "Mantova" della Carta Tecnica Regionale alla scala 1: 10.000 ed è censita al N.C.T. del comune censuario di Mantova al Foglio 76 – Mappali 21 – 141 – 144 – 145 – 147 – 148 – 306 – 374 – 378 – 381 – 383 – 384 – 507 – 508 – 509 – 510.

La superficie studiata presenta una morfologia pianeggiante; il territorio circostante si caratterizza per la presenza di colture da seminativi, la quota altimetrica della zona è di circa 21.5 m s.l.m..

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le vicende geologiche del territorio di Castelletto Borgo sono strettamente legate alla genesi e successiva evoluzione della pianura Padana, di cui fa parte.

L'evoluzione geologica della porzione di Pianura Padana qui in esame è collegata allo sviluppo delle Avanfosse Alpina ed Appenninica. Questo grande bacino, che durante il Pliocene e parte del Pleistocene risulta corrispondere ad un golfo occupato da acque marine, caratterizzato da successive ingressioni e regressioni, presenta un profilo asimmetrico con uno spessore dei sedimenti che supera i 7.000 m.

Nel corso del Pleistocene il bacino appare colmato da depositi fluvioglaciali e fluviali che hanno prodotto un'accentuata subsidenza; lo spessore dei depositi raggiunge i 1500 m. nella media Pianura.

Il passaggio dall'ambiente marino, lagunare e poi continentale, viene evidenziato dall'interfaccia tra le acque salate e le acque dolci che si rinviene ad una profondità compresa tra i 300 e i 400 m.

Dall'inizio del Pleistocene la Pianura Padana emerge dalle acque marine ed inizia a subire le evoluzioni morfodinamiche di tipo continentale; i fenomeni legati agli eventi climatici hanno impresso il segno più evidente sul terreno.

Vengono riconosciuti cinque periodi glaciali: Donau, Gunz, Mindel, Riss e Würm che hanno avuto fine all'inizio dell'Olocene.

Durante i periodi glaciali e interglaciali si sono avuti processi fisico-chimici che hanno rimodellato l'opera geomorfologica operata dai ghiacciai.

Nella fase postglaciale i depositi fluvioglaciali e fluviali riempiono le aree esterne agli apparati morenici.

Le perforazioni eseguite dall'Agip hanno permesso di suddividere le litostratigrafie in due complessi: uno inferiore (pliocene-pleistocene) costituito da sedimenti marini, e l'altro superiore, caratterizzato da sedimenti continentali (Pleistocenici-Olocenici), depositati dalle alluvioni dei fiumi.

Nel settore settentrionale della provincia di Mantova è individuata l'Unità geologica dell'Alta Pianura: essa è caratterizzata da terreni prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, depositati dagli scaricatori fluvioglaciali immediatamente a valle del fronte morenico.

Più a sud, in corrispondenza dell'area oggetto di studio, a tali depositi succedono materiali più fini (limi e argille), accumulati dai corsi d'acqua della Media Pianura.

4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il territorio comunale appartiene al settore centrale della Pianura mantovana.

La genesi di questo settore di pianura è riconducibile alla deposizione di alluvioni pleistoceniche ed oloceniche da parte dei corsi d'acqua che, nel tempo, hanno modellato, con le divagazioni, l'intero territorio comunale.

La quota del lotto varia da un minimo di 21 m s.l.m. a un massimo di 22 m s.l.m., con una debole pendenza dell'1 ‰, da nord-ovest verso sud-est.

L'assetto altimetrico del territorio appare abbastanza monotono e le discontinuità morfologiche più importanti sono rappresentate dalle depressioni entro cui scorrono gli elementi del reticolo idrografico superficiale.

I dintorni del sito in progetto denotano una prevalente vocazione agricola, anche se non mancano insediamenti artigianali ed industriali, in vicinanza del sito in esame, il territorio non presenta evidenze di particolare pregio naturalistico: in campagna si coltivano prevalentemente seminativi (mais, riso, grano) e foraggiere.

Gli interventi antropici sul territorio sono finalizzati essenzialmente al controllo delle acque superficiali e alla sistemazione agraria dei terreni in funzione soprattutto delle coltivazioni specializzate.

5 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

Le informazioni sulla litologia di superficie sono state effettuate direttamente sul terreno con stime granulometriche sui terreni prelevati, ad una profondità variabile tra i 80 ed i 100 centimetri dal piano campagna e comunque sempre al di sotto del primo orizzonte interessato dalle lavorazioni agricole.

I terreni della zona indagata sono quelli della piana alluvionale (depositi fluvioglaciali ricoperti da sedimenti più recenti di origine alluvionale), delle aree ondulate (legate all'azione erosiva del paleo-reticolo idrografico, caratterizzata da depositi fluvioglaciali prevalentemente fini e calcarei), delle aree incise (paleoalvei sovradimensionati rispetto ai corsi d'acqua attuali, formati da depositi alluvionali recenti, poco evoluti) e delle aree che occupano il basso del corso dei fiumi tra le scarpate e gli argini artificiali, comprendenti le aree palustri bonificate.

