GENNAIO 2020

Regione Lombardia Provincia di Pavia

COMUNE DI GROPELLO CAIROLI

STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO A SUPPORTO DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO REDATTO AI SENSI DELLA D.G.R.LOMB. N° IX/2616 DEL 30/11/2011 E D.G.R. LOMB N° X/6738 DEL 19/06/2017

ALLEGATO 3
APPROFONDIMENTO SISMICO
STUDIO DI II LIVELLO

committenza:

Comune di Gropello Cairoli
Via Libertà, 47
27027 Gropello Cairoli (PV)

a cura di:

Studio Geologico Trilobite

Via S.L. Beccari n. 2 - 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel./Fax: 0382.81.70.38 -
e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

ALL.3

APPROFONDIMENTO SISMICO
STUDIO DI II LIVELLO

REL.081-19

INDICE

1 - CARATTERIZZAZIONE SISMICA LOCALE.....2
2 - VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA DELL'AREA 11
2.1 - LINEA L1_ Loc. C.na Annunciata.....13
2.2 - LINEA L2_ Loc. C.na Morgarolo.....17
2.3 - LINEA L3_ Loc. C.na Cà Rossa.....20
3 - CONCLUSIONI.....23

Documentazione fotografica

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

1 - CARATTERIZZAZIONE SISMICA LOCALE

Al fine di fornire ulteriori indicazioni sul comportamento del sottosuolo nell'ipotesi di un evento sismico sono stati eseguiti, in data 09 gennaio 2020, tre stendimenti sismici con metodologia MAWS, ovvero mediante la realizzazione di una base sismica attrezzata con geofoni con registrazione verticale per la ricezione delle onde P (onde di compressione) le quali tramite alcune trasformazioni, consentono di risalire alla velocità delle onde S (onde di taglio).

Le tre stese sismiche sono state indicate in Tavola 7, con i corrispettivi codici di riconoscimento (L1, L2 e L3). Si specifica che i punti di indagine sono stati ubicati in base alla distribuzione areale del dato già disponibile e posizionate ove non si era in possesso di altre informazioni dal punto di vista sismico. In tal modo si è ottenuta una buona copertura del territorio comunale. Nello specifico, lo stendimento L1 è stato ubicato nelle vicinanze di C.na Annunciata; la linea L2 in Località C.na Morgarolo e la linea L3 zona C.na Cà Rossa.

Le stese sismiche hanno lunghezza pari a 72 m e distanza intergeofonica 3,0 metri, mentre l'energizzazione è stata effettuata a distanza di 3,0 m dal primo geofono. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente di 10Kg in senso verticale su di una piastra aderente al suolo.

L'energizzazione è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Di seguito si riporta il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione:

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

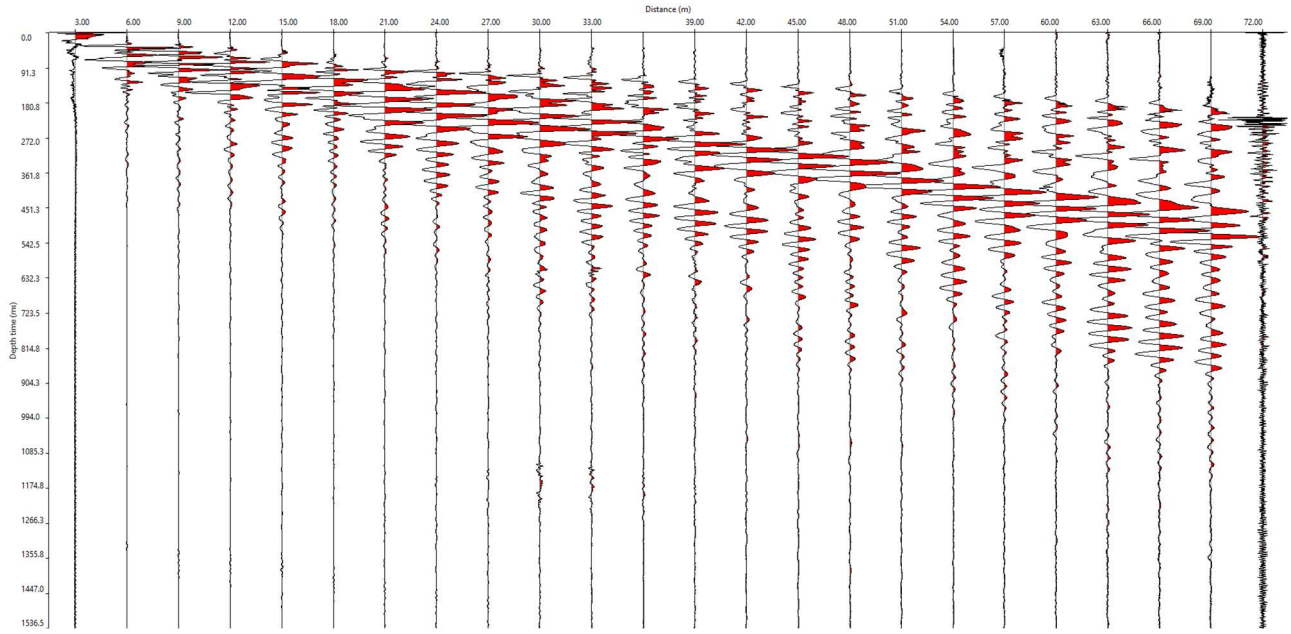

Fig.1.1 – Sismogramma della base sismica L1.

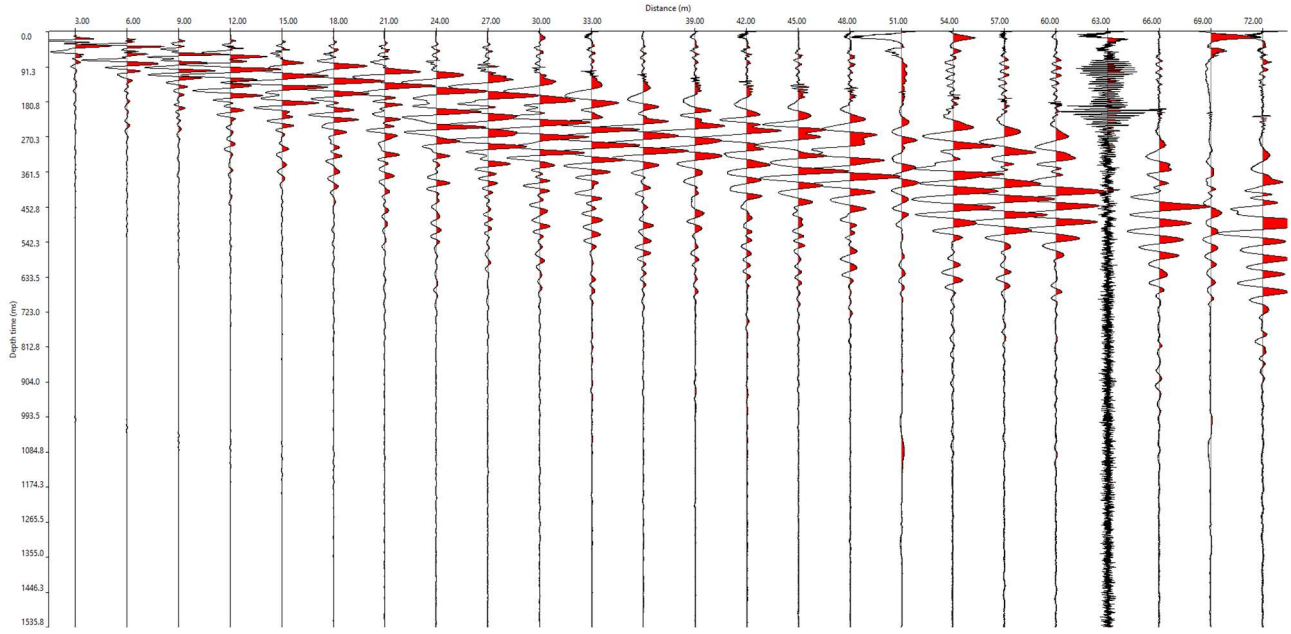

Fig. 1.2 – Sismogramma della base sismica L2.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

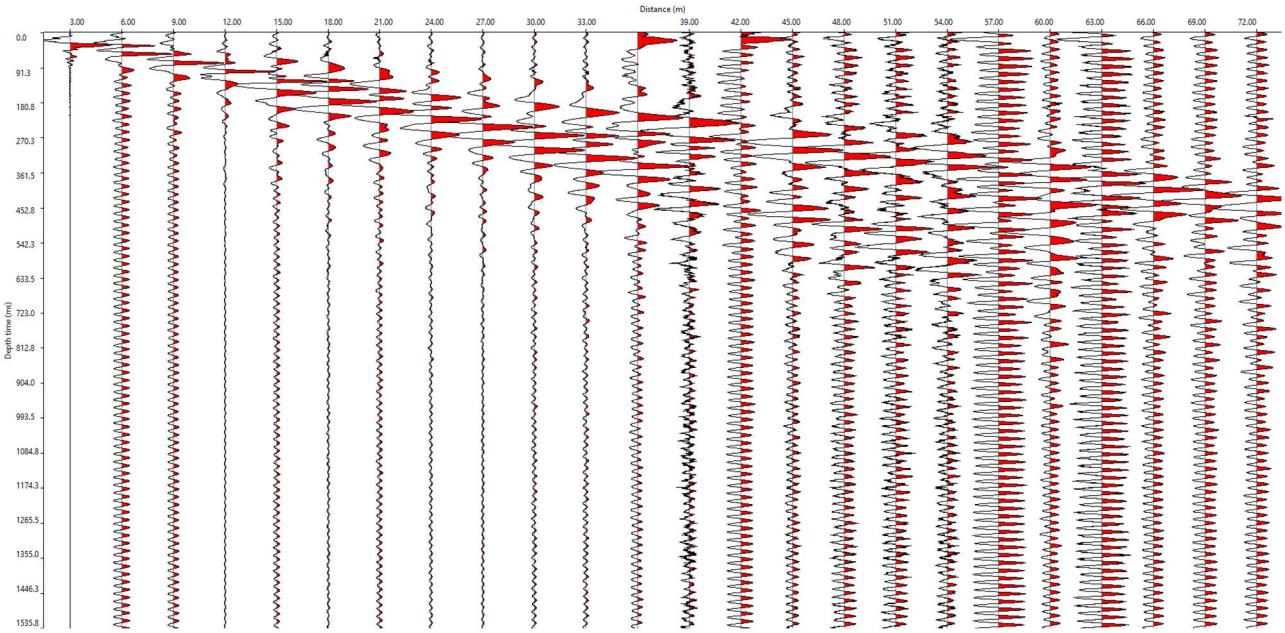

Fig. 1.3 – Sismogramma della base sismica L3.

