

giovanni bassi, geologo, via donatori di sangue 13, 26029 soncino (cr)  
tel. 0374 85486, e\_mail: [bassi.geologo@gmail.com](mailto:bassi.geologo@gmail.com)

REGIONE LOMBARDIA

Provincia di Cremona

## COMUNE DI SERGNANO



## PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

### VARIANTE

#### Componente geologica, idrogeologica e sismica

(L.R. 11.3.05 n.12, art. 57, D.G.R.30.11.11 n. XI/2616)

### ALLEGATO 8

## RAPPORTO GEOFISICO



IL GEOLOGO  
DOTT. GIOVANNI BASSI  
Febbraio 2018

Collaboratore: dott. geol. Anelli Andrea

INDICE CAPITOLI	pag.
1. Premessa	3
2. Cenni sulla Metodologia dei Microtremori	3
3. Strumentazione e Software	3
4. Descrizione del rilievo eseguito	3
5. Elaborazione dei dati	4
6. Analisi dei risultati	6

## ELENCO FIGURE

- Fig. 1.1 -1.2: Spettri di Frequenza  
Fig. 2.1 -2.2: Distribuzione verticale calcolata delle Vs

## Sigle ed abbreviazioni

- Vs      Velocità delle onde di taglio (m/s)  
Vs30    Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità (m/s)  
Tp      periodo proprio del sito (s)  
Fa      Fattore di amplificazione sismico

## 1. Premessa

In data 17 Aprile 2007, sono state effettuate prove sismiche mediante microtremori, in 2 aree del territorio comunale di Sergnano (**CR**), classificato in zona sismica 4, a minimo rischio sismico.

Le prove sono state eseguite nell'ambito di studi di analisi del rischio sismico, per rilevare la velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo. Successivamente si è proceduto ad elaborazione dei dati con la finalità di ricostruire il periodo naturale dei siti ed il fattore di amplificazione sismica ai sensi della LR 12-2005 e dell'adeguamento contenuto nella DGRL n. 8/7374 del 28 maggio 2008, in particolare in Allegato 5.

## 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 di 14 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 eseguite con 24 geofoni da 14,5 Hz spaziati di 5 m; ogni linea si è quindi sviluppata per una lunghezza complessiva di 115 m. La linea K, a causa di spazio insufficiente per lo stendimento, è stata ridotta a 85 m escludendo gli ultimi 6 geofoni.

Per ogni linea sono state effettuate 10 registrazioni di 30 secondi l'una, con frequenza di campionamento 0,002 secondi. Nella tabella di seguito si riportano i dati relativi alla posizione di ogni linea di ciascuna linea.

Linea	Posizione
J	Centro sportivo
K	SP 591

## 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 single 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, per entrambe le linee, l'allineamento orizzontale del limite colori caldi-freddi si estenda notevolmente verso sinistra; ciò implica una distribuzione di velocità costante per un significativo intervallo di profondità. Nell'immagine dello spettro relativo alla linea K la salita verso l'angolo in alto a sinistra è più marcata e indica un maggiore incremento di velocità con la profondità.

I quadratini neri, al bordo inferiore della fascia alta, corrispondono ai valori selezionati (picking) per la modellizzazione delle onde S. Tali valori vengono scelti al limite tra colori caldi e freddi.

