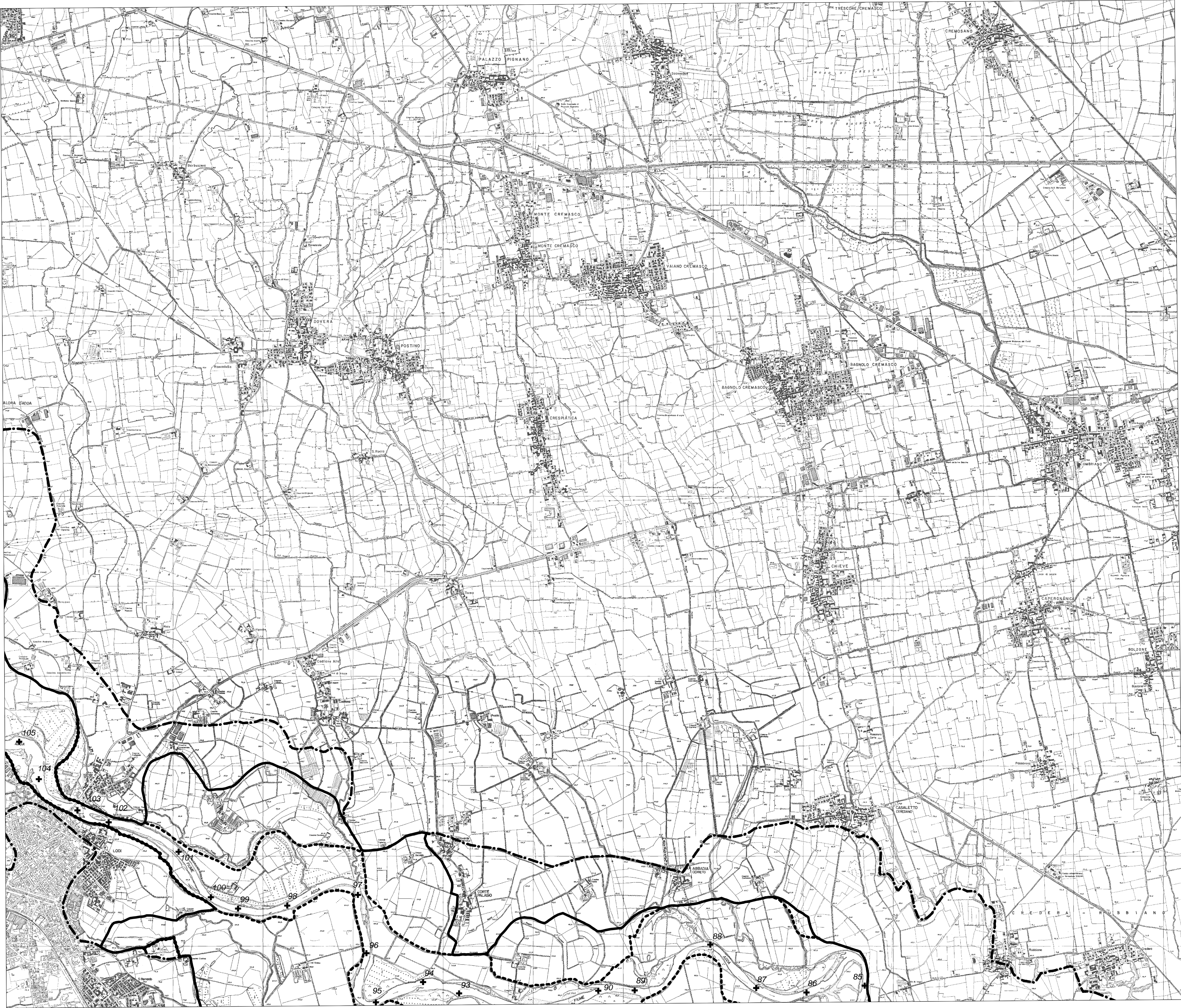


Allegato 1

TAVOLA DI  
PERIMETRAZIONE DELLE  
FASCE FLUVIALI P.A.I.  
LUNGO IL FIUME ADDA



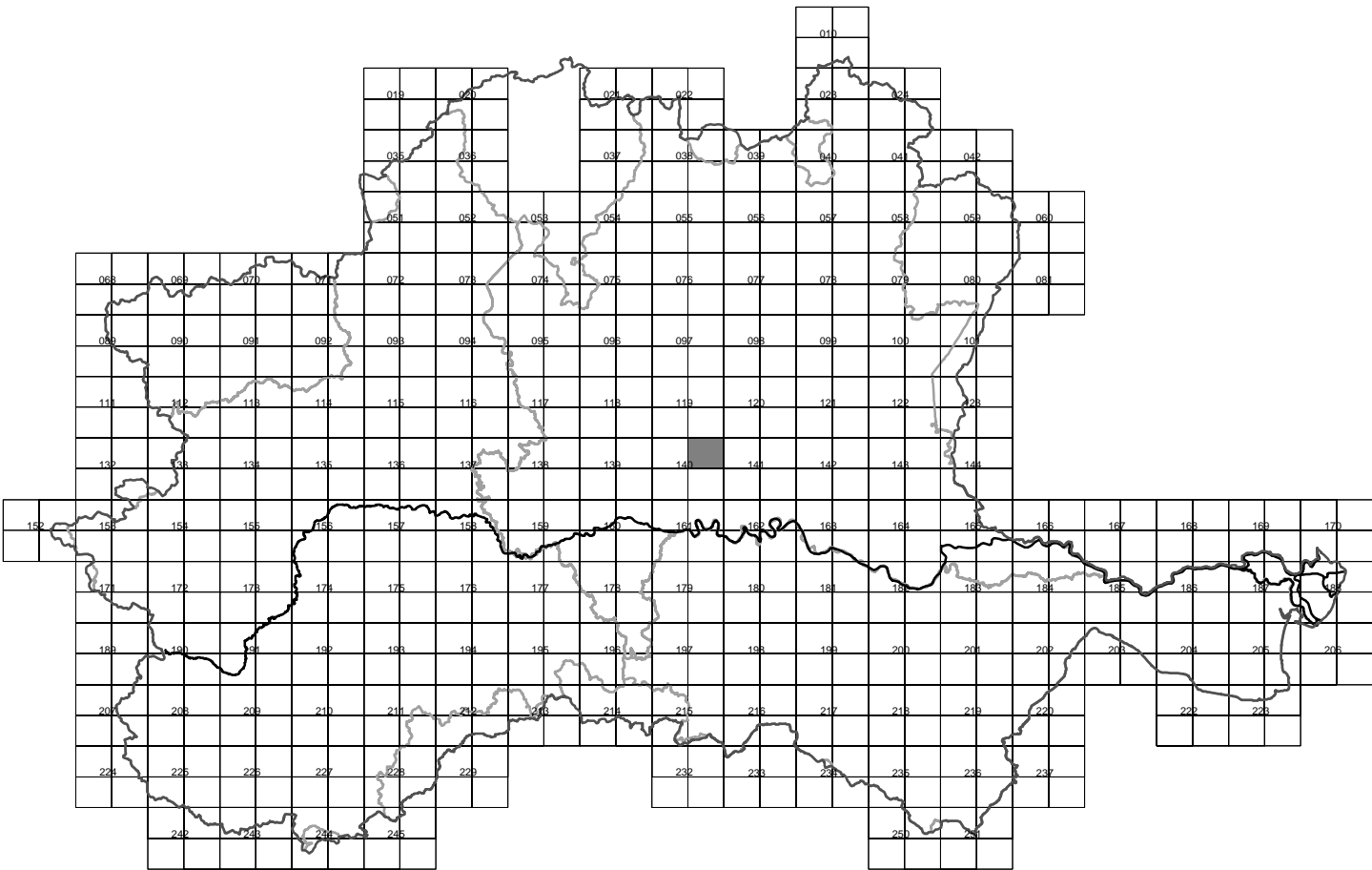
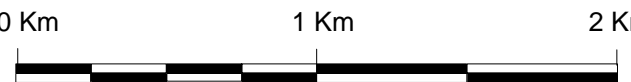


AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO  
PARMA

# Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

**Interventi sulla rete idrografica e sui versanti**  
Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter  
**Tavole di delimitazione delle fasce fluviali**

FOGLIO 140 SEZ. I - Lodi  
ADDA 05  
Scala 1:25.000