L'elaborazione dei dati ha consentito di estrapolare la trasformata di Fourier dalla quale si risale alla curva di dispersione confrontata, mediante sovrapposizione, con quella teorica è possibile ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

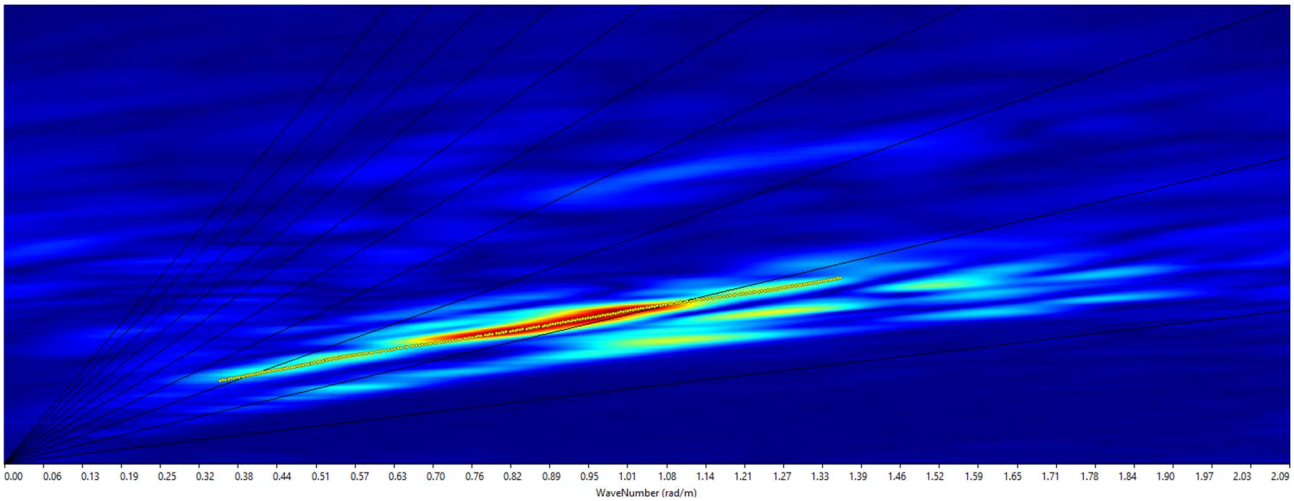

Fig. 1.4 – Trasformata di Fourier della base sismica L1

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

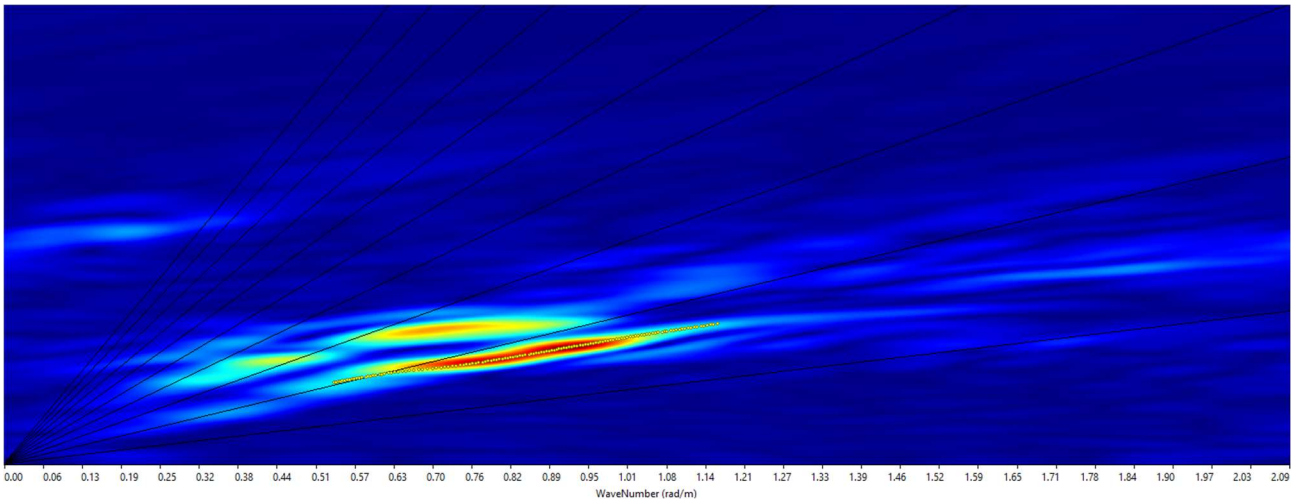

Fig. 1.5 – Trasformata di Fourier della base sismica L2

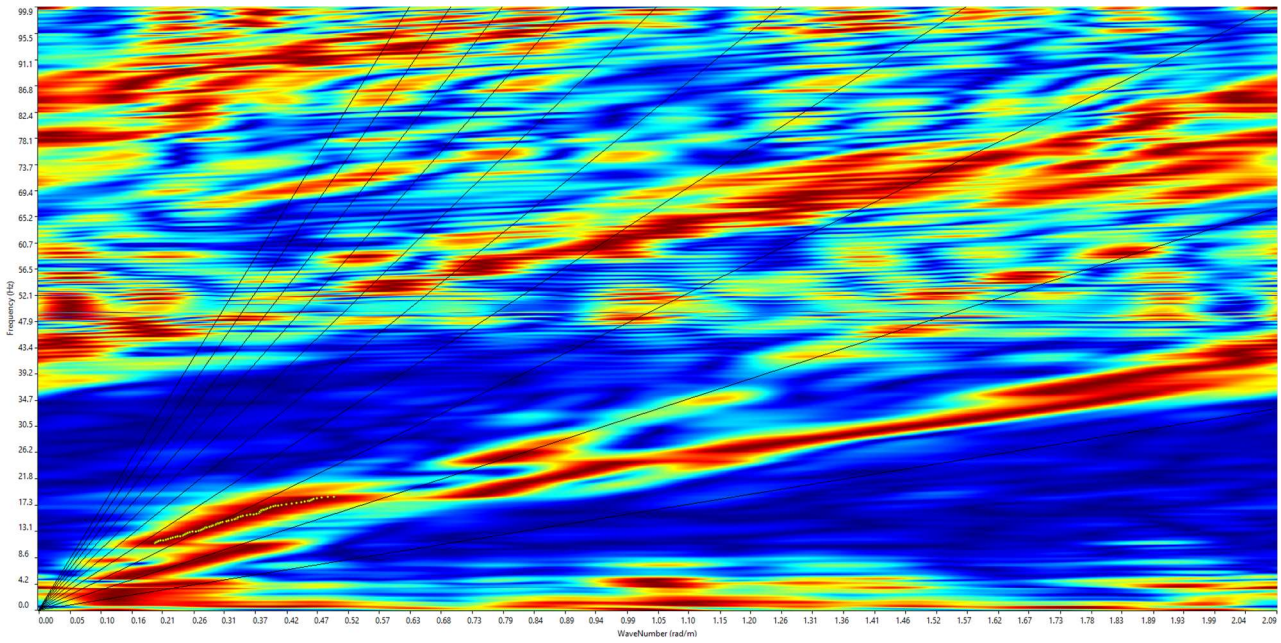

Fig. 1.6 – Trasformata di Fourier della base sismica L3

Di seguito si riportano le curve di dispersione, inerenti alle tre linee sismiche.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

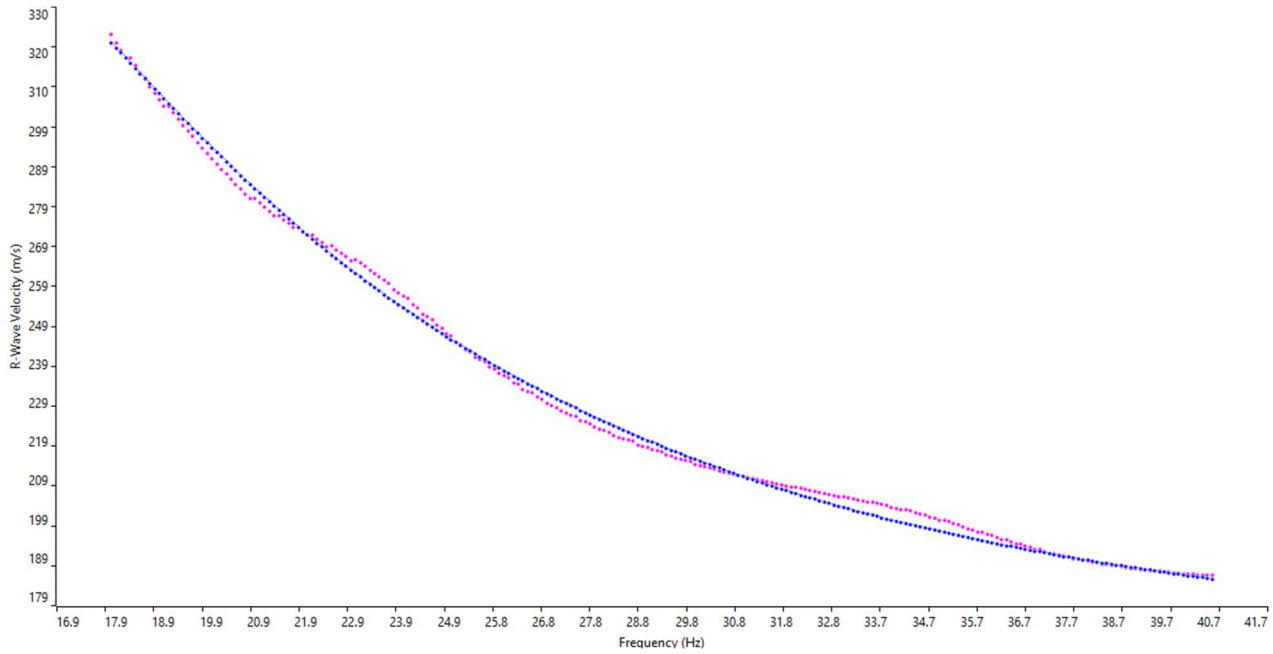

Fig. 1.7 – Curva di dispersione della base sismica L1 (in magenta la curva di dispersione ottenuta, in blu quella calcolata)