In particolare, nell'area di studio, sono stati intercettati depositi a matrice prevalentemente fine (limo, limo-argilloso e sabbie fine), caratterizzati da un drenaggio superficiale da lento a molto lento.

Altri orizzonti di depositi sabbiosi, caratterizzati da un drenaggio veloce, sono stati individuati alla profondità di 20m dal piano campagna (a volte questi depositi permeabili sono coperti da uno spessore mai superiore al 5 m di materiale impermeabile (limi argillosi).

Ai materiali limosi risultano frammiste frazioni argillose ed in secondo luogo sabbie fini (tav.1).

6 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'indagine idrogeologica ha tenuto conto della bibliografia disponibile, dei dati relativi alle colonne stratigrafiche e dei livelli dei pozzi più prossimi all'area di studio.

Come risulta evidente dall'analisi delle fonti di letteratura e dai rilievi diretti eseguito in sito, si può affermare che la prima falda (che rappresenta l'orizzonte acquifero interessante il letto dei profili coinvolti dal presente studio) è, contenuta nell'orizzonte di sabbie medio-fini.

Altre fonti di letteratura (Falde Acquifere della Provincia di Mantova) confermano la presenza nell'area in esame di una prima falda (A) è di tipo semiconfinato per la presenza di una copertura limosa-argillosa, la cui potenza media di una decina di metri raggiunge, in taluni casi, i 15 m; detta coltre è certamente in grado di proteggere le acque sotterranee da potenziali fenomeni di inquinamento.

Queste costituiscono il tetto di una seconda falda, di tipo confinato, che ha sede in un livello di sabbie fini e medie di colore per lo più chiaro. Lo spessore di questo acquifero aumenta sensibilmente procedendo da N verso S; nello stesso senso si manifesta, inoltre, un aumento della granulometria dei depositi con passaggio delle sabbie fini e medie a quelle medio-grossolane.

Sulla base delle correlazioni delle stratigrafie è possibile osservare nel sottosuolo indagato la presenza di un tipico acquifero compartimentato, di tipo multi-strato, contraddistinto dalla presenza di alternanze di orizzonti sabbiosi a permeabilità media e di livelli a prevalente componente argillosa-limosa dotati di ampia estensione areale.

L'assetto piezometrico locale del primo acquifero (desunto da misure effettuate su pozzi con profondità inferiore a 100 m) è contraddistinto da un senso di deflusso verso il settore meridionale.

La piezometria riportata si riferisce al massimo piezometrico annuo del 1990 (dicembre), desunto dal Modello Idrodinamico allegato al PRRA della Provincia di Mantova. Il campo di moto degli acquiferi presenti nelle zone indagate è diretto da N a S.

Le isopieze variano da 20 metri s.l.m. a nord a 19 metri s.l.m. a sud dell'area indagata.

La variazione annua del livello piezometrico è da mettere in relazione alle acque di irrigazione nel periodo aprile - settembre. Le isopieze vengono riferite al periodo di massima escursione e presentano equidistanza di un metro. La soggiacenza della falda varia da 1.5 a 2.5 m, in relazione alle oscillazioni della falda superficiale (Tav. n°2).

7 PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

Lo studio geologico, realizzato a supporto della variante generale al Piano Regolatore, inserisce l'area in esame nella seconda classe di fattibilità (2°a), la zona presenta delle ridotte condizioni di modifica delle destinazioni d'uso dei terreni; lo studio prevede approfondimenti di carattere geologico-idrogeologico e geotecnico, per la verifica sia della falda che delle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi.

L'intervento previsto si inseriscono in modo armonico nel contesto ambientale e nel rispetto degli elementi geomorfologici.

8 VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO

La vulnerabilità idrogeologica concerne la possibilità che le acque di falda possono essere più o meno esposte al rischio d'inquinamento idrico. Esso viene definito come "l'impatto di qualunque attività antropica, volontaria o accidentale, che comporti uno sversamento, in uno o più dei sottosistemi componenti il sistema ambiente, di sostanze tali da causare una variazione negativa di tipo chimico e/o fisico della qualità naturale delle acque, tale da mettere in pericolo la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi".

La metodologia fa riferimento in parte a quella sperimentata e proposta da vari Autori, in parte segue una elaborazione originale in relazione ai dati a disposizione e alla realtà territoriale.

Si è considerato soprattutto quanto proposto nella metodologia CNR-GNDCI e nelle successive modifiche e integrazioni della stessa, proposte da vari enti e ricercatori sia per scopi generali, sia negli ultimi anni, in particolare per lo studio della vulnerabilità da nitrati delle falde, come richiesto dal Dlgs. 152/06. Si è anche considerato quanto messo a punto, sempre dalla linea di ricerca CNR-GNDCI, cioè il metodo Sintacs, metodo parametrico di valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, basato su sette fattori di vulnerabilità.

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque di falda, che dipende dalle caratteristiche naturali, climatiche, pedologiche e idrogeologiche del sistema, tutte le metodologie si basano sull'esame e la sovrapposizione di alcune informazioni tematiche, più o meno approfondite e quantificate, riferite sostanzialmente:

- alle caratteristiche del suolo e la sua capacità di attenuazione della vulnerabilità;

- alle caratteristiche dello strato insaturo, sovrastante la falda, e alla sua capacità di trasmettere gli inquinanti alla falda;
- alle caratteristiche idrogeologiche e alla profondità delle falde idriche.