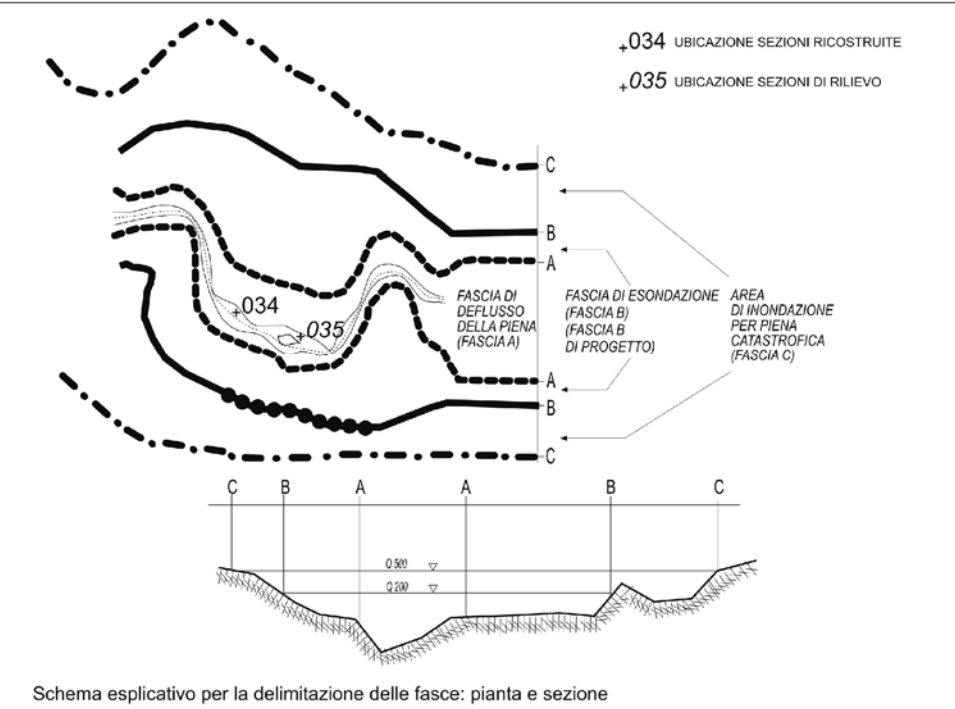


AVVERTENZA - Il PAI e altri strumenti di pianificazione di bacino, inerenti l'assetto idrogeologico, contengono rappresentazioni cartografiche delle parti di territorio soggette ad ulteriori vincoli, relativi al discorso idrogeologico. Per una lettura integrale di tali eventuali vincoli, riguardanti il territorio raffigurato nella presente carta, occorre fare riferimento a tutte le cartografie della pianificazione per l'assetto idrogeologico. Inoltre si raccomanda una verifica degli strumenti di pianificazione delle Regioni e delle Province.