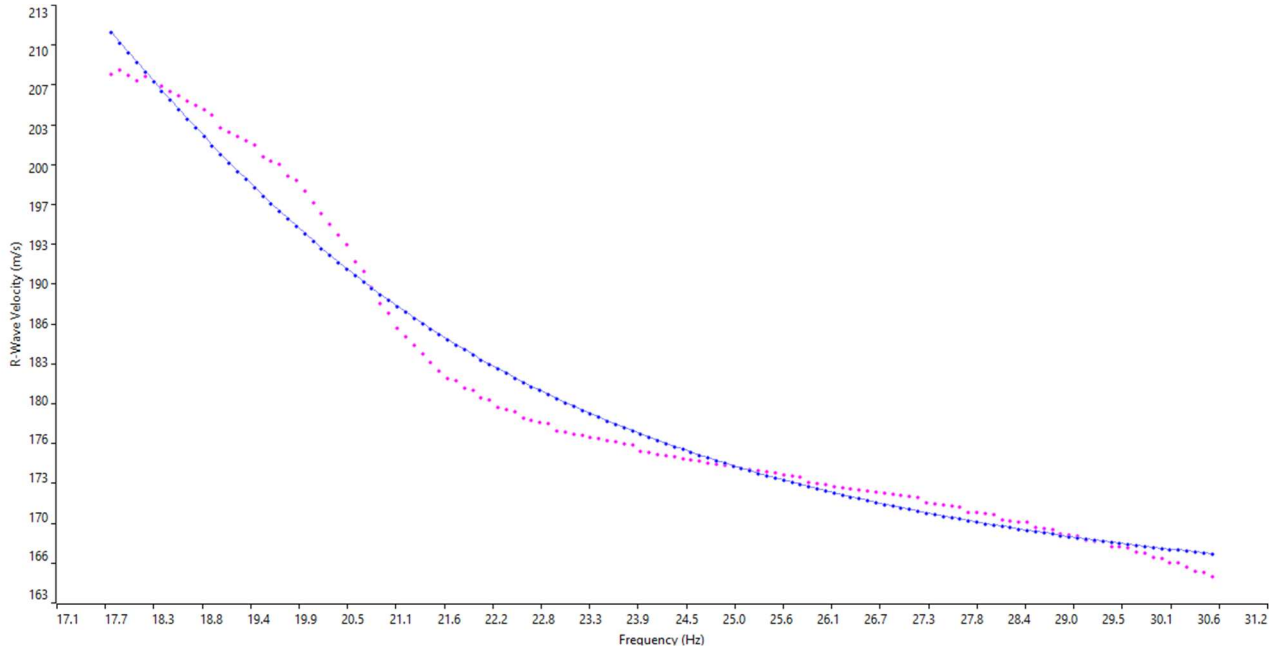

Fig. 1.8 – Curva di dispersione della base sismica L2 (in magenta la curva di dispersione ottenuta, in blu quella calcolata)

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

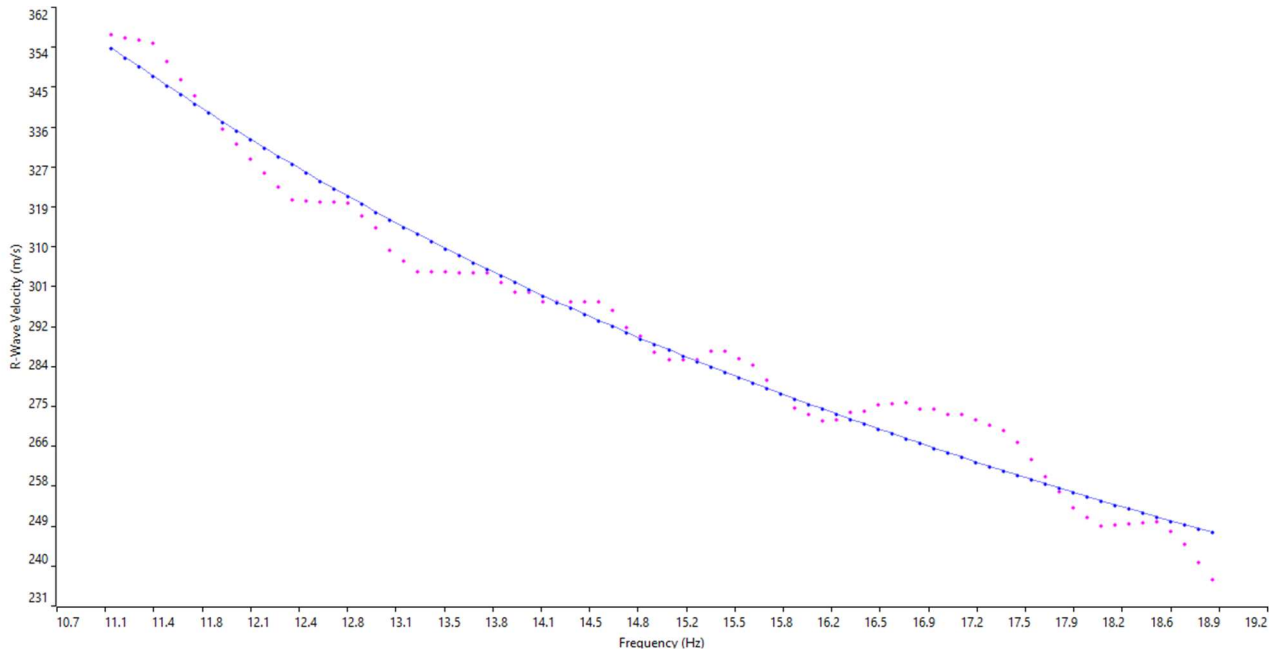

Fig. 1.9 – Curva di dispersione della base sismica L3 (in magenta la curva di dispersione ottenuta, in blu quella calcolata)

Dalle diverse elaborazioni è stato possibile identificare diversi orizzonti aventi differenti valori di velocità come di seguito indicato.

L1		
Spessore	**Profondità** (m)	**V_s** (m/sec)
1,5	0,0-1,5	**173**
1,5	1,5-3,0	**211**
3,4	3,0-6,4	**319**
2,7	6,4-9,1	**455**
3,4	9,1-12,5	**487**
4,0	12,5-16,5	**511**
7,5	16,5-24,0	**528**
6,0	24,0-30,0	**578**

Tabella 1.10 – Valori delle V_s

L2		
Spessore	**Profondità** (m)	**V_s** (m/sec)
1,8	0,0-1,8	**177**
2,0	1,8-3,8	**167**
2,2	3,8-6,0	**299**
2,5	6,0-8,5	**314**
2,8	8,5-11,3	**287**
4,2	11,3-15,5	**336**
8,1	15,5-23,6	**335**
6,4	23,6-30,0	**409**

Tabella 1.11 – Valori delle V_s

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

L3		
Spessore	**Profondità** (m)	**V_s** (m/sec)
4,2	0,0-4,2	**205**
5,3	4,2-9,5	**333**
4,7	9,5-14,2	**413**
8,5	14,2-22,7	**531**
7,3	22,7-30,0	**567**

Tabella 1.12 – Valori delle V_s

Di seguito viene riportato il diagramma delle velocità delle onde S in funzione della profondità:

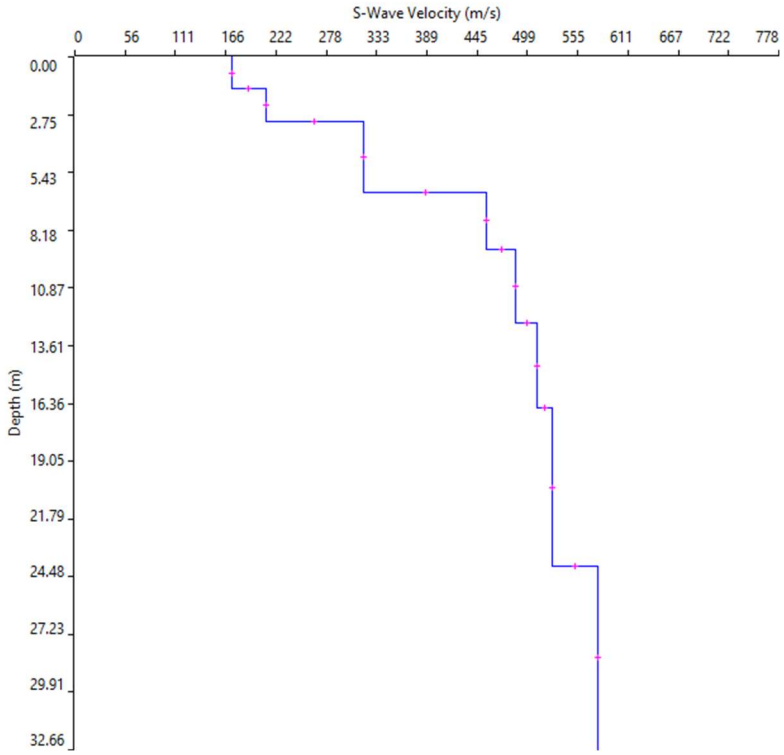

Fig. 1.13– Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

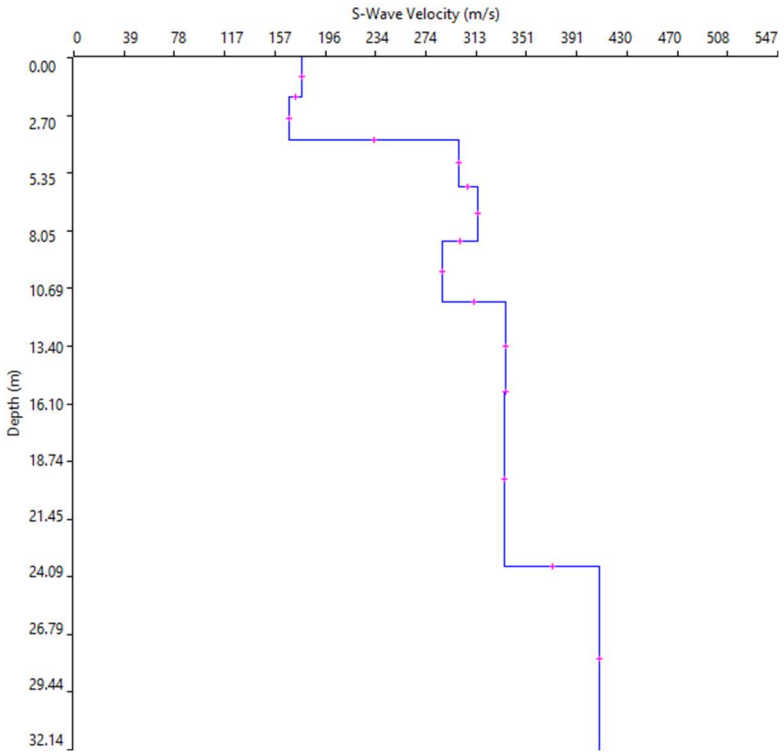

Fig. 1.14 – Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L2

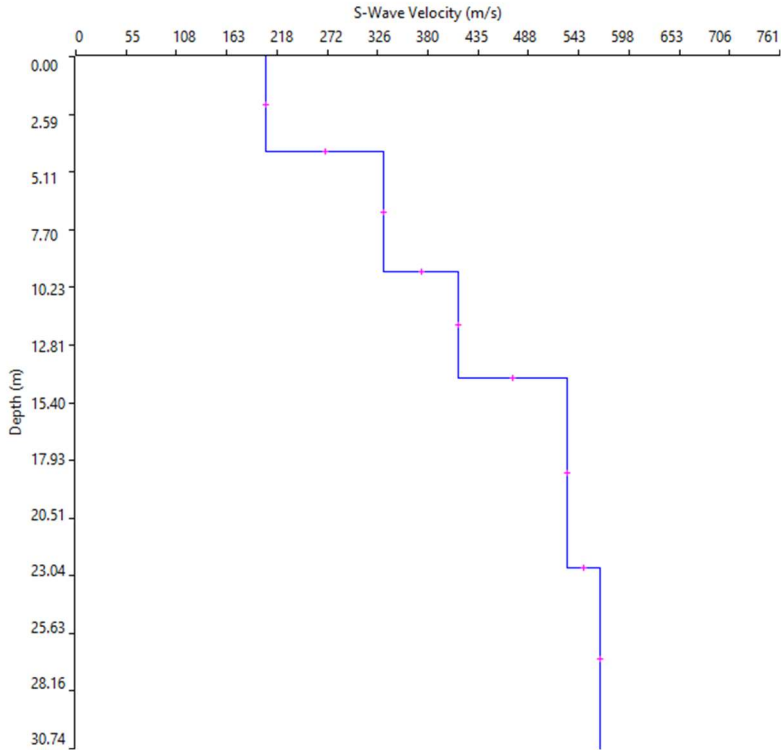

Fig. 1.15 – Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L3

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

I suoli di fondazione sono suddivisi in cinque classi (A, B, C, D, E) in base alle loro caratteristiche stratigrafiche ed alla velocità media delle onde sismiche di taglio (trasversali), ovvero alle $Vs_{,eq}$:

$$Vs_{,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{Vs,_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esimo strato

N = Numero di strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $Vs_{,eq}$ è definita dal parametro $Vs_{,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso specifico, per le indagini eseguite si sono ottenuti i seguenti valori di $Vs_{(eq)}$:

- **$Vs_{,eq}$ = $Vs_{(30)}$ = 418 m/s riferito all'attuale piano campagna per la linea L1;**
- **$Vs_{,eq}$ = $Vs_{(30)}$ = 301 m/s riferito all'attuale piano campagna per la linea L2;**
- **$Vs_{,eq}$ = $Vs_{(30)}$ = 391 m/s riferito all'attuale piano campagna per la linea L3.**

Secondo lo schema presente nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. LL.PP. 17 Gennaio 2018), **i terreni indagati, in riferimento al piano campagna, risultano appartenere:**

- **per le linee L1 e L3**, **alla categoria di sottosuolo di tipo B,** ovvero "*Rocce tenere e depositi di terreni grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $Vs_{,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s*";
- **per la linea L2, alla categoria di sottosuolo di tipo C,** ovvero "*Depositi di terreni grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente*

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $Vs_{,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

L1 e L3

L2

Tabella 1 – Categoria di sottosuolo (tratto dalla Tabella 3.2.II delle NTC 2018).

2 - VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA DELL'AREA

Utilizzando i risultati che emergono dall'esecuzione degli stendimenti geofisici con metodologia MASW, è possibile valutare la suscettibilità sismica di un'area tramite il calcolo dell'Fa (fattore di amplificazione sismica), il cui valore dipende degli effetti litologici.

Mediante tale elaborazione e con l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia si è calcolato il valore di Fa (fattore di amplificazione), da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia (Tabelle 2 e 3).

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
	Classificazione sismica del sito	**Valori di soglia**			
COMUNE		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Gropello Cairoli	**3**	1,4	1,8	2,2	2,0

Tabella 2 - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici bassi e rigidi (T compreso tra 0.1-0.5s)

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
	Classificazione sismica del sito	**Valori di soglia**			
COMUNE		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Gropello Cairoli	**3**	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 3 - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici alti e flessibili (T compreso tra 0.5-1.5s)

Per ottenere il suddetto Fa è necessario conoscere il valore di $Vs_{(eq)}$ (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità Vs degli strati intercettati e in questo modo risalire al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di suoli di tipo C.

Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura).

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

2.1 - LINEA L1_ Loc. C.na Annunciata

I dati ottenuti in campagna e riportati nella Tabella 1.10 vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per "litologia limoso sabbiosa di tipo 2".

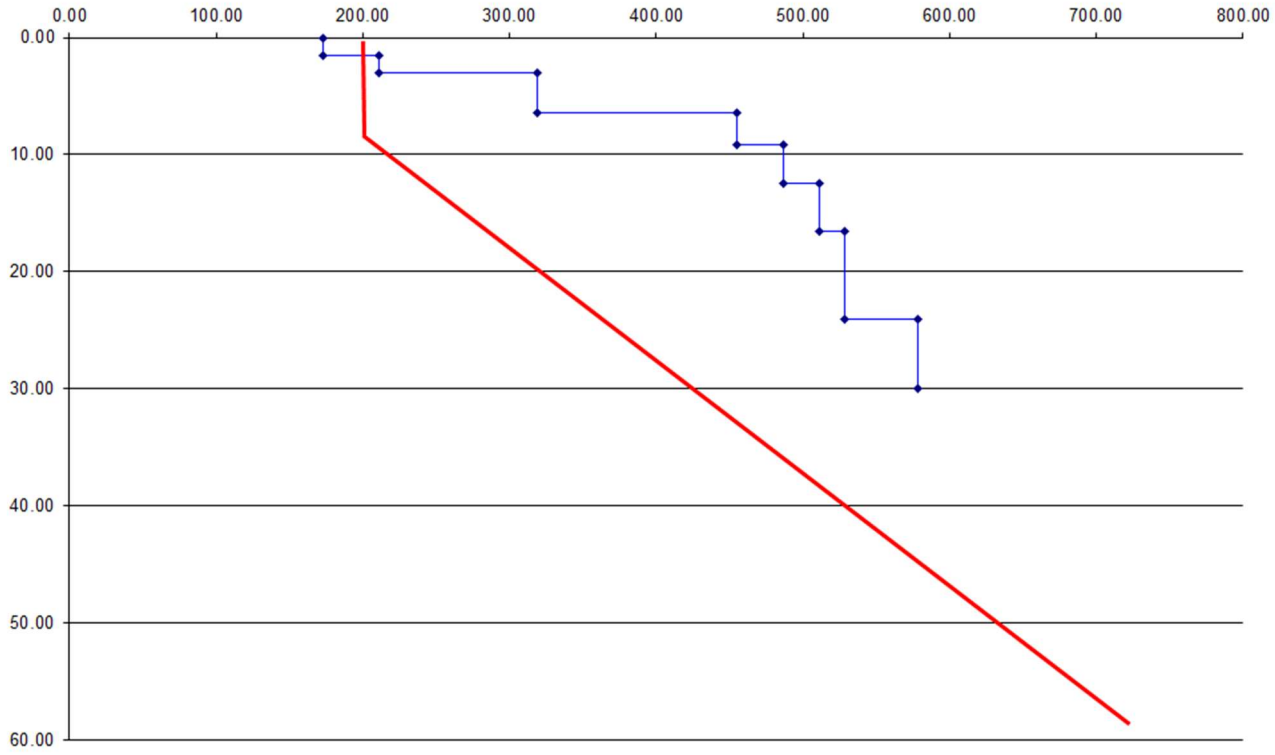

Fig. 2.1.1 - Grafico relativo alla "litologia limoso sabbiosa di tipo 2" a cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo di terreno in base alle Vs.