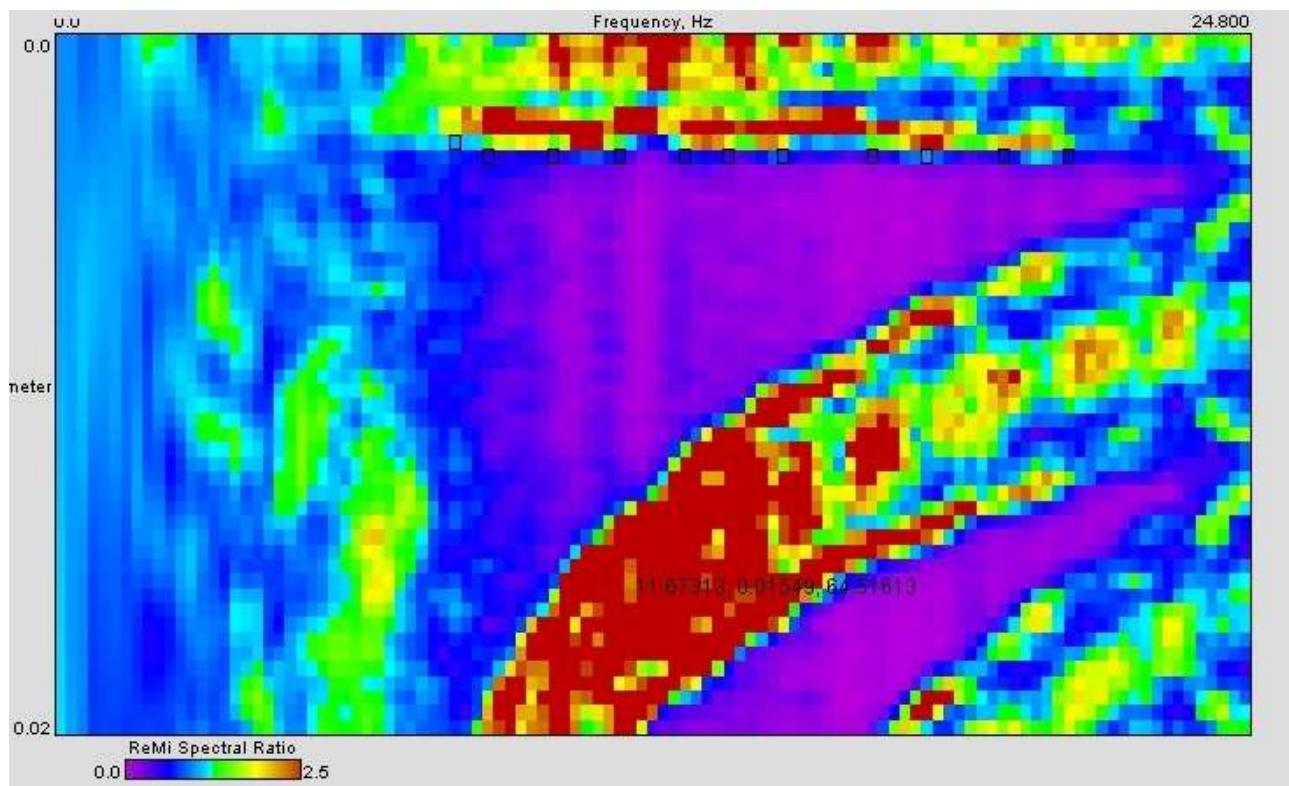


Fig. 1.1 – Spettro di frequenza - linea J

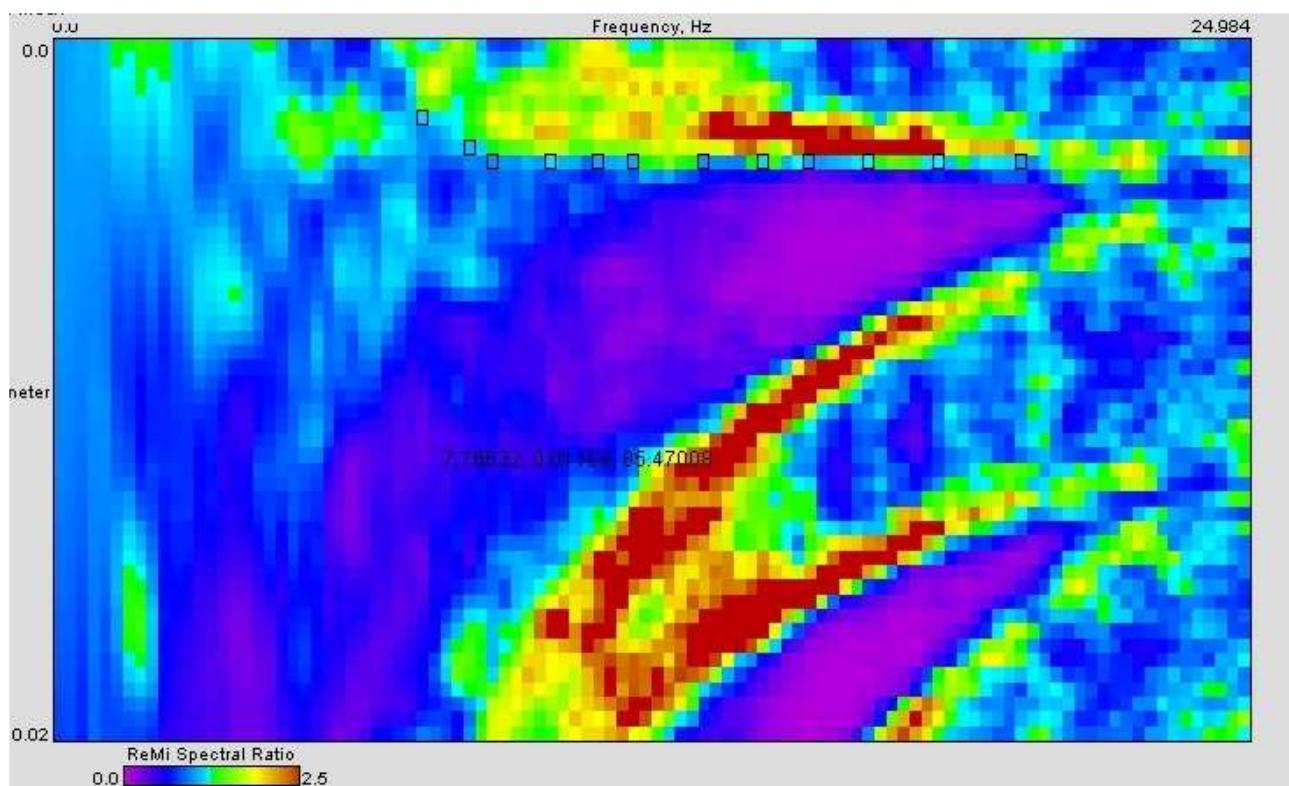


Fig. 1.2 - Spettro di frequenza - linea K

## 6. Analisi dei Risultati

### 6.1 Metodologia

Le analisi effettuate, a partire dalla distribuzione verticale delle onde S, seguono la metodologia riportata nella LR 12 – 2005, e nell'adeguamento contenuto nella DGRL N 8/7374 del 28 maggio 2008, in particolare in Allegato 5, che si può sintetizzare come segue:

- Dalle informazioni litologiche e geotecniche, dalla distribuzione delle Vs (in particolare delle Vs<sub>30</sub>) si individua il tipo di suolo di fondazione (b, c, d, e) a cui appartengono i depositi dell'area, utilizzando la classificazione delle norme tecniche del DM 14/01/2008. In ogni comune, per ogni classe di suolo, sono fissati dei valori massimi del fattore di amplificazione sismica (Fa), riportati nel file *soglie\_lombardia.xls* approntato dal Politecnico di Milano su incarico della Regione Lombardia ed allegato alla DGRL N 8/7374;
- Dalla distribuzione in profondità delle Vs si calcola il periodo di oscillazione naturale del terreno (o periodo proprio del sito Tp).
- Sulla base dei dati stratigrafici e delle Vs si procede alla valutazione della litologia dominante in ogni sito, confrontando la distribuzione verticale delle Vs con quella di 6 schede, redatte dalla Regione Lombardia, a cui sono associate equazioni e curve che permettono di ricavare, per via matematica, il fattore di amplificazione Fa, a partire dal periodo di oscillazione naturale del terreno. Ovviamente la realtà geologica è difficilmente riconducibile ad una sola litologia tipo, quindi si sceglie la scheda che presenta la distribuzione di Vs più simile a quella sperimentale, soprattutto nei primi 30 m di profondità;
- In ogni scheda sono riportate 3 serie di curve (corrispondenti a 3 diverse equazioni) per gli edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi e una o due curve (due nel caso della scheda sabbie) 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 il calcolo del periodo del suolo, per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi;
- Una volta selezionata la curva, si calcolano i due fattori Fa per le due diverse classi di periodo (0.1-0.5 e 0.5-1.5 secondi). 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 è terminata con esito positivo altrimenti i terreni in oggetto verranno inseriti nella categoria di suolo con fattore di amplificazione più alto (da normativa) di quello sperimentale e per la progettazione si farà riferimento allo spettro relativo alla categoria di suolo prescelta.