Deliberazione n. 16/2006

## LEGENDA

- limite (\*) tra la Fascia A e la Fascia B
- limite (\*) tra la Fascia B e la Fascia C
- limite (\*) esterno della Fascia C
- limite (\*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C



Schema esplicativo per la delimitazione delle fasce: pianta e sezione

### Elementi conoscitivi

**area inondabile per eventi della piena di riferimento in assenza dell'intervento di realizzazione del limite del progetto**  
(solo per i corsi d'acqua per i quali è disponibile lo specifico approfondimento)

### Inquadramento

**rimando ad altra tavola e numero della tavola**

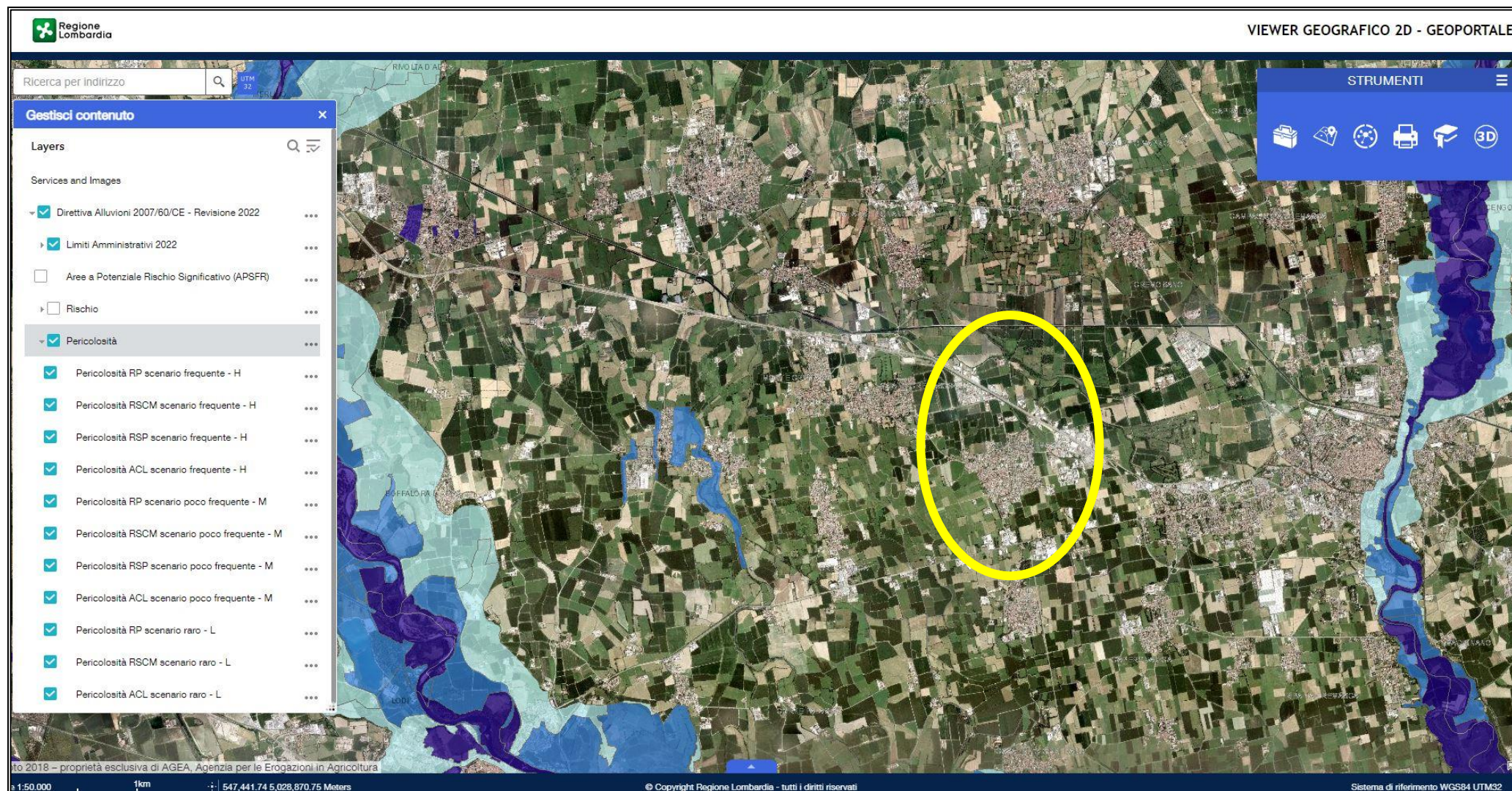
(\*) Il limite è individuato dal bordo interno del graficismo



Allegato 2

DELIMITAZIONE DELLE AREE  
ALLAGABILI – STRALCIO  
DELLE MAPPE DI  
PERICOLOSITÀ DEL PIANO  
DI GESTIONE DEI RISCHI DI  
ALLUVIONE LUNGO I FIUMI  
ADDA E SERIO





Delimitazione delle aree allagabili: stralcio della mappa di pericolosità del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione lungo i fiumi Adda e Serio - agg. 2022  
(tratta da Geoportale della Regione Lombardia)  
(nel circolo giallo il territorio di Bagnolo Cremasco)



Allegato 3

INDAGINI GEOFISICHE

E

APPROFONDIMENTO  
SISMICO DI II° LIVELLO



# Signa srl

## INDAGINI GEOFISICHE

**Committente:** dott. geol. Marco Daguati

**Comune:** Bagnolo Cremasco (Cr)

**Indagine:** Indagini geofisiche con la metodologia MASW

## RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 08-09			Numero pagine: 21		
A	24/02/09	EMISSIONE	DG	DG	DG
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

**SIGNA srl**  
Via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)  
Tel/Fax 035-806318 – Cell. 347-1445663  
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967  
[www.signasrl.it](http://www.signasrl.it); e-mail: [info@signasrl.it](mailto:info@signasrl.it)





SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<i>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

## INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO	
E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	6
3. ELABORAZIONE DATI.....	11
4. CALCOLO DELLE $V_{S30}$ .....	14

### ALLEGATI

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<b>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

## 1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di due profili sismici con la metodologia MASW, effettuati in altrettante aree situate nel territorio comunale di Bagnolo Cremasco (Cr).

