giovanni bassi, geologo, via donatori di sangue, 13, 26029 soncino (cr),
tel.037485486, e_mail: bassi.geologo@gmail.com

COMUNE DI VAIANO CREMASCO

Provincia di Cremona

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE

(L.R. 11.03.05 N. 12, art. 57,
D.G.R.22.12.05 N.8/1566, Criteri attuativi, Componente geologica)

RAPPORTO GEOFISICO

ALLEGATO 11



IL GEOLOGO
DOTT. GIOVANNI BASSI
Gennaio 2008

123-011-07

1. PREMESSA

Il 17 Aprile 2007, sono state effettuate prove sismiche mediante microtremori, in 2 siti del territorio di Vaiano Cremasco .
Le prove sono state eseguite per rilevare la velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo. Successivamente si è proceduto alla elaborazione dei dati con la finalità di ricavare il periodo naturale dei siti ed il fattore di amplificazione sismica (Fa) come previsto dalla disciplina regionale della L.R. 12/2005[1].

2. CENNI SULLA METODOLOGIA DEI MICROTREMORI

L'analisi dei microtremori è stata effettuata utilizzando strumentazione per la prospezione sismica a rifrazione con stendimenti lineari da 24 geofoni con frequenza naturale di14 Hz.
In questo modo si possono registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza oscilla in un range da 25-30 Hz fino a 4-6 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs. La profondità d'indagine è in gran parte funzione della lunghezza di stendimento e corrisponde al 25-40% di tale lunghezza. Nel caso in oggetto la profondità massima può variare tra 30 e 50 m.
Il profilo verticale delle Vs può essere ricavato per inversione o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love).
Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P) e di taglio verticali (Sv).
In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo, e vengono definite pseudo-Rayleigh.
La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore e presentano normalmente velocità di fase più elevate.

3. STRUMENTAZIONE E SOFTWARE

Per l'esecuzione delle indagini si è fatto uso della strumentazione di seguito elencata:

- sismografo Ambrogeo a 24 canali con dinamica 16 bit
- cavi sismici schermati
- 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 14 Hz
- batterie da 12 V per l'alimentazione del sismografo
- set di connessioni e materiali d'uso

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il programma ReMI, versione 4.0 della Optim.

4. DESCRIZIONE DEL RILIEVO ESEGUITO

Il rilievo è stato eseguito su n. 2. linee con 24 geofoni da 14,5 Hz spaziati di 5 m; ogni linea si è quindi sviluppata per una lunghezza complessiva di 115 m.
Per ogni linea sono state effettuate 10 registrazioni di 30 secondi l'una, con frequenza di campionamento 0,002 secondi.
Nella tabella che qui segue si riportano i dati relativi alla posizione di ogni linea di ciascuna linea.

Linea	**Posizione**
L	Strada interpoderale di Sant'Antonio
M	Giardini pubblici in prossimità della scuola media

[1] Criteri attuativi della L.R.12/05, Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, BURL Ed. Spec. 28.3.06, Allegato 5.

La linea L si ritiene esemplificativa delle caratteristiche dei terreni del terrazzo wurmiano, la M della valle del Tormo.

5. ELABORAZIONE DATI

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software ReMi 4.0 della Optim Ltd.
Di seguito sono riportate le fasi dell'elaborazione eseguita:

1. conversione dei file in formato Seg-Y
2. preprocessing del segnale per il filtraggio e l'equalizzazione delle tracce
3. definizione della geometria di rilievo
4. elaborazione bidimensionale degli spettri di velocità *p-f* (attenuazione - frequenza) per ogni singola registrazione
5. sommatoria degli spettri delle singole registrazioni dopo l'eliminazione di quelli meno indicativi
6. picking della curva di dispersione
7. modellizzazione diretta delle onde di taglio
8. iterazione del modello fino a risultato soddisfacente
9. realizzazione dei profili di velocità