La vulnerabilità degli acquiferi non dipende solo dai parametri naturali, ma anche dalle pressioni a cui l'ambiente è sottoposto, sotto forma di centri di pericolo e fonti di inquinamento.

Nel caso in esame si è adottata una metodologia di valutazione della vulnerabilità complessiva, basata su più stadi di elaborazione e tematismi.

La vulnerabilità quindi rappresenta il grado di protezione degli acquiferi sottostanti il territorio più o meno antropizzato, ed indica la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un inquinante idroveicolato. Essa dipende dalle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero e dalla litologia del terreno non saturo soprastante.

I fattori presi in considerazione per la valutazione della vulnerabilità sono:

- o tipo e grado di permeabilità dei depositi;
- o tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità;
- o presenza di livelli ghiaiosi sotterranei;
- o soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero;
- o condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleoalvei o di terrazzi fluviali.

I parametri che invece caratterizzano le sostanze inquinanti, e quindi la loro possibilità a spostarsi nelle acque sotterranee e a determinarne il potenziale d'impatto, sono:

- la **densità** (massa dell'unità di volume): pertanto a maggiore densità si ha maggiore spostamento verso il basso;
- **viscosità** (resistenza al moto o attrito interno di un fluido): a maggiore viscosità corrisponde maggiore lentezza negli spostamenti orizzontali e verticali;
- **conducibilità idraulica**, proprietà legata alle due precedenti oltre che alla permeabilità dell'acquifero;
- **solubilità** (massa della sostanza che si dissolve per unità di volume di solvente): quindi a maggior solubilità si ha minor concentrazione dell'inquinante nell'acqua, ma anche maggior dispersione dello stesso;
- **volatilità** (proprietà delle sostanze a passare allo stato di vapore): a maggiore volatilità si ha maggior dispersione della sostanza e quindi una minor persistenza;

persistenza, essa è una caratteristica di comportamento che dipende dalla tipologia della sostanza e dalle interazione che essa ha con l'ambiente. Definisce il tempo di durata che una sostanza mantiene fino alla sua eliminazione dalla corpo idrico. Con il primo approfondimento si è preso in considerazione l'effetto protezione e attenuazione dell'inquinamento offerto dalla presenza dei vari tipi di suoli e dalle loro caratteristiche fisico-chimiche.

Infine, vengono considerati i fattori antropici poichè rappresentano elemento di rischio, quali:

- ◆ impianti zootecnici e trattamento con fitofarmaci in aree agricole;
- ◆ aree artigianali, cimiteri, reti fognarie e discariche;

◆ attività estrattiva di inerti.

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero è, come abbiamo visto, legata all'interazione tra i fattori fisici dell'acquifero e quelli della sostanza inquinante, fattori che insieme danno luogo a tre principali processi che si producono all'interno del sistema/sottosuolo e che sono:

- lo spostamento della sostanza inquinante (fluida o solida e idroportata) attraverso lo strato insaturo, fino a raggiungere la superficie freatica sottostante;
- la dinamica del flusso sotterraneo della falda e dell'inquinante attraverso lo strato saturo;
- la concentrazione residua di un inquinante fluido o idroportato nel suo viaggio dalla sua partenza al suo arrivo nello strato saturo.

La capacità del sistema suolo-sottosuolo-acquifero di attenuare l'impatto determinato dall'inquinante, caratterizza il grado di vulnerabilità ed è direttamente proporzionale alla lunghezza del percorso che l'inquinante compie per giungere allo strato saturo ed inversamente proporzionale alla velocità di filtrazione e alla dispersione cinematica che sono invece tipiche del mezzo. Durante il percorso dell'inquinante concorrono alla mitigazione dell'impatto la tipologia dell'insaturo, le interazioni molecolari dell'inquinante con l'ambiente, la diluizione eventuale che viene a determinarsi, ad esempio nel caso di abbondanti piogge.

La complessità e la variabilità dei vari parametri da prendere in considerazione, ha determinato la genesi di una miriade di metodi di valutazione della vulnerabilità, tutti finalizzati a descrivere in un qualsiasi scenario fisiografico, nel modo più semplice e oggettivo possibile, una zonizzazione per aree omogenee della vulnerabilità degli acquiferi dall'inquinamento.

Il principio su cui si basano tutti i metodi esistenti è quello di dare

una valutazione ai diversi tipi di parametri presi in considerazione, valutazione che non può che essere arbitraria, con la quale si attribuiscono dei punteggi relativi alla funzione che il parametro assunto svolge nel contesto indagato.