Come è possibile osservare l'andamento delle Vs è posizionato al di "sopra" della linea rossa che divide il campo di validità dal campo di non validità.

Per utilizzare correttamente l'abaco di fig. 2.1.2, il quale consente l'individuazione della corretta curva da utilizzare per l'individuazione dell'Fa, come vincolo viene posto che il primo strato debba avere almeno 4 m di spessore con velocità di almeno 200 m/s. Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità Vs calcolata come media pesata del valore di Vs degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore. Successivamente, ottenuta la velocità del primo strato ed il relativo spessore, si riportano questi valori all'interno dell'abaco (fig. 2.1.2) al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare (fig. 2.1.3 e 2.1.4) per ottenere il valore di Fa. Tale parametro (Fa) verrà confrontato con quello

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0,1-0,5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0,5-1,5 s - riferito a strutture più alte e flessibili.

Nel nostro caso è stata effettuata la media pesata relativa ai primi 6,4 m. Si è così ottenuta una velocità del "primo strato" di 259 m/s, arrotondabile a 300 m/s, in quanto la normativa indica che il valore di *Vs* dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (D.G.R. IX/2616 §2.2.2).

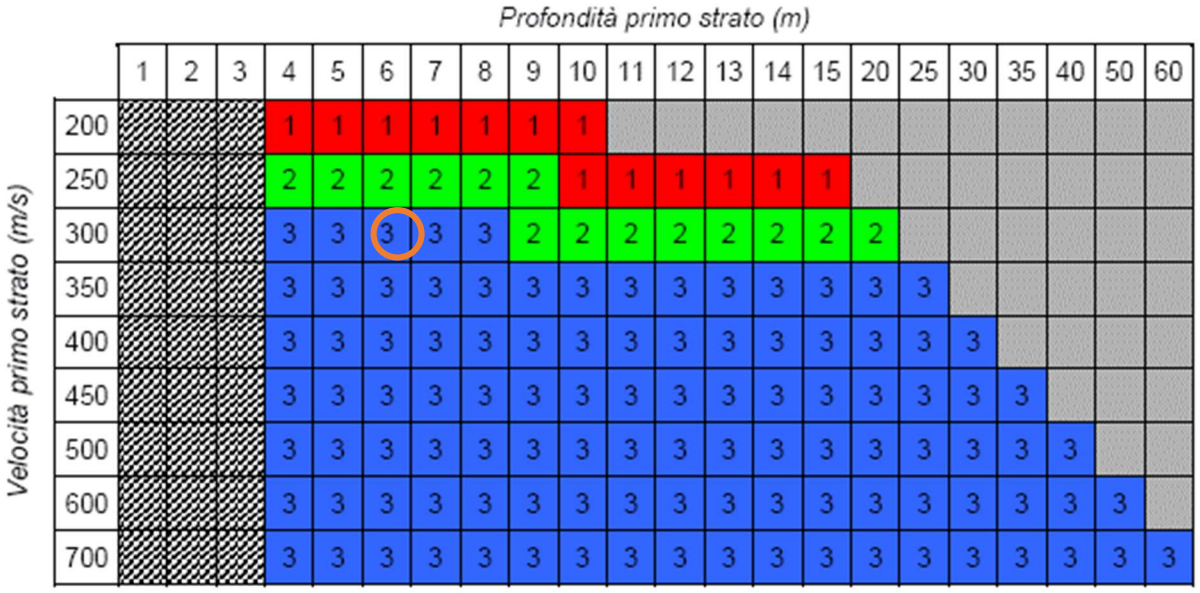

Fig. 2.1.2 - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di Fa, grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 3 (cerchio arancio nel grafico di fig.2.1.2), che corrisponde alla curva 3 "blu" di fig. 2.1.3 e 2.2.4.

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito. Nel caso la velocità ottenuta dall'indagine non raggiungesse gli 800 m/s, occorre incrementare la velocità e la profondità delle onde, utilizzando un passo adeguato, fino all'intercettazione degli 800 m/s, come è stata effettuato nel presente caso.

Per la determinazione del periodo si utilizza la seguente equazione:

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vsi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

Stendimento sismico	Valore del periodo T calcolato
L1	0,39 s

Tabella 4 - Valore del periodo T calcolato

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento di fig. 2.1.3 e fig. 2.1.4 per la litologia limoso sabbiosa di tipo 2 e riferiti rispettivamente ad edifici bassi e rigidi e ad edifici alti e flessibili.

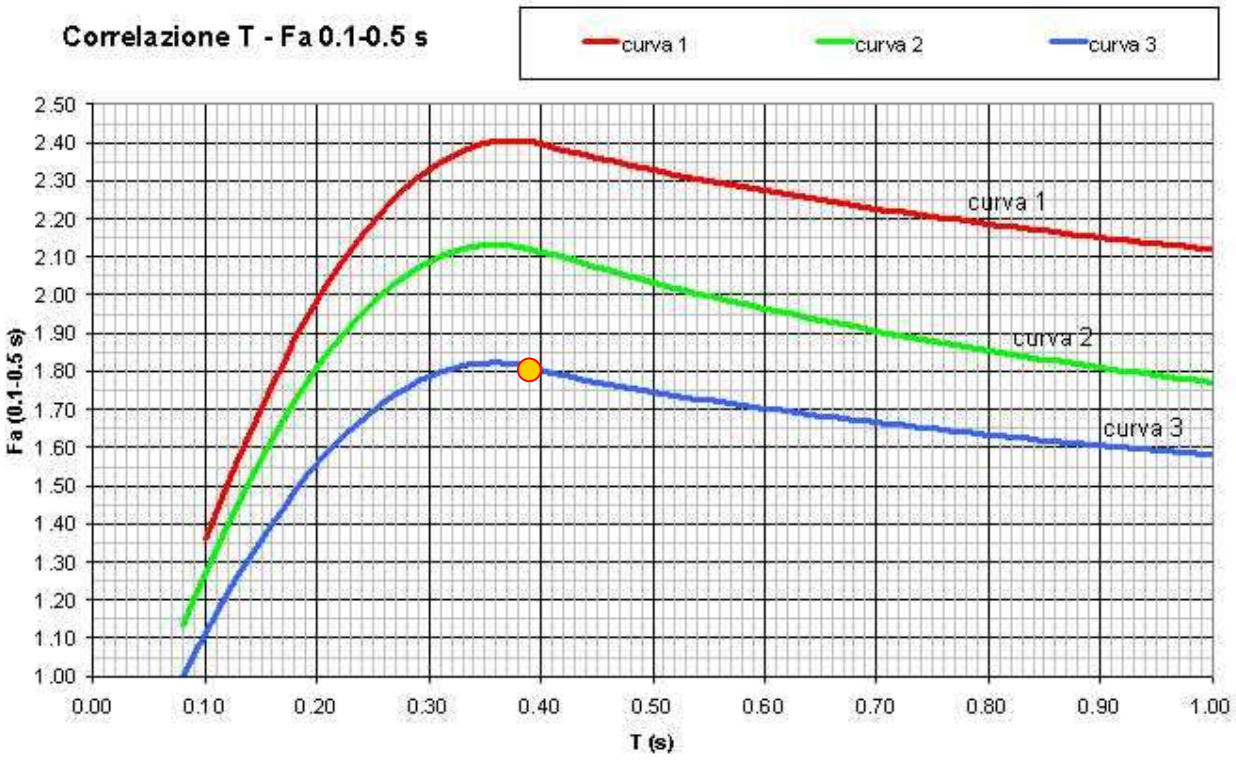

Fig. 2.1.3 – Abaco di riferimento per la litologia limoso sabbiosa di tipo 2 per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

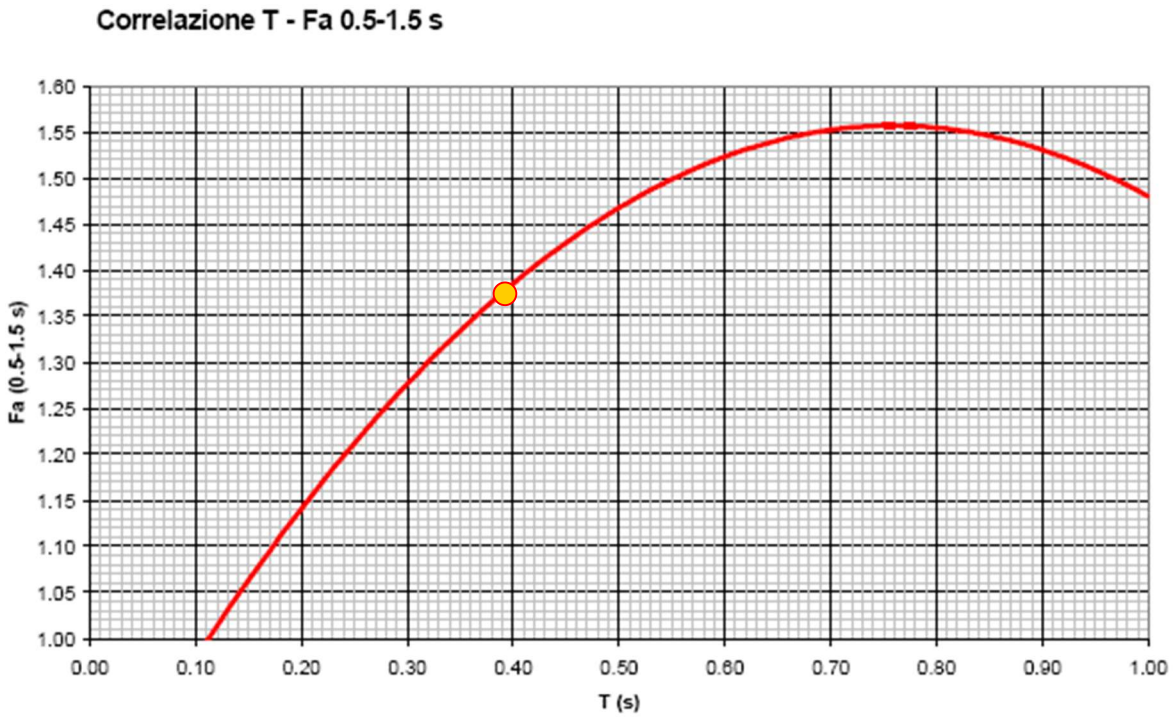

Fig. 2.1.4 – Abaco di riferimento per la litologia limoso sabbiosa di tipo 2 per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

La procedura prevede di valutare Fa con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con il corrispettivo valore di soglia, considerando una variabilità di ±0,1, che tiene conto la variabilità del valore di Fa ottenuto.

