

## INDICE

1 – INDAGINE GEOFISICA .....	2
1.1 – Attrezzatura utilizzata.....	2
1.2 - Determinazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S) .....	3
1.3 Modalità interpretativa esecutive.....	3
2 - INTERPRETAZIONE QUALITATIVA DELLE INDAGINI GEOFISICHE .....	4
3 - RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SISMICI .....	4
3.1 - Interpretazione dei dati .....	5
3.1.1. Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde P ed S.....	5
4 – APPLICAZIONE NUOVE NORME TECNICHE .....	6
4.1 – Estrapolazione dei dati geotecnici dall’elaborazione dei dati sismici.....	9

## ALLEGATI

TAV. 1 – Sezione sismica interpretativa

## 1 – INDAGINE GEOFISICA

Nel mese di febbraio 2007 è stata effettuata una indagine geofisica al fine di fornire indicazioni sul comportamento del sottosuolo nell'ipotesi di un evento sismico. L'indagine è stata condotta al fine di fornire la risposta sismica locale (RSL) in corrispondenza della porzione settentrionale all'abitato del territorio comunale di Motta Visconti (MI). Per fare questo sono state eseguite specifiche indagini di dettaglio mediante la realizzazione di una base sismica, distribuite sul territorio comunale, attrezzate alternativamente con geofoni con registrazione verticale per la ricezione di onde P (onde di compressione) e geofoni con registrazione orizzontale per la ricezione delle onde S (onde di taglio). Tale indagine è stata eseguita sul territorio Comunale di Motta Visconti nei pressi del nuovo plesso scolastico.

### 1.1 – Attrezzatura utilizzata

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo a 24 canali, cavi con interdistanza geofonica di 4 metri, 24 geofoni (verticali) per la registrazione delle onde P e 24 (orizzontali) per la registrazione delle onde S, cannoncino e mazza per l'energizzazione.

Il sismografo: ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale, con formato in uscita pari a 16 bit, viene effettuato su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati. Per la registrazione delle velocità delle onde sono stati utilizzati due tipologie di geofoni: con lettura verticali con frequenza propria pari a 12 Hz e con lettura orizzontale con frequenza propria pari 10 Hz.

L'energizzazione del terreno avviene mediante mini-bang calibro 8 (industriale) per la generazione delle onde P e mediante mazza, con battuta orizzontale, per la generazione delle onde S. Nel primo caso sono stati eseguiti 5 punti di energizzazione, al fine di ottenere una completa copertura dei segnali e la conferma, con i due più esterni di aver

intercettato il "substrato" (in termini di risposta sismica). Nel secondo caso sono stati eseguiti solo tre punti di energizzazione.

## 1.2 - Determinazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S)

L'indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione consiste nella energizzazione del sottosuolo e nella registrazione degli arrivi delle onde P rifrante in corrispondenza di *geofoni verticali* disposti secondo un allineamento con interasse tra i geofoni di 4 metri. Pertanto la lunghezza totale dello stendimento è stato pari a circa 96 m.

La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità degli orizzonti indagati. Le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi dipende in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Al fine di individuare questi ultimi sono stati misurati anche i tempi di arrivo delle onde S, le cui velocità sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno.

Ne consegue che per alcuni terreni, al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio (S).

## 1.3 Modalità interpretativa esecutive

La "copertura" dei tiri sulla base sismica è stata tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alla profondità stabilita dall'indagine.

L'elaborazione dei dati è stata realizzata in prima battuta manualmente con il metodo ITM (Intercept Time Method) e successivamente mediante software tipo WINSISM 8.0 (della GeoSoft) ad elevata valenza diagnostica in grado di fornire i valori dei parametri di velocità, relativi ai rifrattori individuati, per ogni stazione geofonica.

## 2 - INTERPRETAZIONE QUALITATIVA DELLE INDAGINI GEOFISICHE

E' necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele.

Nell'area indagata le condizioni sopra riportate sono quasi del tutto rispettate. Si rammenta in ogni caso che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15 %.

## 3 - RAPPRESENTAZIONE DEI DATI SISMICI

L'indagine geofisica a rifrazione si è articolata in uno stendimento di lunghezza pari a 96 metri (comprensiva degli spari esterni in andata e ritorno), con distanza intergeofonica di 4 metri. Lungo la linea vi era sufficiente spazio a coprire la lunghezza sopra indicata per poter raggiungere la profondità interessata.