L'assunzione dei parametri è pertanto legata alla possibilità di reperire gli stessi: in modo empirico, da fonti bibliografiche, tramite prove dirette di vario genere (carotaggi, prove di portata, piezometrie, granulometrie, prove di laboratorio ecc.). Sembrerebbe quindi che più parametri si utilizzano più ci si approssima ad un modello teorico vicino alla situazione reale. In realtà ciò vale per aree ristrette, ove la manipolazione di molti dati così complessi garantisce in effetti un risultato in sintonia con la mole di lavoro svolto. Per aree più estese, la comparazione dei diversi metodi su una stessa area campione, con l'utilizzo degli stessi dati, ha suggerito ai ricercatori che metodi relativamente semplici danno risultati analoghi a metodi di più complessa applicazione.

La scelta del metodo è inoltre condizionata anche dalla possibilità di reperire in modo omogeneo su un territorio i valori necessari alla parametrizzazione. Quindi è inutile utilizzare un metodo complesso quando i valori necessari alla sua applicazione non coprono l'intero territorio d'indagine.

In tale metodo i fondamentali fattori presi in considerazione, che controllano la vulnerabilità sono:

- **l'accessibilità idraulica**, intesa come l'effettiva possibilità che un inquinante idroportato abbia per giungere nello strato saturo;
- **la capacità di attenuazione** dell'insaturo, ossia l'insieme dei processi che portano a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Questi fattori si esplicano nella valutazione della vulnerabilità intrinseca tramite i seguenti parametri d'ingresso;

- tipo di acquifero (falda libera, confinata, semiconfinata...);
- litologia e grado di consolidazione dell'insaturo;
- soggiacenza.

Dalla elaborazione di tutti i fattori elencati l'area presenta una vulnerabilità medio-bassa (tav.3).

9 METODOLOGIA DI INDAGINE

L'attrezzatura impiegata per le prove (C.P.T.) è costituita da un penetrometro statico autoancorante, con anello allargatore, tipo Gouda caratterizzato da una spinta nominale massima di 20 ton.

L'ancoraggio del penetrometro avviene a mezzo di una coppia di eliche.

I componenti sono rigorosamente conformi alle norme geotecniche in materia:

- spinta di 200 KN;
- punta meccanica tipo Begemann con rilevamento dei valori di q_c (resistenza specifica alla punta) e f_s (resistenza laterale sul manicotto)

I dati tecnici del penetrometro sono così riassumibili:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| ➤ diametro delle aste | 35.7 mm |
| ➤ area punta conica | 10 cm ² |
| ➤ superficie laterale del manicotto | 150 cm ² |

La prova consiste nel misurare la resistenza alla punta e quella laterale in modo continuo. La penetrazione avviene per profondità corrispondenti alla lunghezza di ciascuna asta di spinta (1 metro) e avviene senza soluzione di continuità a velocità costante pari a 20 mm/s; le misure vengono fatte per intervalli di 20 cm.

L'interpretazione litologica dei terreni attraversati viene generalmente eseguita utilizzando sistemi di classificazione basati sulle relazioni esistenti tra la resistenza alla punta Q_c ed il fricton ratio $R_f = Q_c / R_f \times 100$ (Begemann 1965, Schemertmann 1978).

10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei risultati delle prove di carattere geotecnico (prove penetrometriche statiche) che hanno interessato i terreni che costituiscono il substrato di imposta dell'area di edificazione, è possibile associare la seguente caratterizzazione geotecnica alle litozone individuate.

ORIZZONTE LIMOSO

Lo spessore netto degli orizzonti limo-argillosi costituenti questa litozona varia tra 0.6 e 3.50 m circa; la base si localizza a quote assolute comprese tra 0.4 e 0.6 m s.l.m. circa.

I parametri geotecnici più significativi presentano i seguenti range medi di variabilità:

$$\gamma_n \text{ (peso di volume naturale)} = 0.96 \div 1.85 \text{ t/m}^3$$

$$c_u \text{ (coesione non drenata)} = 0.6 \div 0.85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_u \text{ (modulo di deformazione non drenato)} = 80 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R_p \text{ (resistenza penetrometrica di punta)} = 8 \div 25 \text{ Kg/cm}^2$$

ORIZZONTE ARGILLOSO

Nell'area in esame sono state rilevate, nelle tre prove, spessori medi di 2 metri.

I parametri geotecnici che caratterizzano la litozona sono:

$$\gamma_n \text{ (peso di volume naturale)} = 0.9 \div 1 \text{ t/m}^3$$

$$c_u \text{ (coesione non drenata)} = 0.45 \div 0.65 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E \text{ (modulo di deformazione drenato)} = 50 \div 80 \text{ Kg/cm}^2$$

$$R_p \text{ (resistenza penetrometrica di punta)} = 8 \div 20 \text{ Kg/cm}^2.$$

11 RISCHIO SISMICO

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, entrata in vigore il 23/10/2005 contestualmente al Decreto Ministeriale 14/09/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", individuava in prima applicazione le zone sismiche del territorio nazionale.

La Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7/11/2003, ha preso atto e confermato la classificazione fornita dalla suddetta ordinanza; successivamente, con D.d.u.o. n. 19904 del 21/11/2003 ha stabilito l'elenco degli edifici e opere infrastrutturali e il programma delle verifiche di cui all'art. 2 dell'O.P.C.M. n. 3274.