La campagna di indagini è stata eseguita nella giornata del 18 Febbraio 2009 su incarico del dott. geol. Marco Daguati nell'ambito dell'adeguamento dello studio geologico comunale alla nuova Legge per il Governo del Territorio (D.G.R. n. 8/7374 recante "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio in attuazione dell'art. 57 della L. R. n.11 marzo 2005 n. 12*").

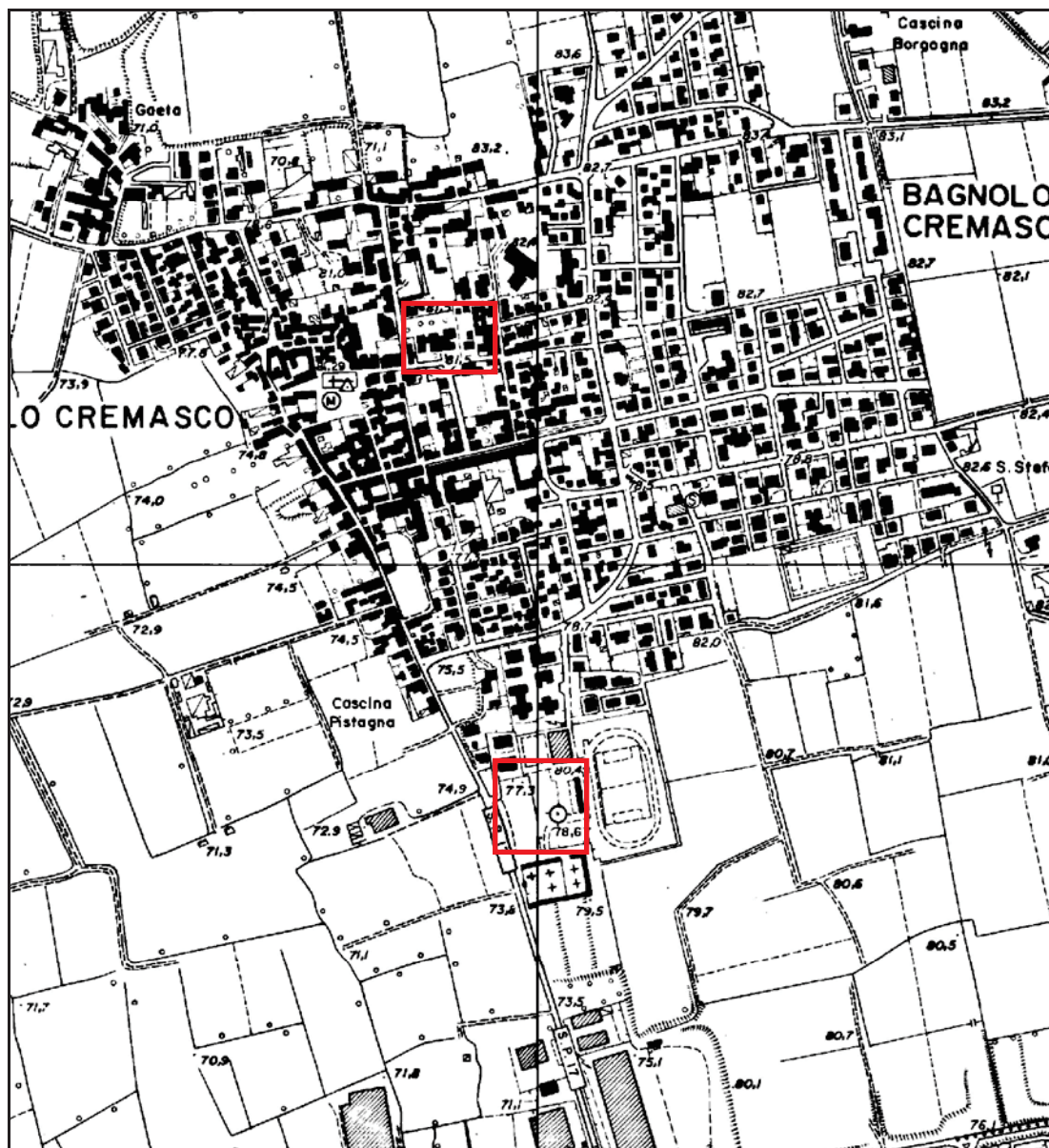
Scopo dell'indagine è quello di ricostruire, per le aree in esame, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ( $V_s$ -z): i modelli sismici monodimensionali costituiscono infatti la base di partenza per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale.