Nella pagina successiva sono riportati gli spettri di velocità delle singole linee, tramite diagrammi frequenza-lentezza (inverso della velocità). La frequenza varia in senso orizzontale, aumentando da sinistra verso destra, mentre la lentezza aumenta verso il basso (quindi la velocità aumenta verso l'alto).
I colori "caldi" (rosso, arancio, verde) corrispondono ad aree con maggiore ampiezza di segnale, mentre quelli freddi (blu, azzurro) corrispondono ad ampiezze minori. Una distribuzione dei colori caldi che sale da sinistra verso destra indica velocità crescenti a frequenze minori, quindi a profondità maggiori; abbassamenti anche di modesta entità nello stesso verso indicano possibili inversioni di velocità (velocità più basse a profondità crescenti. Nelle immagini in oggetto, si può notare come l'allineamento orizzontale del limite colori caldi-freddi nella linea M si estenda verso sinistra notevolmente, mentre nella linea L il limite sia molto più inclinato verso l'angolo in alto a sinistra. Ciò indica un incremento di velocità con la profondità molto più rapido per la linea L che per la M.
I quadratini neri (Fig. 1.1), al bordo inferiore della fascia alta, corrispondono ai valori selezionati (picking) per la modellazione delle onde S. Tali valori vengono selezionati al limite tra colori caldi e freddi.