In tale contesto il territorio del comune di Mantova è stato classificato in zona 4, indicando pertanto condizioni di "sismicità bassa" ($S = 6$).

Con il termine rischio sismico vengono identificati e valutati gli effetti prodotti da un terremoto. I fattori che intervengono nella definizione di tali danni sono:

- la pericolosità sismica di base e locale intesa come la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito, è legata alle caratteristiche sismotettoniche, alle modalità di rilascio dell'energia alla sorgente, al percorso di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e alla loro interazione con la geologia e geomorfologia;
- la vulnerabilità sismica intesa come la propensione di un edificio a subire un danneggiamento a seguito di un evento sismico, è legata alle caratteristiche costruttive dell'edificio stesso.

La normativa sismica (O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.03 e successive modifiche) consente di valutare l'azione sismica, da assumere a base della progettazione, tenendo conto dell'accelerazione massima stimata per il territorio in esame (scuotimento al basamento) e delle caratteristiche geologiche locali (amplificazione dovuta alla stratigrafia) l'azione sismica viene stimata sulla base di due parametri principali:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio (a_g/g);
- fattore di stratificazione del suolo di fondazione (S).

L'accelerazione orizzontale di ancoraggio viene determinata sulla base della classificazione del terreno e può assumere quattro valori funzionali della zona sismica:

Zona Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)
Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)

1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Il parametro S dipende invece dalle caratteristiche del suolo di fondazione secondo le seguenti caratteristiche.

- A Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi (V_{s30} superiori a 800 m/s con coltri di alterazione di spessore non superiore a 5 m).
- B depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti ($360 \text{ m/s} < V_{s30} < 800 \text{ m/s}$ con spessori di diverse decine di metri – $N_{spt} > 50$ o coesione non drenata $c_u > 250 \text{ KPa}$).

- C depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza ($180 \text{ m/s} < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$ con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri - $15 < N_{\text{spt}} < 50$ o coesione non drenata $70 < c_u < 250$ KPa).
- D depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti ($V_{s30} < 180 \text{ m/s} - N_{\text{spt}} < 15$ o coesione non drenata $c_u < 70$ KPa).
- E profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali (V_{s30} simili ai tipi C e D e con spessori compresi tra 5 e 20 metri giacenti su un substrato più rigido con V_{s30} superiori a 800 m/s).

Sono state inoltre definite due categorie particolari, che prevedono studi speciali per la definizione dell'azione sismica.

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

Ad esso sono legati i valori assunti da periodi di vibrazione che caratterizzano la forma dello spettro di risposta. In funzione delle cinque classi di suolo proposte questi parametri assumono i seguenti valori:

Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1.0	0.15	0.40	2.0
B.C.D	1.25	0.15	0.50	2.0
E	1.35	0.2	0.80	2.0

12 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_r espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
- Ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $s_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nei periodi di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale.

- A_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

- Tc periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

12.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'analisi dei dati dei sondaggi geognostici (C.P.T.) e della prova geofisica (masw) hanno consentito di ricostruire la stratigrafia dei terreni di fondazione del nuovo P.L..

L'indagine ha permesso di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri dalla superficie (V_s30), e della determinazione della categoria di suolo di fondazione, in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio (N.T.C. 23/09/05), al D.M. 14/09/05 ("Norme tecniche per la costruzione") e D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare n° 617 del 02.02.2009.