Le particolari condizioni sito specifiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base: tali effetti devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica di un'area.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

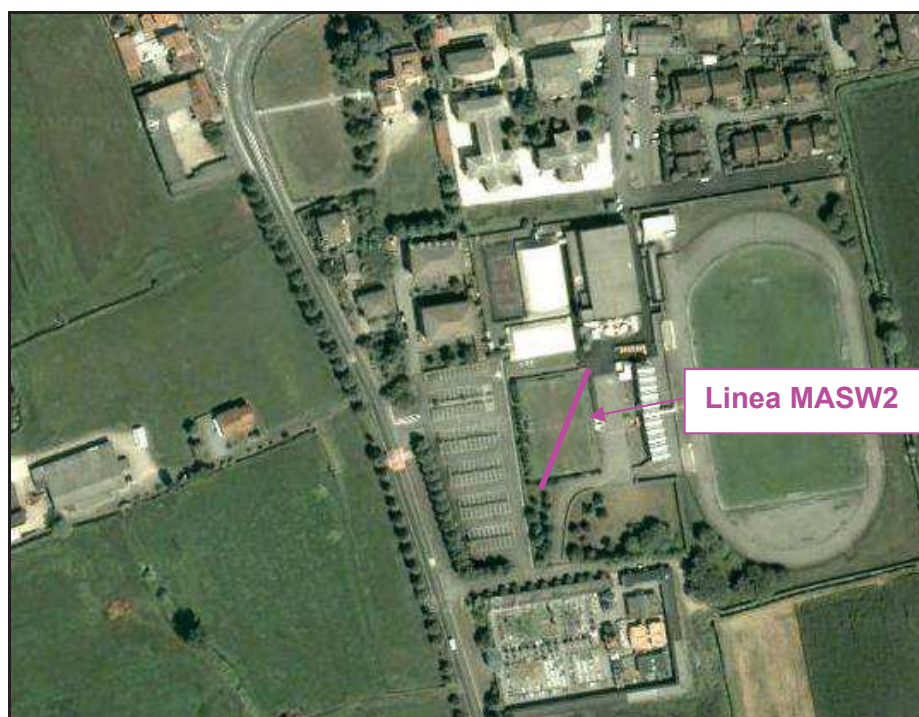
In figura 1 e 2 si riporta l'ubicazione delle prove sismiche effettuate.





**Figura 1:** ubicazione delle aree all'interno delle quali sono state effettuate le prove sismiche.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<i>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC



**Figura 2:** ubicazione dello stendimento MASW1 e MASW2.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<i>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

## 2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde di taglio S in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel “**metodo attivo**” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel “**metodo passivo**” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidezza del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 5 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 5 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidezza degli strati).



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<b>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione il "mini-bang calibro 8" in modo da raggiungere la maggior profondità possibile ed avere una registrazione con un alto rapporto segnale/rumore.

La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 e 10 m dal primo geofono (*Optimum Field Parameters of an MASW Survey*", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva) acquisendo in totale 10 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
2	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Fucile sismico tipo Minibang

Data	24/02/09
N. Commessa	08-09
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC



**Figura 2:** Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

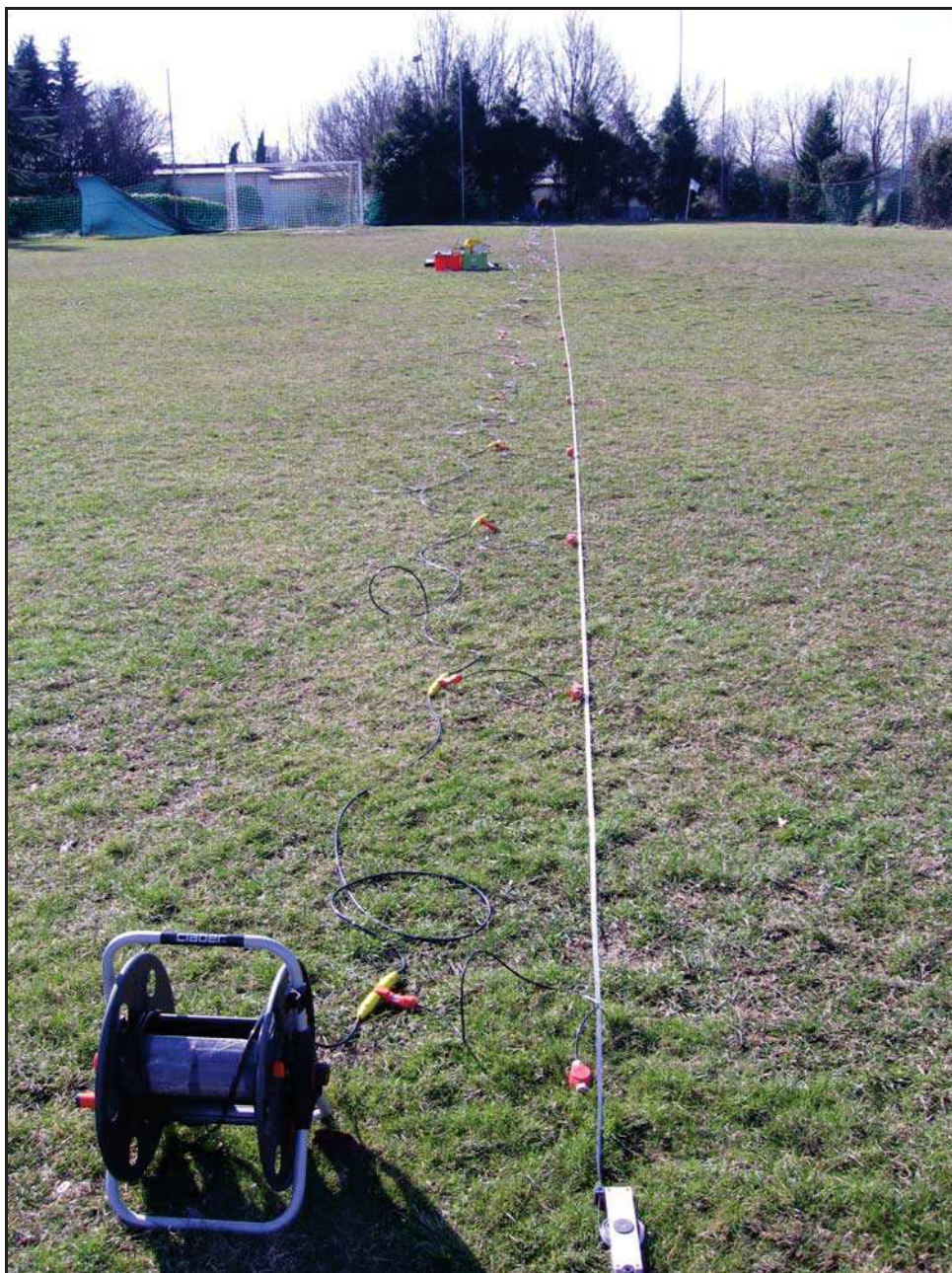
Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA	
Spaziatura tra i geofoni	2 m
Distanza sorgente 1° geofono	6 e 10 m
Tempo di campionamento	1.0 ms
Tempo di registrazione	1.6 s
Filtri in acquisizione	nessuno