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo (T=0,39), identifichi sulla curva blu un valore di **Fa**, approssimato alla prima cifra decimale, **pari a 1,8 per edifici bassi e rigidi (Fa_{soglia} di riferimento per i terreni di tipo B=1,4) e Fa 1,4 per edifici alti e flessibili (Fa_{soglia} di riferimento per i terreni di tipo B=1,7).**

Ne deriva che nel caso di edifici e strutture alte e flessibili il valore di Fa calcolato è inferiore al valore di soglia, mentre per edifici bassi e rigidi il valore di Fa è maggiore a quello di soglia, tuttavia la normativa regionale vigente prevede all'All. 5 "punto 2.2.2 Effetti litologici" due possibilità:

- il passaggio allo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore;
- studio di terzo livello.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

Pertanto, in accordo con la vigente normativa (D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011), è possibile utilizzare in fase di progettazione la categoria di suolo superiore.
Tale scelta è possibile per il fatto che, utilizzando la categoria di suolo superiore, ovvero la categoria di suolo C, il fattore Fa calcolato (Fa=1,8) è uguale al valore Fa di riferimento pari a 1,8 per un suolo C.

Concludendo, nel sito L1, lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo B risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito solo nel caso di edifici e strutture alte e flessibili, mentre in caso di edifici e strutture basse e rigide è necessario passare alla categoria di suolo successivo, ovvero di tipo C.

2.2 - LINEA L2_ Loc. C.na Morgarolo

Ripetendo la medesima procedura di analisi adottata per la linea 1, si verifica che i dati di Tabella 1.11 rientrano nella scheda relativa al grafico della "litologia sabbiosa".

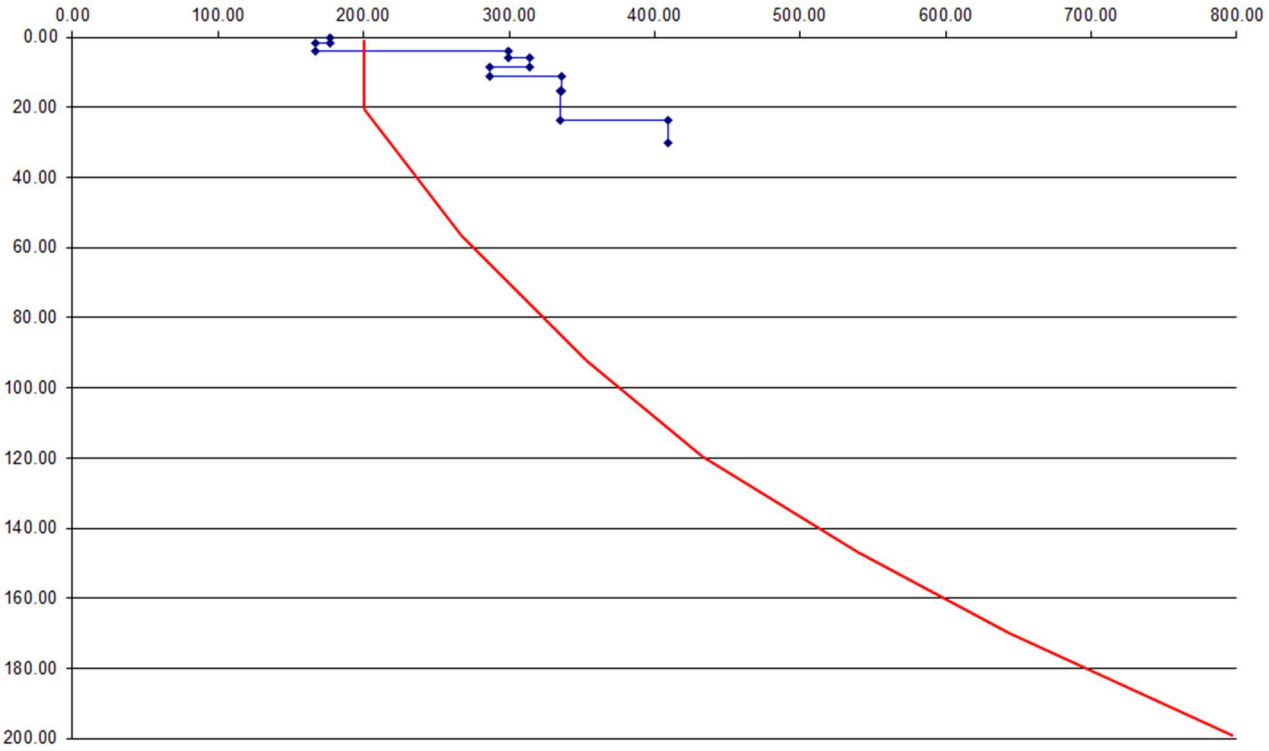

Fig. 2.2.1 - Grafico relativo alla "litologia sabbiosa" a cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo di terreno in base alle Vs.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

La media pesata delle velocità entro i primi 6,0 metri di profondità da p.c. risulta di 218 m/sec, il che ci consente di assimilare tale valore a 250 m/sec, in quanto la normativa indica che il valore di Vs dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (D.G.R. IX/2616 §2.2.2).

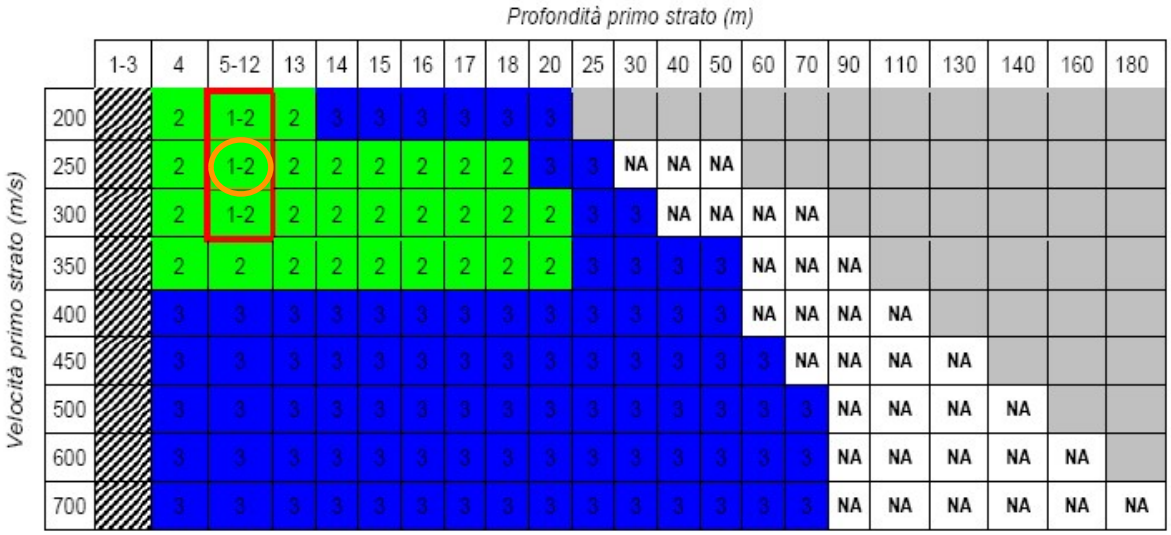

Fig. 2.2.2 - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di Fa, grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2 (cerchio arancio nel grafico di fig.2.2.2), che corrisponde alla curva 2 verde di fig. 2.2.3 e 2.2.4).

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito.

Stendimento sismico	**Valore del periodo T calcolato**
L2	0,56 s

Tabella 5 - Valore del periodo T calcolato

Si è potuti infine risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento di fig. 2.2.3 e fig. 2.2.4 per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi e rigidi e ad edifici alti e flessibili.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

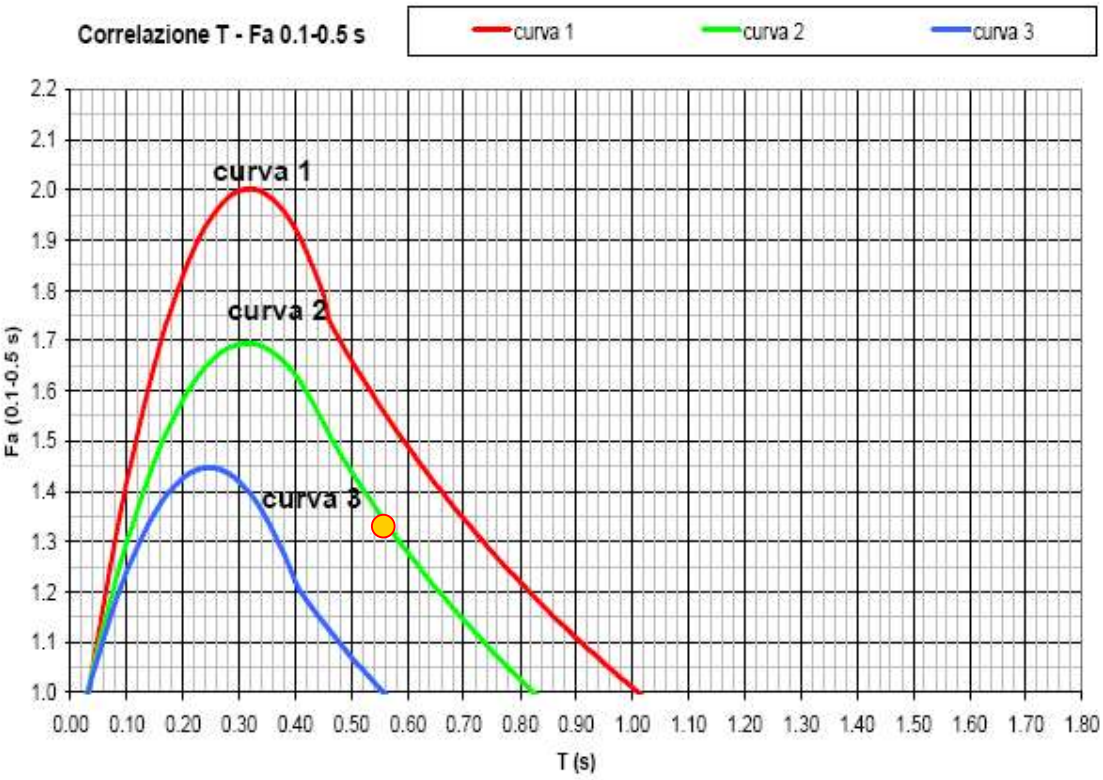

Fig. 2.2.3 – Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)