L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde P, è stata ottenuta impiegando un apposito cannoncino, che provoca uno scoppio nel sottostante terreno mediante l'utilizzo di particolari cartucce (calibro 8) di tipo industriale. I punti di energizzazione sulla linea sismica eseguita sono stati cinque, due esterni (posti rispettivamente a 2 m dal primo geofono e dal ventiquattresimo) e tre interni (tra i geofoni 6-7, 12-13 e 18-19). Su ogni singolo punto sono state eseguite più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Per la lettura dei tempi di arrivo delle onde S, quale fonte energizzante è stata utilizzata una piastra metallica, solidale al terreno e posta verticalmente all'interno di una buca opportunamente preparata, battuta da una mazza di massa pari a 10 kg. I punti di e-

nergizzazione sono stati 3, di cui 2 esterni (a 2 m dal geofono 1 e 24) ed uno centrale (tra i geofoni 12-13).

### 3.1 - Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei dati di campagna ha consentito la stesura di una sezione sismica interpretativa.

L'esame delle dromocrone, ha permesso di individuare due superfici principali di discontinuità tramite l'analisi delle distanze critiche e della variazione di velocità di propagazione delle onde sismiche nei vari mezzi attraversati.

I dati ottenuti dall'analisi delle velocità di propagazione delle onde sismiche e delle "distanze critiche" ha permesso di definire che il sottosuolo dell'area di indagine è piuttosto omogeneo e la suddivisione in due orizzonti principali (secondo l'analisi delle dromocrone delle onde P), con valori decisamente differenti potrebbe essere dettata dalla presenza di terreni saturi. Tale variazione piuttosto netta non compare in modo così significativo a seguito dell'analisi delle dromocrone delle onde S in quanto le velocità delle onde S sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che in casi simili a quelli oggetto della presente indagine, ove è presente la falda le uniche onde in grado di informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio (S).

#### 3.1.1. Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde P ed S

##### Linea 1

L'analisi condotta ha permesso di suddividere il sottosuolo in 3 principali unità, in funzione della velocità delle onde sismiche.

Unità 1 – strato più superficiale. Si tratta di terreni piuttosto omogenei con valori di velocità delle onde S che variano da 155 a 157 m/sec. L'analisi delle onde di volume (P) evidenziano un cambiamento intorno ai 7 m rispetto l'attuale piano campagna.

Unità 2 – strato intermedio. Tale unità presenta valori di velocità delle onde P comprese tra 1458 m/sec e 1565 m/sec, e velocità delle onde S comprese tra 217 m/sec e 224 m/sec. Questo strato si estende tra i 7,0 e i 21,0 metri di profondità dal piano campagna.

Unità 3 – strato più profondo. Tale unità presenta valori di velocità delle onde P superiori ai 1500 m/sec, e velocità delle onde S comprese tra 316 m/sec e 343 m/sec. Questa unità si estende tra i 21,0 metri di profondità fino alla massima profondità investigata (30 metri).

#### 4 – APPLICAZIONE NUOVE NORME TECNICHE

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e succ. modif. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche. Inoltre sono state definite le norme tecniche per la progettazione di nuovi edifici, di nuovi ponti, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno, ecc.

La suddetta ordinanza riporta, sino alla deliberazione delle regioni, le nuove classificazioni sismiche individuate sulla base del documento "*Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale*". In particolare, l'intero territorio è stato suddiviso in quattro livelli: da 1, più pericoloso, a 4 meno sensibile.

Nello specifico il territorio comunale di Motta Visconti ricade, per quanto indicato in Allegato A "Classificazione sismica dei comuni italiani" della sopra citata Ordinanza in zona 4.

Per quanto riguarda le normative precedenti si ha:



- Codice ISTAT 2001 03018092
- Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti sino al 1998) N.C.
- Categoria secondo la proposta del G.d.L. del 1998 N.C.
- Zona ai sensi dell'O.P.C.M. 2003 4

L'Ordinanza precisa che "Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema riportato nella *Tabella 4.1* che segue.

*Tabella 4.1*

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 (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
<b>4</b>	<b>&lt; 0,05</b>	<b>0,05</b>

I suoli di fondazione sono suddivisi in cinque classi (A, B, C, D, E) più due speciali (S1 e S2), in base alle loro caratteristiche stratigrafiche ed alla velocità media delle onde sismiche di taglio (trasversali) entro 30 metri di profondità, ovvero alle  $V_{S30}$ :

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima

$N$  = Numero di strati

I terreni indagati in corrispondenza della linea sismica eseguita presentano una velocità delle  $V_{S30}$  così come di seguito indicata:



	Valore delle $V_{s30}$ (m/sec)
Linea 1	220

Secondo lo schema presente nell'Ordinanza si tratta di un suolo appartenente alla classe C ("Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec a 360 m/sec").

Una volta assegnata la classe di riferimento del suolo oggetto di studio, si possono definire, secondo gli schemi seguenti, i parametri per le espressioni dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali (Tabella 4.2), che verticali (Tabella 4.3).