Riassunto modalità esecutive della prova MASW PASSIVA	
Spaziatura tra i geofoni	2 m
Tempo di campionamento	4.0 ms
Tempo di registrazione	30.0 s
Numero di registrazioni	10



**Figura 3:** Vista dello stendimento MASW1.





**Figura 4:** Vista dello stendimento MASW2.



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<b>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

### 3. ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 2.0** della Kansas University).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 5 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi le curve di dispersione combinata presentate in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione delle due curve di dispersione si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativi dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 60 m):

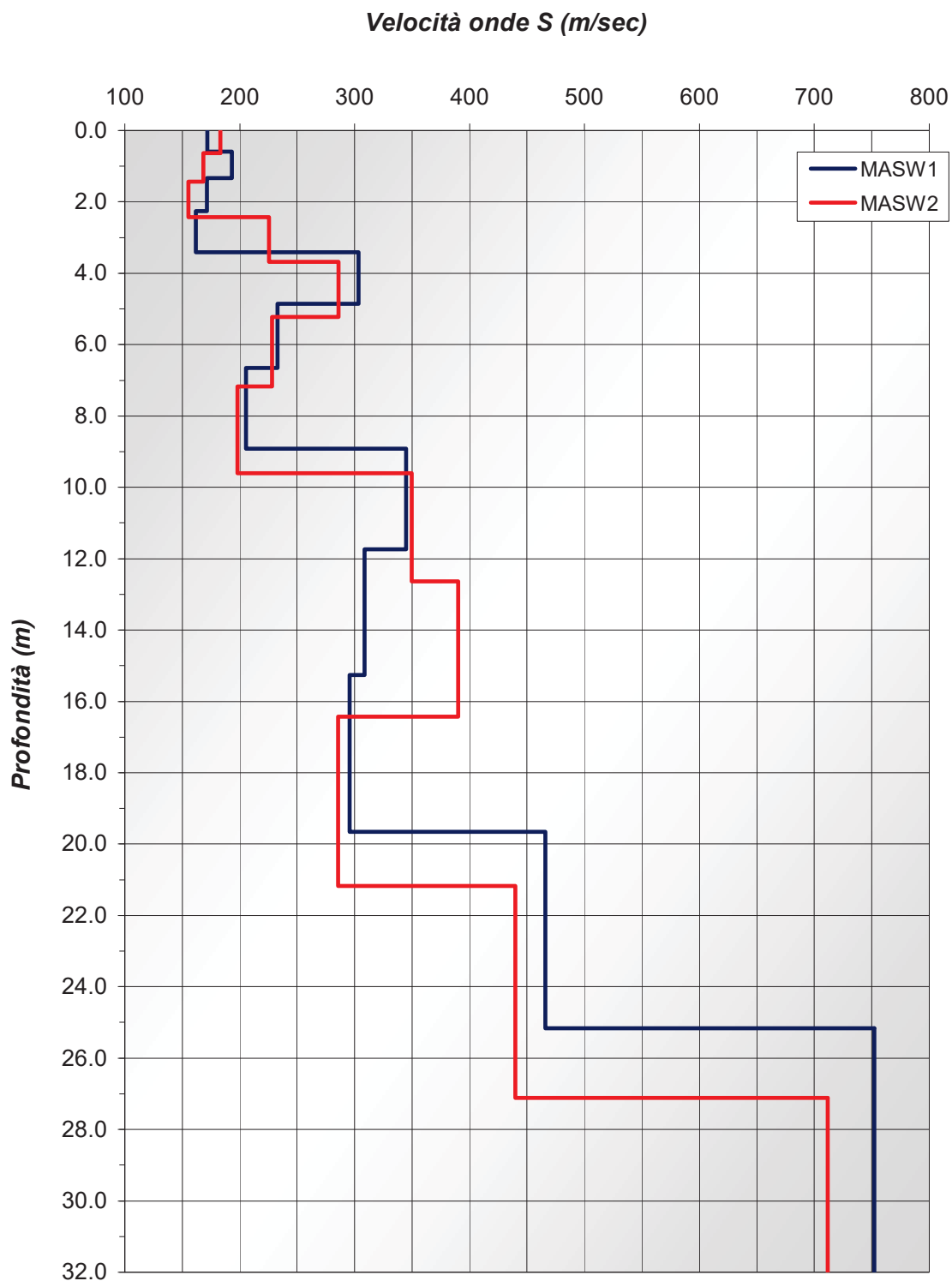
<b>Modello 1</b>			
<b>Strato</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Profondità</b>
1	0.59	<b>171.94</b>	0.59
2	0.74	<b>193.28</b>	1.33
3	0.92	<b>171.50</b>	2.25
4	1.16	<b>161.74</b>	3.41
5	1.44	<b>303.43</b>	4.85
6	1.80	<b>232.70</b>	6.66
7	2.26	<b>205.58</b>	8.91
8	2.82	<b>344.68</b>	11.73
9	3.52	<b>308.70</b>	15.26
10	4.41	<b>295.70</b>	19.66
11	5.51	<b>466.01</b>	25.17
12	7.29	<b>752.15</b>	32.46