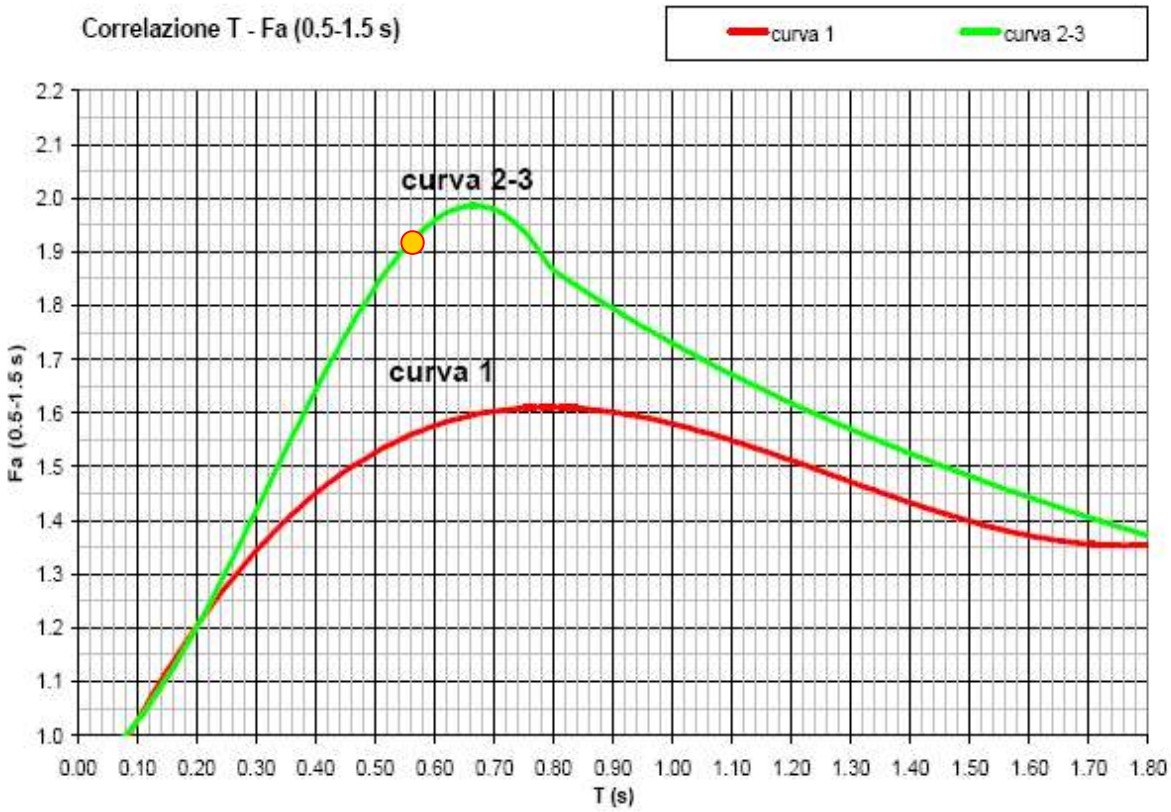

Fig. 2.2.4 – Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

La procedura prevede di valutare Fa con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con il corrispettivo valore di soglia, considerando una variabilità di ±0,1, che tiene conto la variabilità del valore di Fa ottenuto.

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo (T=0,56), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa**, approssimato alla prima cifra decimale, **pari a 1,3 per edifici bassi e rigidi (Fa_{soglia} di riferimento per i terreni di tipo C=1,8) e Fa 1,9 per edifici alti e flessibili (Fa_{soglia} di riferimento per i terreni di tipo C=2,4).**

Ne deriva che sia nel caso di edifici e strutture basse e rigide (T compreso tra 0.1-0.5s) che alte e flessibili (T compreso tra 0.5-1.5s) il valore di Fa è inferiore a quello di soglia, pertanto **lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo C risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione litologica del sito**.

2.3 - LINEA L3_ Loc. C.na Cà Rossa

Ripetendo la medesima procedura di analisi adottata per le linee precedenti, si verifica che i dati di Tabella 1.12 rientrano nella scheda relativa al grafico della "litologia sabbiosa".

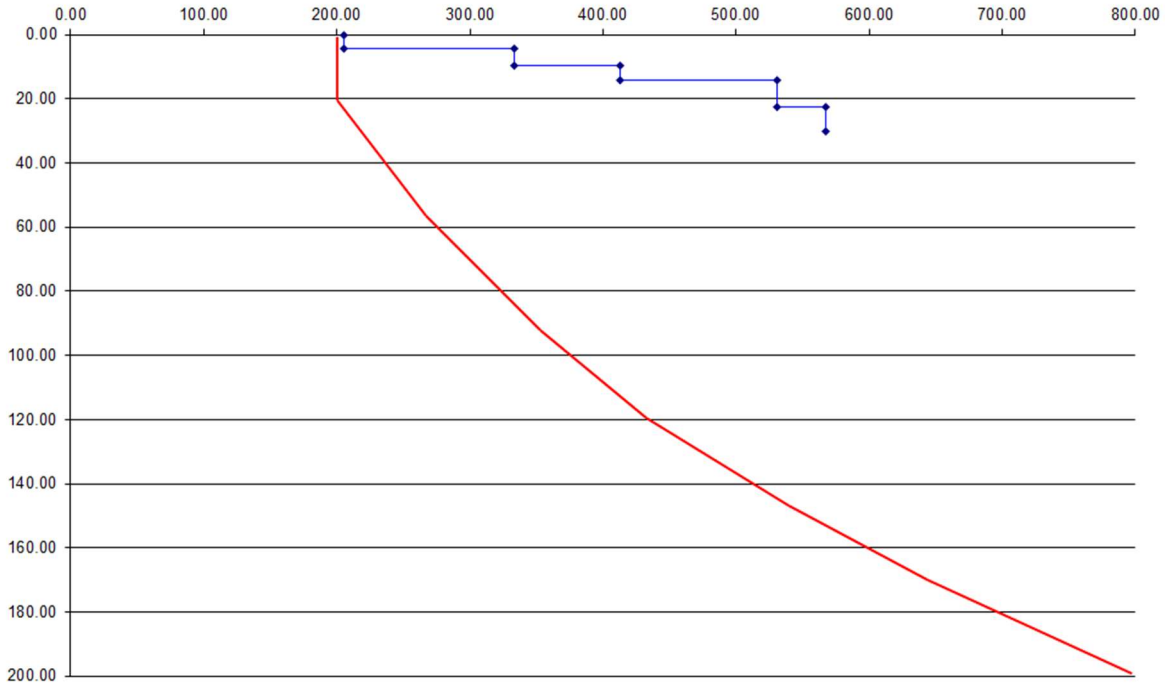

Fig. 2.3.1 - Grafico relativo alla "litologia sabbiosa" a cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo di terreno in base alle Vs.

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

La media pesata delle velocità entro i primi 4,2 metri di profondità da p.c. risulta di 205 m/sec, il che ci consente di assimilare tale valore a 250 m/sec, in quanto la normativa indica che il valore di Vs dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (D.G.R. IX/2616 §2.2.2).

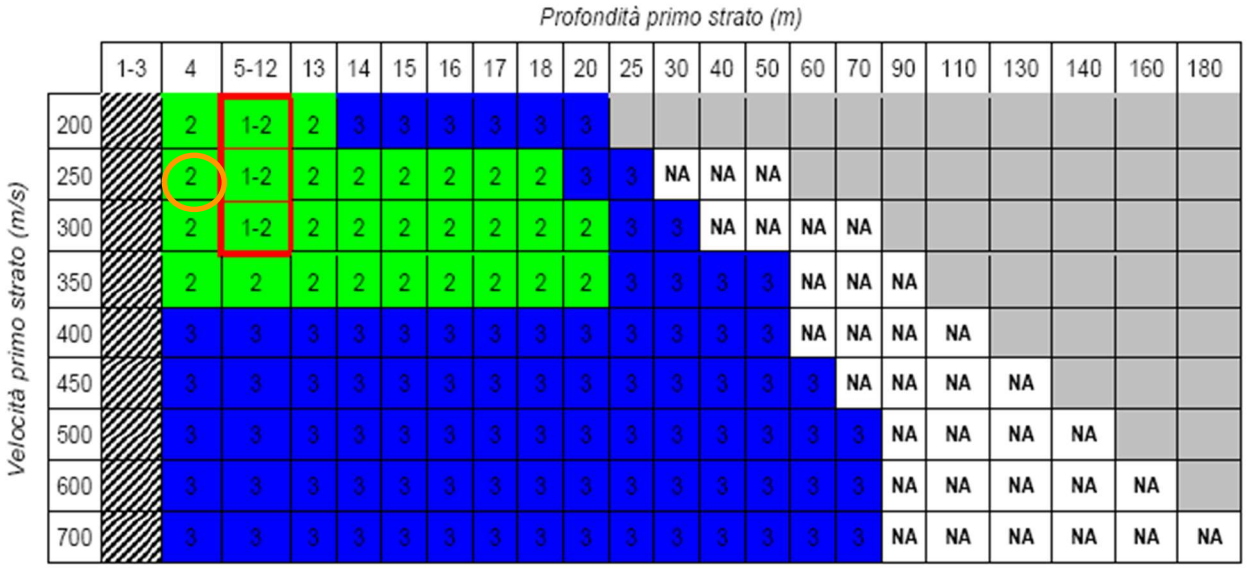

Fig. 2.3.2 - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di Fa, grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2 (cerchio arancio nel grafico di fig.3.6), che corrisponde alla curva 2 verde di fig. 2.3.3 e 2.3.4).