### 6.2 Linea J

La velocità media Vs<sub>30</sub>, calcolata nei primi 30 m è pari a **400 m/s**. I dati dei singoli strati sono riportati in Tab. 1.

Profondità (m)	Vs (m/s)
0.0 -11.0	310
11.0 – 18.0	360
18.0 - 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 segnalati dalla Regione Lombardia sono di **1.4** per edifici con  $0.1 < T < 0.5$  s e di **1.7** per edifici con  $T > 0.5$  s.

Lo spessore del primo strato elevato (11 m) indica che nell'intervallo superficiale prevalgono i terreni sabbiosi, pertanto si è scelto come scheda di riferimento quella delle *sabbie*. La curva è riportata in grafico (fig. 2.1) insieme alla curva delle Vs calcolate e a quella dei limi sabbiosi 2 e delle ghiaie (come riferimento di controllo). Le informazioni litologiche, rilevabili dalle stratigrafie danno nell'area la presenza di sabbie e ghiaie con significativi strati di limi e argille. Nell'intervallo indagato (fino a 30 m) non si è rilevata la presenza di un substrato veloce. Per poter calcolare il periodo naturale di oscillazione del terreno, la sua presenza è stata ipotizzata a 40 m. Questa ipotesi è stata fatta anche considerando che l'altra linea eseguita a Sergnano, in condizioni geologiche simili ha identificato il substrato veloce a 17 m. Comunque anche variando la profondità del substrato tra 30 e 60 m, i rapporti tra valori di soglia e valori calcolati di Fa non cambiano.

Il primo strato di 11 m con Vs=310 m/s fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla curva 2 delle sabbie.

Il periodo di oscillazione naturale del terreno calcolato dalle Vs è di **0.33 s**, cui corrisponde un valore di Fa di **1.6** per edifici con periodo tra 0.1 e 0.5 s. Questo valore è superiore al valore di soglia (**1.4**); pertanto, per la progettazione di edifici che ricadono in tale intervallo di periodo di risonanza, nel sito analizzato sono necessarie indagini di III livello o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (in questo caso suolo di tipo C). Per edifici con periodi più elevati si è trovato un valore di Fa di **1.4**, inferiore a quello di soglia. In questo caso la legge definisce come sufficiente la parametrizzazione prevista dalla classificazione vigente.

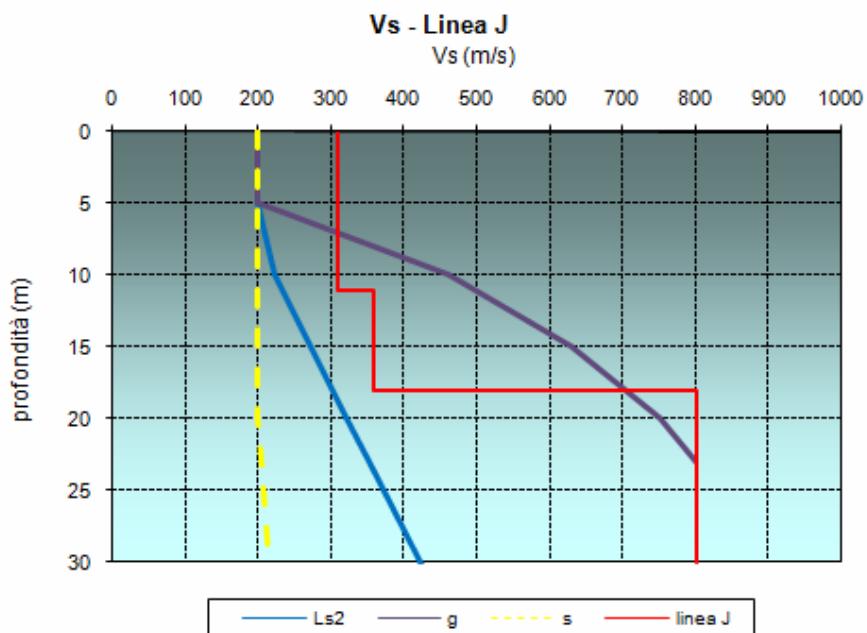


Fig. 2.1

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

Tipo suolo	B	
	Periodo (s)	Fa Regione Lombardia
0.1-0.5	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>
0.5-1.5	<b>1.7</b>	<b>1.4</b>