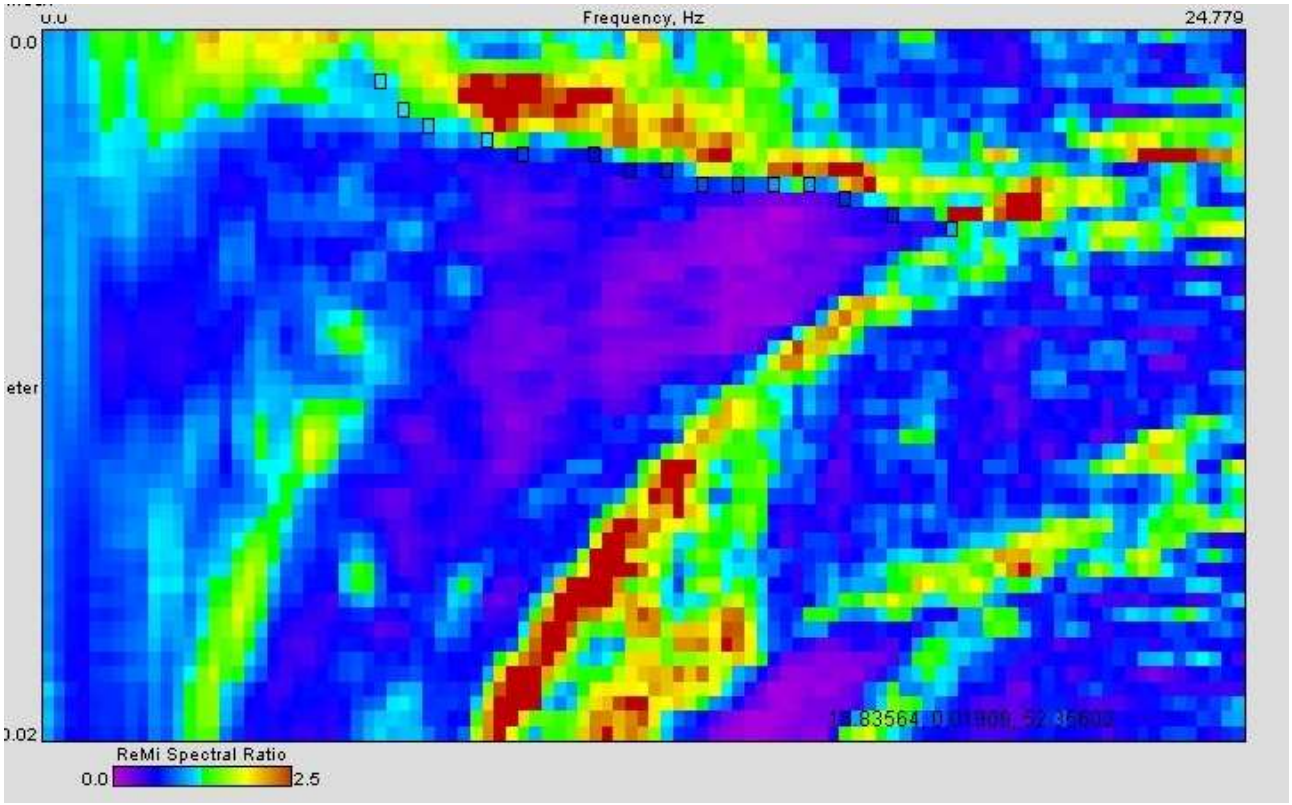

Fig. 1.1 – Spettro di frequenza - linea L

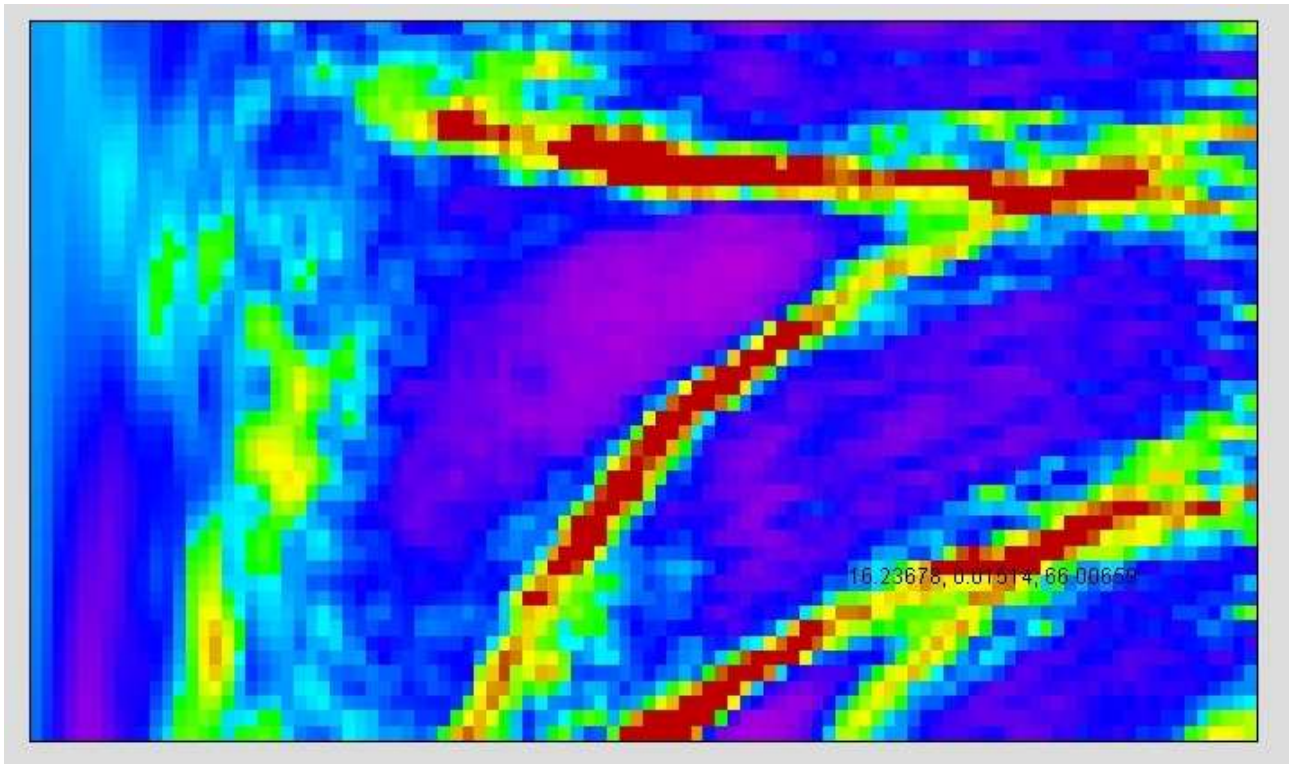

Fig. 1.2 - Spettro di frequenza - linea M

6. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati dell'indagine sismica sono qui di seguito riassunti e commentati.