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito.

Stendimento sismico	**Valore del periodo T calcolato**
L3	0,34 s

Tabella 6- Valore del periodo T calcolato

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

Si è potuti infine risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento di fig. 2.3.3 e fig. 2.3.4 per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi e rigidi e ad edifici alti e flessibili.

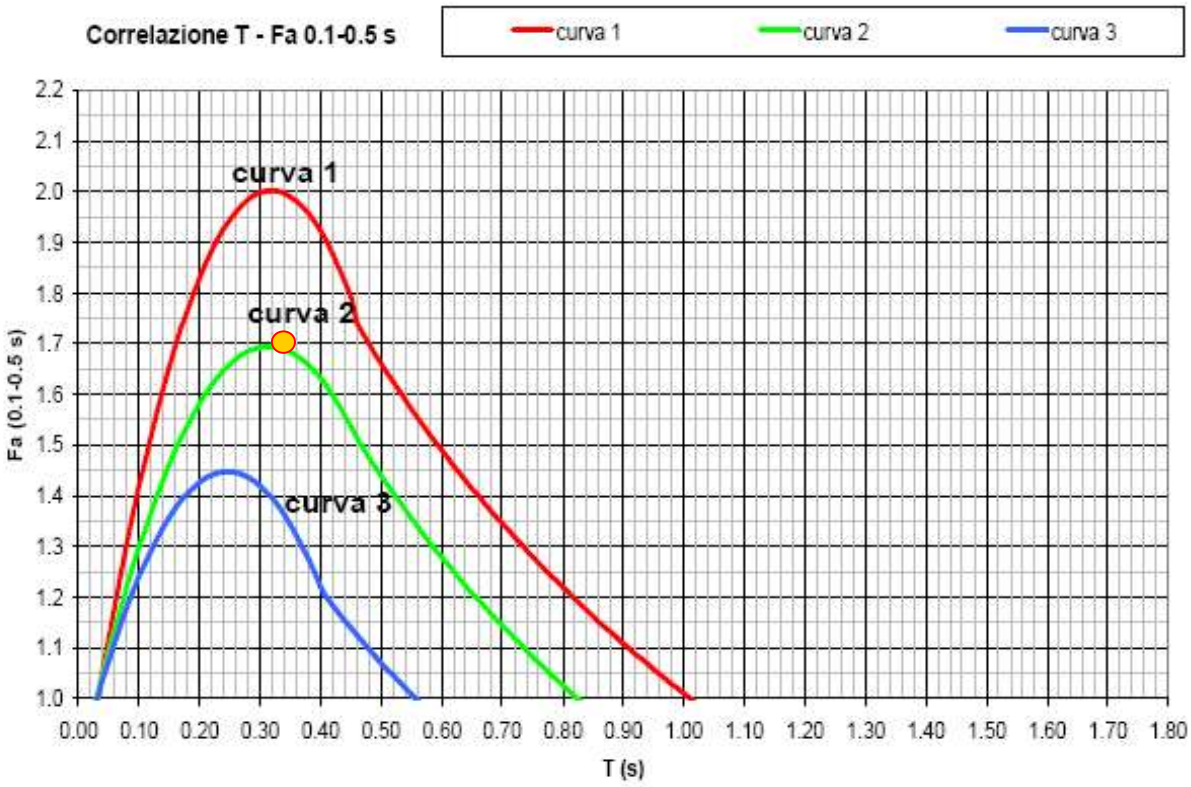

Fig. 2.3.3 – Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)

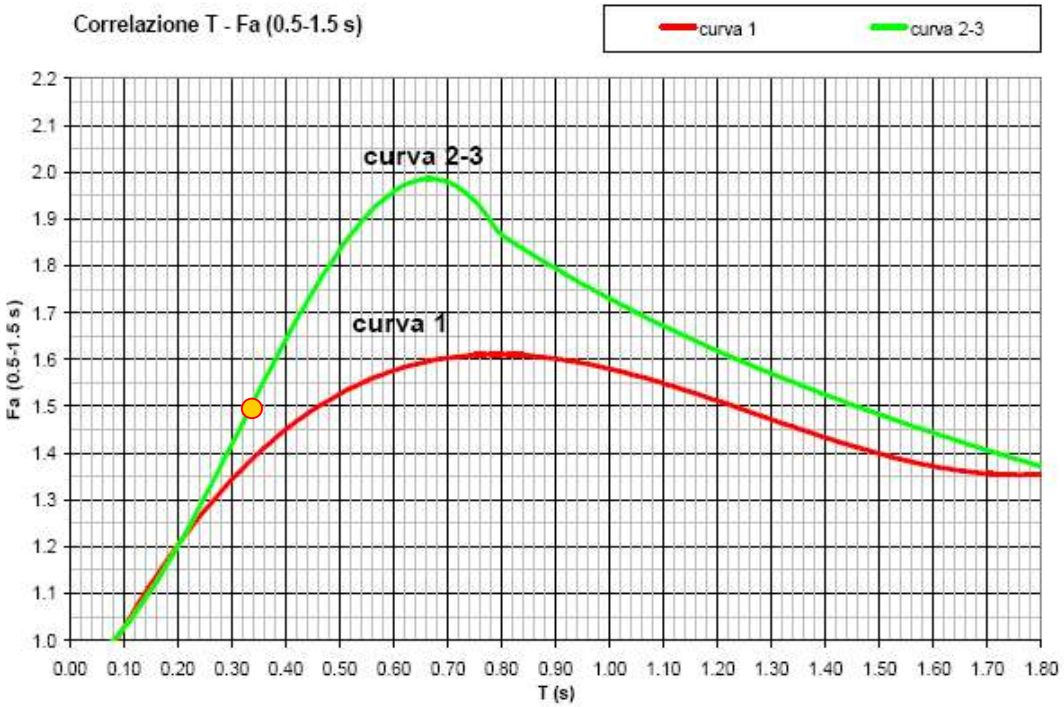

Fig. 2.3.4 – Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

La procedura prevede di valutare Fa con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con il corrispettivo valore di soglia, considerando una variabilità di ±0,1, che tiene conto la variabilità del valore di Fa ottenuto.

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo (T=0,34), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa**, approssimato alla prima cifra decimale, **pari a 1,7 per edifici bassi e rigidi (Fa_{soglia} di riferimento per i terreni di tipo B=1,4) e Fa 1,5 per edifici alti e flessibili (Fa_{soglia} di riferimento per i terreni di tipo B=1,7).**

Ne deriva che nel caso di edifici e strutture alte e flessibili il valore di Fa calcolato è inferiore al valore di soglia, mentre per edifici bassi e rigidi il valore di Fa è maggiore a quello di soglia, tuttavia la normativa regionale vigente prevede all'All. 5 "punto 2.2.2 Effetti litologici" due possibilità:

• il passaggio allo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore;

• studio di terzo livello.

Pertanto, in accordo con la vigente normativa (D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011), è possibile utilizzare in fase di progettazione la categoria di suolo superiore.

Tale scelta è possibile per il fatto che, utilizzando la categoria di suolo superiore, ovvero la categoria di suolo C, il fattore Fa calcolato (Fa=1,7) è inferiore al valore Fa di riferimento pari a 1,8 per un suolo C.

Concludendo, nel sito L3, lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo B risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito solo nel caso di edifici e strutture alte e flessibili, mentre in caso di edifici e strutture basse e rigide è necessario passare alla categoria di suolo successivo, ovvero di tipo C.

3 - CONCLUSIONI

Gli studi di secondo livello inerenti alle nuove indagini (linee sismiche L1, L2 e L3), eseguite presso Loc. C.na Annunciata, Loc. C.na Morgarolo e Loc. C.na Cà Rossa, hanno portato ad individuare:

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

- nel sito L1 (C.na Annunciata) la categoria di tipo B nel caso di edifici e strutture alte e flessibili (T compreso tra 0,5 - 1,5s) e la categoria di suolo di tipo C per edifici e strutture basse e rigide (T compreso tra 0,1 - 0,5s);
- nel sito L2 (C.na Morgarolo) la categoria di tipo C sia nel caso di edifici e strutture alte e flessibili (T compreso tra 0,5 - 1,5s) che di edifici e strutture basse e rigide (T compreso tra 0,1 - 0,5s);
- nel sito L3 (C.na Cà Rossa) la categoria di tipo B nel caso di edifici e strutture alte e flessibili (T compreso tra 0,5 - 1,5s) e la categoria di suolo di tipo C per edifici e strutture basse e rigide (T compreso tra 0,1 - 0,5s).

Sito	Categoria di suolo da indagine MASW	Studio di II livello	
		T compreso tra 0,1 - 0,5s	T compreso tra 0,5 - 1,5s
L1 – C.na Annunciata	B	**C**	B
L2 – C.na Morgarolo	C	**C**	C
L3 – C.na Cà Rossa	B	**C**	B

Tabella riassuntiva

Gropello Cairoli, gennaio 2020

Dott. Geol. Maurizio Fasani

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Stendimento sismico L1

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com

Stendimento sismico L3

STUDIO GEOLOGICO TRILOBITE – Via San L. Beccari n. 2 – 27027 Gropello Cairoli (PV)
Tel/Fax: 0382.81.70.38 – e.mail: info@studiogeologicotrilobite.com