Tav. 1.2

### 6.3 Linea K

La velocità media Vs30, calcolata nei primi 30 m è pari a **418 m/s**. I dati dei singoli strati sono riportati in Tav. 1.2.

Profondità (m)	Vs (m/s)
0.0 – 11.0	280
11.0 - 17.0	370
17.0 – 30.0	800

Tav. 1.2

La linea H si discosta dalla linea precedente, soprattutto per la presenza del substrato veloce a 17 m.. Tali elementi fanno ricadere i terreni in oggetto in un tipo di suolo di fondazione B (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza); è stata quindi scelta la scheda delle sabbie, come scheda di riferimento, poiché le velocità e gli spessori dei primi due strati non sono compatibili con la scheda litologica delle ghiaie.

Il primo strato di 11 m con Vs=280 m/s fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla curva 2 delle sabbie.

I valori soglia di Fa sono gli stessi forniti in precedenza (**1.4 e 1.7**). Il periodo calcolato è più basso (**0.22 s**) ed i valori di Fa sono risultati uguali a **1.6**, per periodi minori di 0.5 s e di **1.2**, per periodi maggiori di 0.5 s.

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 sito analizzato sono necessarie indagini di III livello o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (in questo caso suolo di tipo C). Per gli edifici a periodo maggiore, con Fa calcolato minore del valore di soglia, è sufficiente la parametrizzazione prevista dalla normativa vigente.

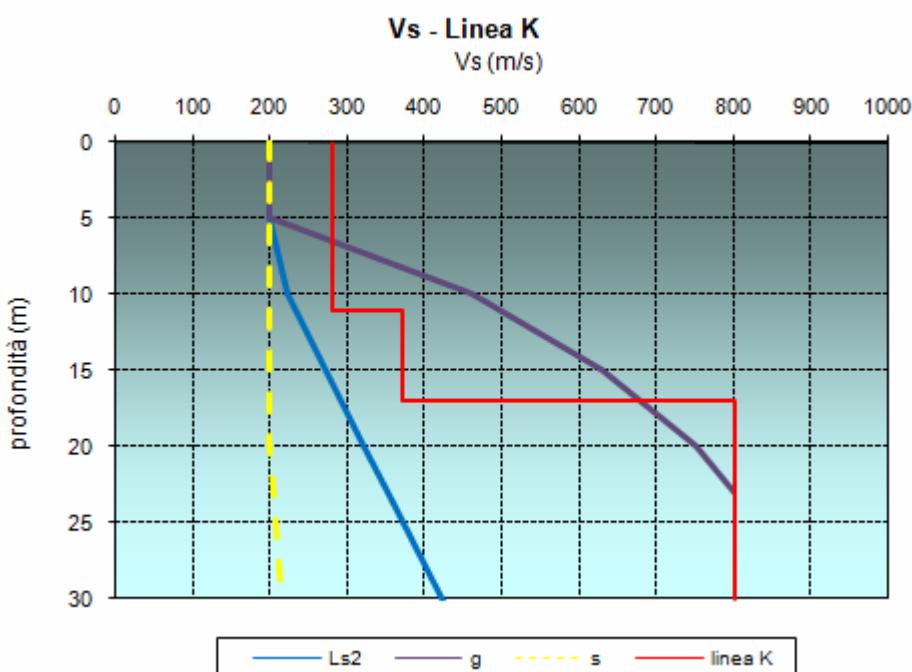


Fig. 2.2

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

Tipo suolo	<b>B</b>	
	Periodo (s)	Fa Regione Lombardia
0.1-0.5	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>
0.5-1.5	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>

Tav. 2.2



IL GEOLOGO  
DOTT. GIOVANNI BASSI  
Dicembre 2017