6.1 Metodologia

Le analisi effettuate a partire dalla distribuzione verticale delle onde S seguono la metodologia riportata nel sopra citato Allegato 5, dei Criteri attuativi della L.R. 12/05, che si può sintetizzare come segue:

- Dalle informazione litologiche e geotecniche e dalla distribuzione delle Vs si individua il tipo di suolo di fondazione a cui appartengono i depositi dell'area (a, b, c, d, e), utilizzando la classificazione di cui all'O.P.C.M. 3274/03[2]. In ogni comune e per ogni tipo di suolo sono fissati, dalla Regione Lombardia, i valori massimi del fattore di amplificazione sismica (Fa), consultabili sul file *soglie_lombardia.xls*.
- Dalla distribuzione in profondità delle Vs si calcola il periodo di oscillazione naturale del terreno.
- Sulla base degli stessi dati si procede alla valutazione della litologia dominante in ogni sito operando il confronto tra la distribuzione verticale delle Vs e quella riportata nelle 5 schede, regionali, a cui sono associate equazioni e curve che consnetono di ricavare, per via matematica, il fattore di amplificazione Fa, partendo dal periodo di oscillazione naturale del terreno. Poiché la varietà delle situazioni geologiche è pressoché infinita, il confronto con le 5 schede litologiche risulta difficile e va condotto con molta attenzione.
- In ogni scheda sono riportate 3 serie di curve (corrispondenti a 3 diverse equazioni) per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi e una sola curva per edifici con periodo maggiore di 0.5 secondi. Una volta individuata la scheda che meglio risponde alla distribuzione delle Vs rilevata, sulla base dello spessore e della velocità del primo strato, s'individua a quale dei tre tipi di curva (1, 2 o 3) si deve far riferimento nel calcolo del periodo del terreno, per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi.
- Una volta individuata la curva, si calcolano i due fattori Fa per le due diverse classi di periodo (0.1-0.5 e 0.5-1.5 sec). Se i due valori di Fa calcolati sono inferiori (o eguali o minori per non più di 0.1) a quelli del file *soglie_lombardia.xls* l'analisi di II livello è terminata con esito positivo altrimenti si segnalerà la necessità, in fase progettuale, di passare ad analisi di III livello o di inserire l'area in oggetto nella classe sismica superiore.

6.2 Linea L, Strada interpoderale di Sant'Antonio

La velocità media Vs30, calcolata nei primi 30 m, è pari a ***417 m/s***.
I dati dei singoli strati sono riportati nella seguente Tab. 1.

Profondità (m)	Vs (m/s)
0.0 - 4.3	200
4.3 - 13.5	320
13.5 - 30.0	800

Tav. 1.1

Dai dati litologici e dalla distribuzione delle Vs i suoli del sito appartengono ai **terreni di fondazione di tipo *B* (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti).** I valori di Fa, indicati dalla Regione, sono ***0.9*** per edifici con 0.1<T <0.5 s e ***1.5*** per edifici con T>0.5 s.

[2] O.P.C.M. 3274/03, Punto 3.1 Categorie di suolo di fondazione.

La scheda litologica selezionata è quella delle ghiaie, la cui curva è riportata in Figura 2.1 insieme alla curva delle Vs calcolate e alla curva dei limi sabbiosi 2 (ls2), che rappresenta la seconda curva, più prossima, alla distribuzione di Vs calcolate.
Si consideri che teoricamente le Vs calcolate dovrebbero cadere totalmente alla destra della curva prescelta; tuttavia, come già accennato, ciò si verifica raramente a causa della varietà di situazioni geolitologiche. Le informazioni litologiche, ricavate dai dati raccolti, indicano, nell'area, presenza di ghiaie e sabbie prevalenti; ciò è compatibile con la scheda selezionata.
Lo strato iniziale di 4.3 m indica chiaramente l'appartenenza ad una curva del tipo 1.