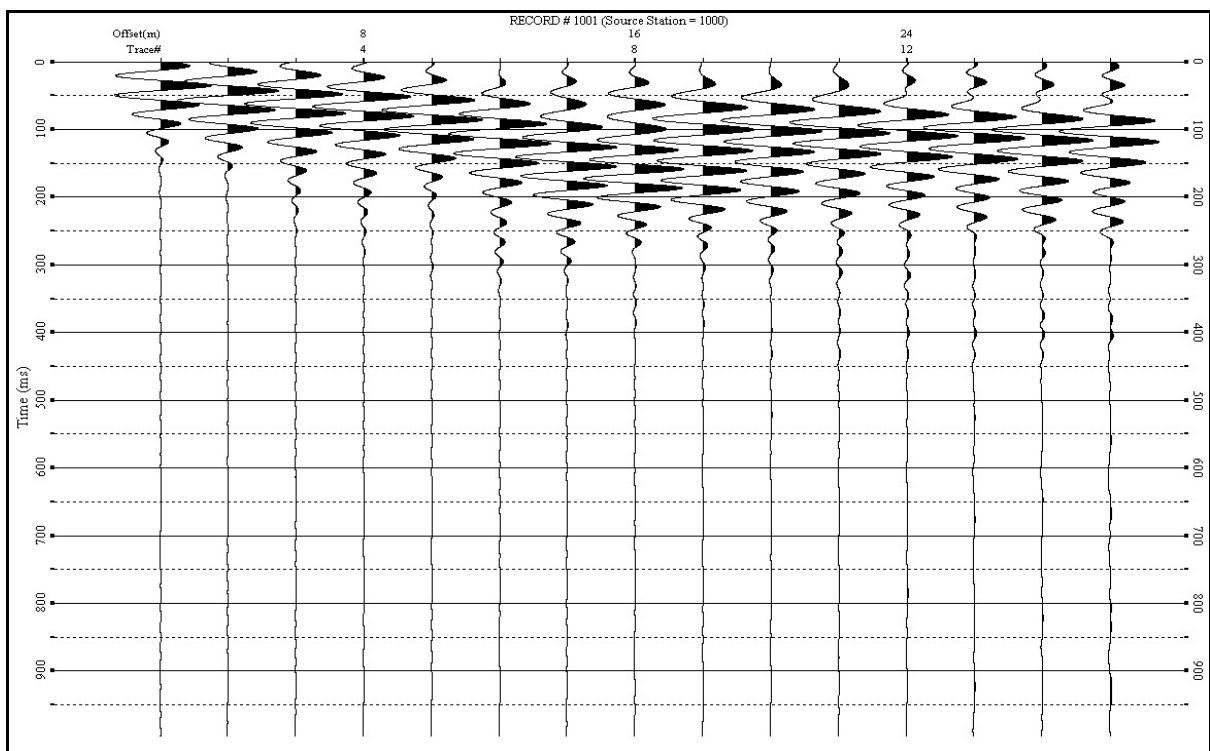
12.2 METODOLOGIA DI INDAGINE

La prova masw (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

Il metodo Masw sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.



- Sismogramma -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa

corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

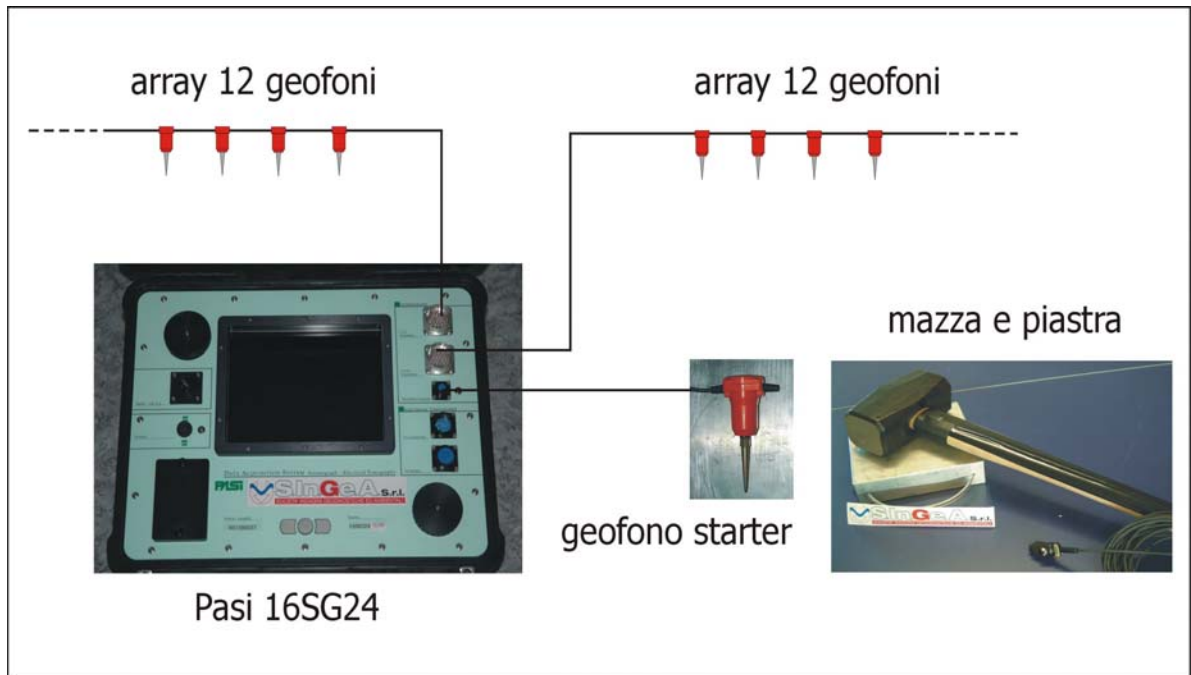
12.3 STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16SG24", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono trigger. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtraggi delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.