**Tabella 1:** modello sismico monodimensionale – MASW1.

<b>Modello 2</b>			
<b>Strato</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Profondità</b>
1	0.64	<b>183.179</b>	0.64
2	0.80	<b>168.174</b>	1.43
3	1.00	<b>155.457</b>	2.43
4	1.24	<b>225.499</b>	3.67
5	1.56	<b>286.092</b>	5.23
6	1.94	<b>227.927</b>	7.17
7	2.43	<b>198.17</b>	9.60
8	3.04	<b>349.511</b>	12.64
9	3.80	<b>389.972</b>	16.43
10	4.75	<b>285.687</b>	21.18
11	5.93	<b>439.602</b>	27.11
12	6.78	<b>711.509</b>	33.89

**Tabella 2:** modello sismico monodimensionale – MASW2.

## Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion





SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

#### 4. CALCOLO DELLE $V_{s30}$

A partire dai due modelli sismici monodimensionali riportati nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle  $V_{s30}$ , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle  $V_{s30}$  si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“*Norme tecniche per le costruzioni*”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori (quota iniziale = piano campagna attuale):

**MASW 1 -  $V_{s30} = 312.47$  m/s**

**MASW 2 -  $V_{s30} = 303.23$  m/s**

a cui corrisponde, per entrambi i modelli, la **categoria di suolo di fondazione di tipo C** (si veda la tabella seguente).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<b>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V <sub>s30</sub> (m/s)	N <sub>SPT</sub>	C <sub>u</sub> (kPa)
A	<u>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V <sub>s30</sub> superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	<u>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</u> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</u> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</u>	<180	<15	<70
E	<u>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</u> , con valori di V <sub>s30</sub> simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V <sub>s30</sub> > 800m/s			

**Tabella 3:** categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

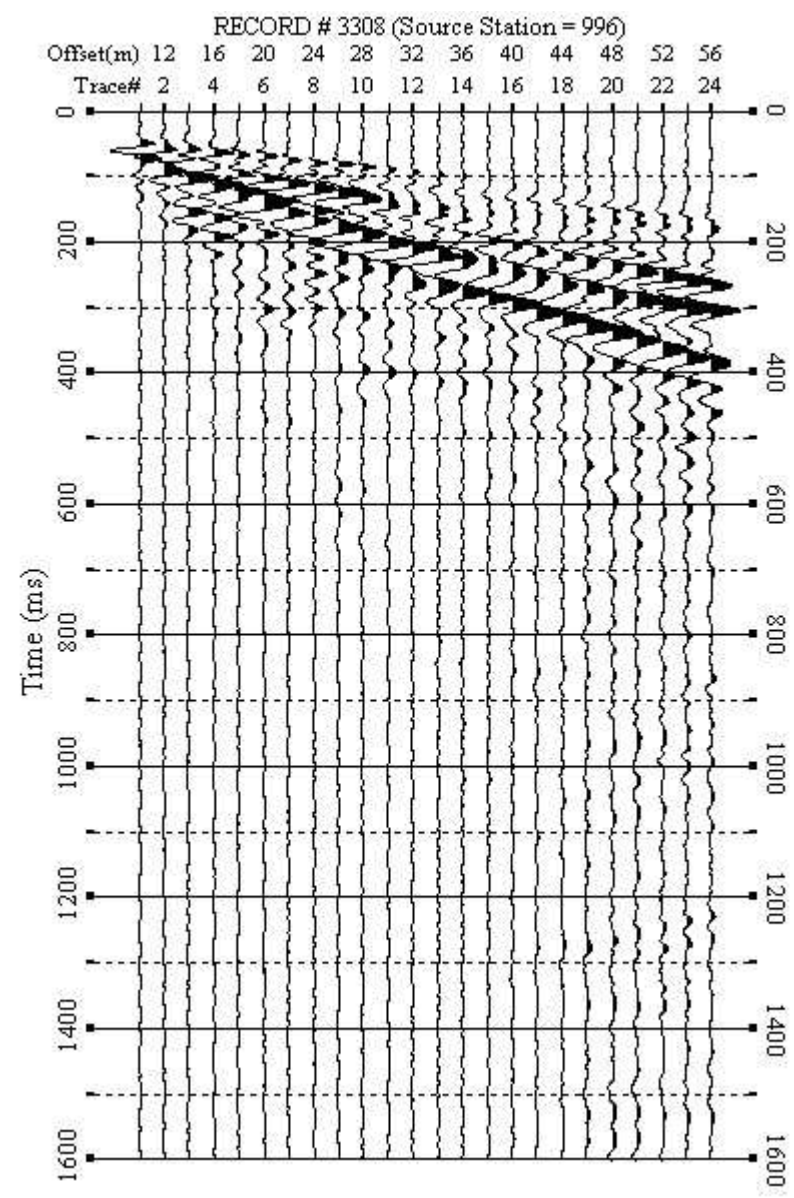
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	24/02/09
	N. Commessa	08-09
	C. Documento	01
<i>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