Il periodo di oscillazione naturale del terreno, calcolato dalle Vs, è ***0.19 s***, cui corrisponde il fattore di amplificazione Fa ***1.7***, per **edifici con periodo tra 0.1 e 0.5 s**.
Questo valore è largamente superiore al valore soglia (***0.9***); pertanto, **per la progettazione di edifici che ricadono in tale periodo di risonanza, nel sito analizzato, sono necessarie indagini di III livello oppure si potrà adottare i parametri della zona sismica superiore (Zona sismica 3) rispetto a quella in cui è inserito il comune (zona sismica 4)**.
Per edifici con periodi più elevati si è calcolato Fa ***1.1***, inferiore a quello regionale (***1.5***), per cui **è sufficiente la parametrazione prevista dalla norma regionale vigente**.

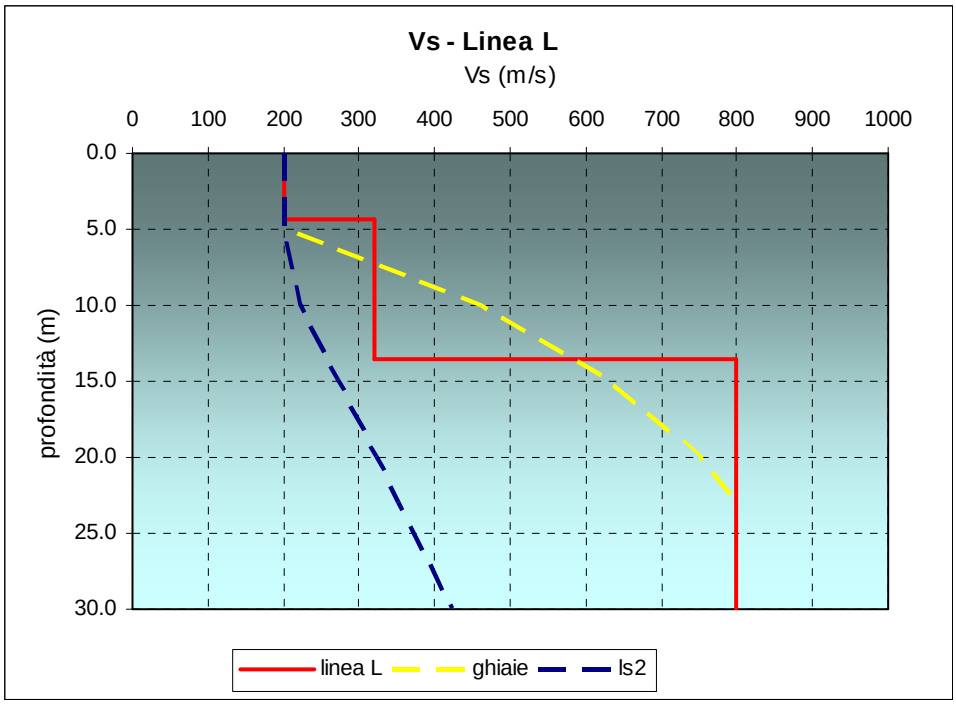

Fig. 2.1

Nella tavola seguente sono riportati i valori di Fa calcolati e quelli di riferimento.

Tipo suolo	**B**		
Periodo (s)	Fa Regione Lombardia	Fa calcolato (ghiaie)	Fa calcolato (limi sabbiosi 2)
0.1-0.5	**0.9**	**1.7**	**1.9**
0.5-1.5	**1.5**	**1.1**	**1.1**

Tav. 1.2

6.3 Linea M, Giardini pubblici in prossimità della scuola media
La velocità media Vs30, calcolata nei primi 30 m è pari a ***346 m/s***.
I dati dei singoli strati sono riassunti nella seguente Tavola 2.1:

Profondità (m)	Vs (m/s)
0.0 - 9.8	210
9.8 - 15.0	400
15.0 - 25.0	480
25.0 – 30.0	800