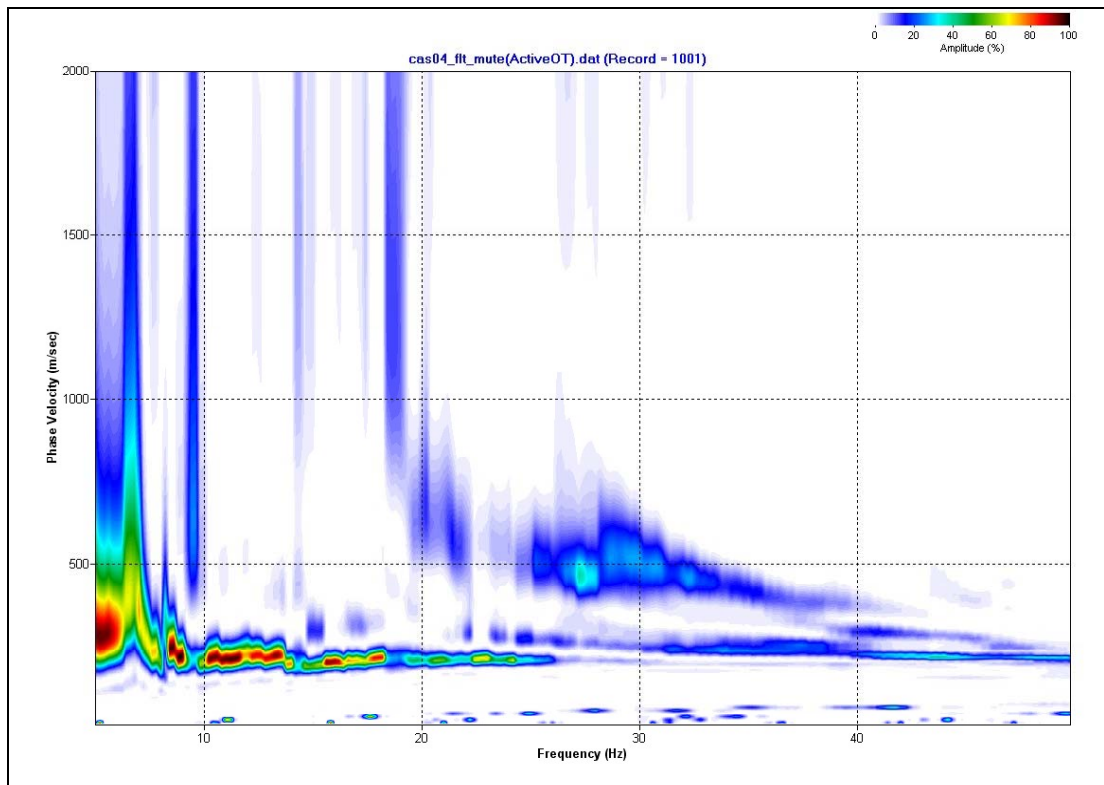
“PASI 16SG24” con due stringhe da 12 geofoni

12.4 ELABORAZIONE

L’elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*SurfSeis 2 – Kansas Geological Survey*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il “rumore” ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il sismogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri “passa basso”, “passa alto”, “passa banda”, “taglia banda”, il “muting”, l’ACG e i filtri tipo F-K (“fan cut”, “fun pass”, “horizontal e vertical cut”).

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d’onda con appropriata scala cromatica dell’ampiezza.



Il diagramma permette di visualizzare anche l'intervallo di lunghezza d'onda acquisito e il rapporto segnale-disturbo, utile per valutare la qualità dei dati. Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente tramite metodo manuale o semi-automatico.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità.

L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di un procedimento calcolo e un algoritmo di inversione (Xia et al. 1999a), che gestisce i parametri velocità di taglio (V_s) e spessore degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello geofisico in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile (errore quadratico

medio inferiore al 5-10%) la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata.

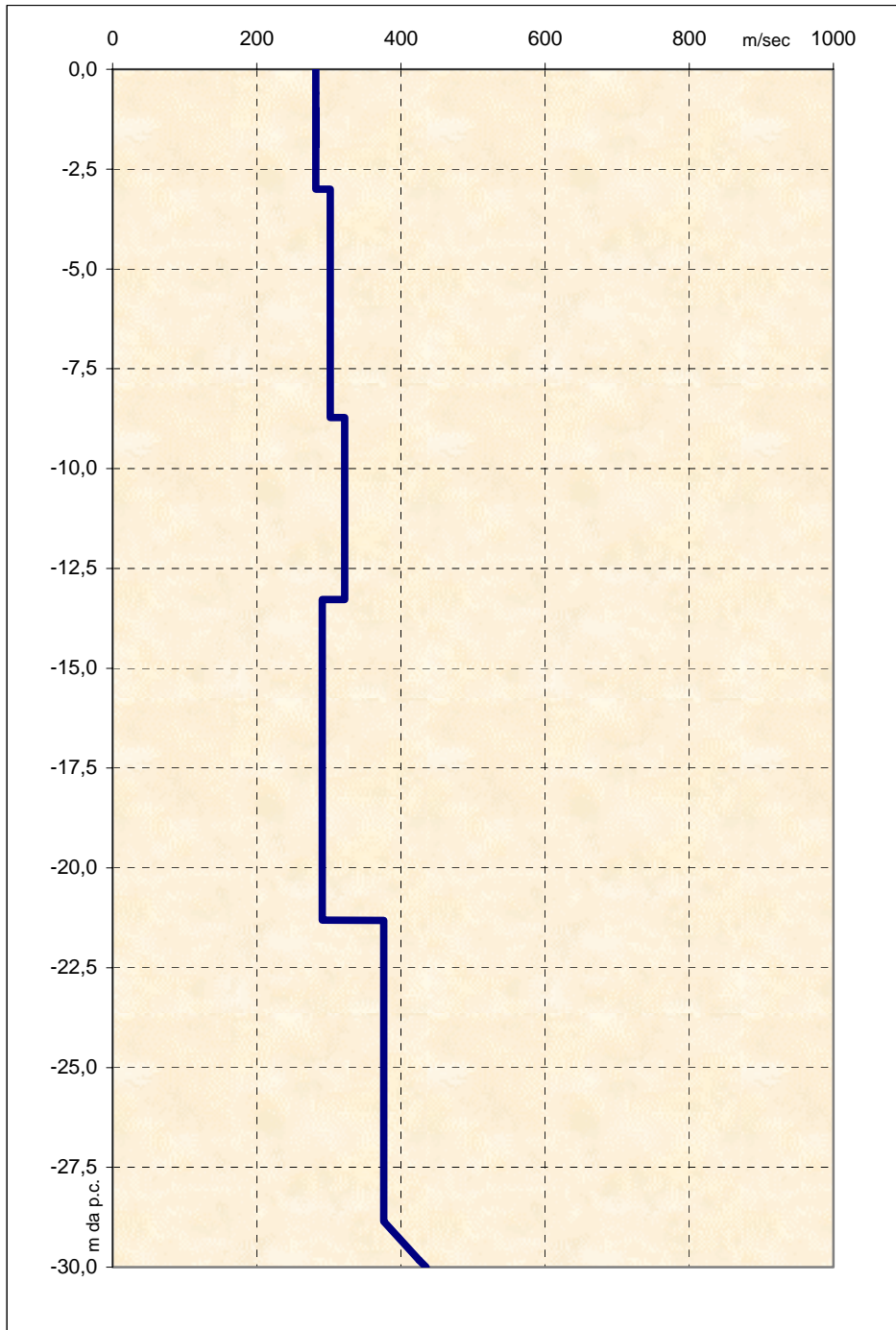
In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle V_{s30} e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