Tabella 4.2

Categoria del suolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

Tabella 4.3

Categoria del suolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

Le ultime considerazioni sono in merito ai valori dello spostamento e delle velocità orizzontali massime del suolo ( $d_g$ ) e ( $v_g$ ) che derivano dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_C * T_D * a_g =$$

$$v_g = 0,16 * S * T_C * a_g =$$

#### 4.1 – Estrapolazione dei dati geotecnici dall'elaborazione dei dati sismici

E' possibile, tramite la conoscenza della densità del materiale e della velocità delle onde S, risalire ad alcuni parametri di carattere geotecnico.

I terreni riscontrati dall'indagine sismica sono pressoché omogenei e ad essi è stato attribuito un determinato valore di peso di volume naturale:

*in considerazione alle osservazioni litologiche sopra esposte è possibile definire che il peso di volume della sequenza alluvionale possa essere>:*

$$\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3 \text{ (valore medio desunto da dati bibliografici)}$$

Pertanto in base alla valutazione delle velocità dei singoli strati individuati con le onde di taglio ( $V_s$ ) si possono ricavare:

- *Modulo di taglio (G)*
- *Modulo di elasticità dinamico (Ed);*
- *Coefficiente di Poisson ( $\nu$ );*
- *Rigidità sismica (R);*
- *Periodo fondamentale dello strato (T);*
- *Frequenza fondamentale dello strato (f)*

I parametri geotecnici sopra menzionati sono stati calcolati nel seguente modo sintetizzati nella tabella 4.1.1:

Modulo di taglio (G) (OHTA Y., GOTO N., 1978)

$$G = \frac{g_t}{g} \times (V_s)^2$$

Dove:



$\gamma_t$  = peso di volume naturale

$g$  = accelerazione di gravità (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$V_s$  = velocità delle onde di taglio (S)

Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )

$$\nu = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

Dove:

$V_p$  = velocità delle onde P

$V_s$  = velocità delle onde S

Modulo di compressibilità dinamico ( $E_d$ )

$$E_d = 2 * G * (1 + \nu)$$

Dove:

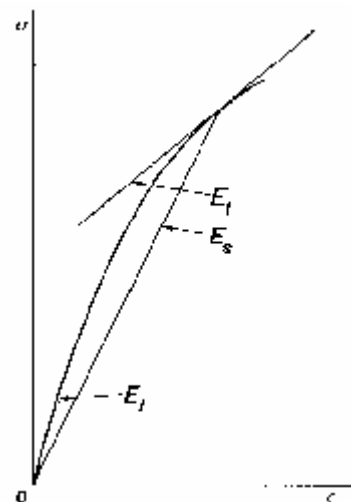
$E_d$  = modulo di elasticità dinamico

$G$  = modulo di taglio

$\nu$  = coefficiente di Poisson

Il grafico riportato a lato rappresenta l'andamento di una curva sollecitazioni/deformazioni di un litotipo con caratteristiche elastiche. (da I. W. Farmer).

Il modulo che viene calcolato con l'utilizzo delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) è disegnato dalla  $E_i$  (riportata nel grafico), che rappresenta il modulo tangente iniziale, che è il più elevato, ma anche quello ottenuto con maggiore precisione ed esprime il valore di  $E$  sotto carico nullo.



### Rigidità sismica (R)

$$R = \gamma_t \cdot V_s$$

E' un parametro strettamente legato alla amplificazione sismica locale: infatti l'incidenza dei danni tende a diminuire all'aumentare della rigidità sismica.

### Frequenza e periodo fondamentale dello strato (F, T)

$$F = \frac{V_s}{4H} ; T = \frac{4H}{V_s}$$

Una rappresentazione di maggior dettaglio dei dati estrapolati dall'elaborazione delle informazioni di campagna, per le tre linee sismiche eseguite sono riportati nella tabella che segue:

Tabella 4.1.1

Intervallo dell'unità litologica desunta dalle Vp (metri)	Vs m/sec	Vp m/sec	G Mpa	Vp/Vs (°)	n (°)	Ed Mpa	Rigidità sismica m/sec x kN/m <sup>3</sup>	Periodo fondamentale dello strato (sec)	Frequenza fondamentale dello strato (Hz)
0,0 - 7,0/7,3	156	300	50	1.92	0.31	130	3120	0.179	5.6
7,0/7,3 - 20/22	220	1500	99	6.82	0.49	294	4400	0.255	3.9
20/22 - 25/30	320	1600	209	5.00	0.48	618	6400	0.113	8.9

Voghera, maggio 2008

Dott. Geol. Luca Giorgi

Iscr. Ordine dei geologi della Lombardia n° 814