Tav. 2.1

La linea M si discosta dalla linea precedente L, per il primo strato, a bassa velocità che si spinge fino a quasi 10 m di profondità e per la maggiore profondità del substrato veloce (Vs=800 m/s).
Tali elementi fanno ricadere i terreni in oggetto nel **tipo di suolo di fondazione C (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza)** e la scheda più prossima risulta essere quella dei limi argillosi 2. Tuttavia le informazioni litologiche danno in superficie una prevalenza di depositi sabbiosi limosi; pertanto si è scelta quest'ultima scheda litologica (2), per il calcolo del fattore di amplificazione (Fa). Entrambe le equazioni, delle schede ls2 ed la2, sono uguali sia per edifici con periodo tra 0.1 e 0.5 s. I valori soglia di Fa sono ***0.9*** e ***1.5***). Il periodo calcolato è più elevato (***0.28 s***), così come i valori di Fa (***2.3*** e ***1.3***).
Anche in questo caso si ha il superamento del valore soglia, **per gli edifici con periodo minore** e pertanto, per la progettazione di edifici che ricadono in tale intervallo di periodo, nel il sito analizzato, **sono necessarie indagini di III livello oppure si assumeranno i parametri della zona sismica superiore (Zona sismica 3)** rispetto a quella in cui è inserito il comune (zona sismica 4).
Per gli edifici a periodo maggiore è sufficiente la parametrazione prevista dalla norma regionale vigente.

Nella tavola seguente sono riportati i valori di Fa calcolati e quelli di riferimento.

Tipo suolo	**C**		
Periodo (s)	Fa Regione Lombardia	Fa calcolato (limi sabbiosi 2)	Fa calcolato (limi argillosi 2)
0.1-0.5	**0.9**	**2.3**	**2.3**
0.5-1.5	**1.5**	**1.3**	**1.2**

Tav. 2.2

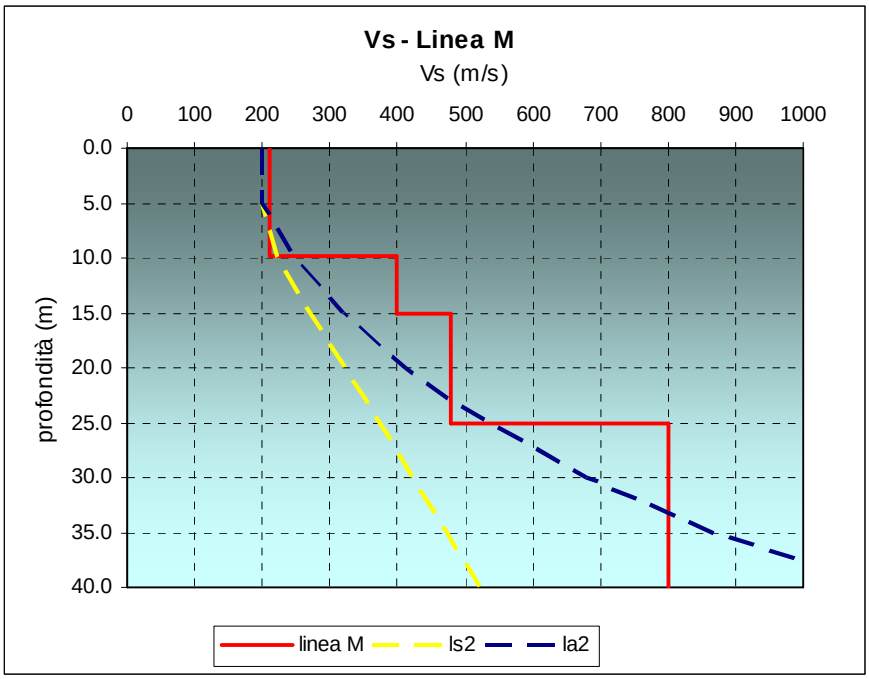

Fig. 2.2



Il geologo
Dott. Giovanni Bassi
Gennaio 2008