13 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE
--

Sondaggio S1 Indagine Masw – Castelletto Borgo :

ANALISI SISMICA Masw



Determinazione delle categoria del suolo di fondazione

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione indagata.

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-2.82	2.82	282
-5.21	2.39	302
-8.72	3.51	322
-13.28	4.56	291
-21.32	8.04	376
-30.00	8.68	435

Il valore V_s30 è **284 m/sec**.

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C**: Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_s30 compresi tra 180m/s e 360m/s. ($15 < NSPT < 50$, $70 < cu < 250$ kPa)].

ANALISI DI PRIMO LIVELLO

Per l'analisi di 1° livello è stata utilizzata la cartografia topografica della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (voli 1984 e 1994), la carta di inquadramento del presente studio relativa alla litologia (scala 1:5.000) e i dati di diverse prove penetrometriche statiche realizzate in un sito limitro.

Inoltre, i dati disponibili sono stati integrati con osservazioni geologiche, geomorfologiche di campagna.

L'analisi dettagliata delle cartografie e dei dati ha portato alla realizzazione della Carta della pericolosità sismica locale (scala 1:2.000 – Tav.4), nella quale è riportata l'individuazione del rischio sismico, sulla base di quanto indicato nella Tabella 1 dell'Allegato 5.

Tale carta indica il possibile effetto sismico locale.

- Z4a – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali coesivi.

La carta di pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, in base a quanto stabilito dalla D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005 .

14 CONSIDERAZIONI FINALI E PRESCRIZIONI

Sotto il profilo idrogeologico si riscontra una falda che si attesta alla profondità di circa 1.5-2.5 m dal piano campagna, in relazione alle fluttuazioni della piezometrica.

La vulnerabilità idrogeologica è medio-bassa per la permeabilità dei depositi; i parametri geotecnici si presentano valori medi in termini di capacità portante.

La superficie interessata alla trasformazione urbanistica non presenta fenomeni geomorfologici attivi, l'area non è ha rischio idraulico.

La superficie del P.L. Dei Quaranta, dallo studio geologico, idrogeologico e geotecnico realizzato, ai sensi della L.R. 41 del 1997, ricade in 2a classe di fattibilità geologica, per l'area in esame sono previsti indagini geologiche-geotecniche di dettaglio.

Essendo la presente relazione redatta in fase di studio di un P.L. e non essendo per di più note esattamente le tipologie e le caratteristiche, tra cui le dimensioni e le ubicazioni esatte, degli edifici che verranno successivamente costruiti sull'area, **la realizzazione di una qualunque struttura andrà puntualmente verificata sulla base delle necessità di progetto**, ai sensi del D.M. 11 marzo 1988 e D.M. 14.01.2008, sia per conoscere la portata limite effettiva dei terreni sia per verificare l'esatta entità dei cedimenti indotti dalle nuove imposizioni

di carico. Inoltre, in fase esecutiva, a causa della bassa soggiacenza della falda (1.5 m dal p.c.), andrà verificata la base fondazionale delle nuove strutture, al fine di stabilire di volta in volta l'eventuale impermeabilizzazione di locali interrati, e quindi provvedere all'abbattimento della falda mediante "Well point" o adeguate canalette.

Bigarello, Luglio 2011

IL TECNICO

Dott. geol. Rosario Spagnolo

ALLEGATI

Diagrammi di resistenza

Valori di resistenza

Valutazioni litologiche

Tabella parametri geotecnici