## ALLEGATI

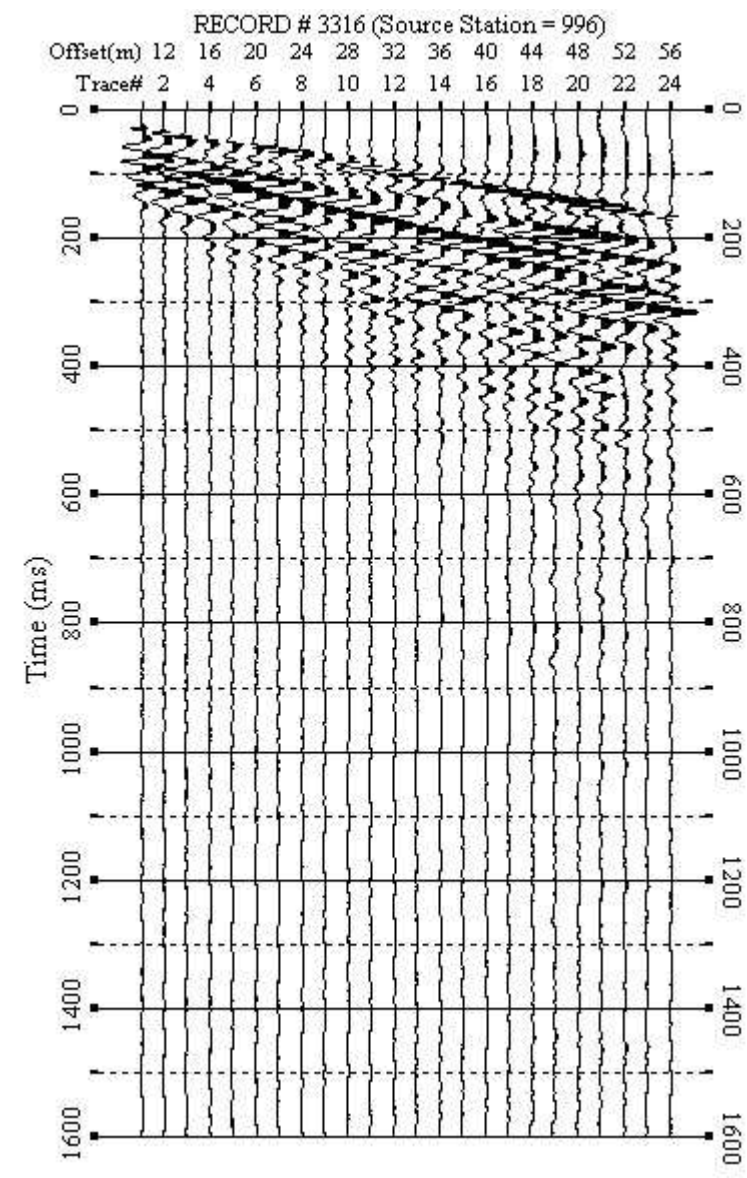


Data	24/02/09
N. Commessa	08-09
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

### Registrazione MASW1 attiva

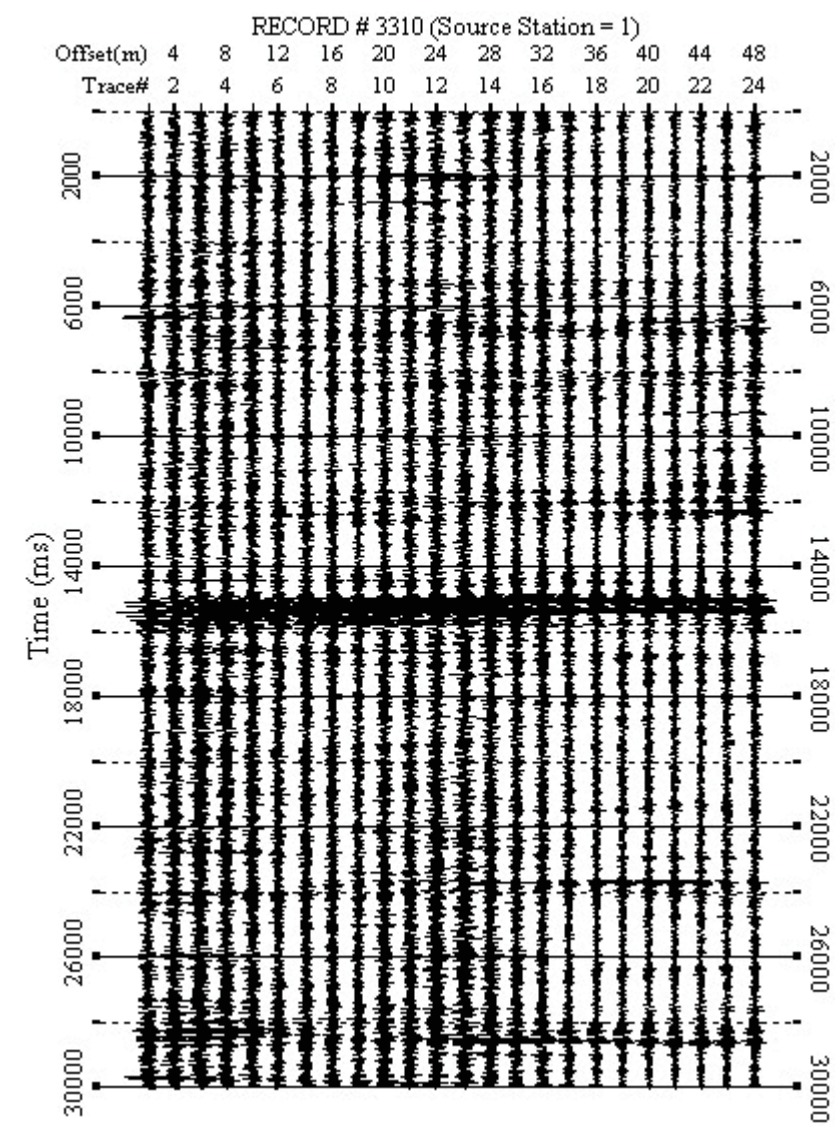


### Registrazione MASW2 attiva



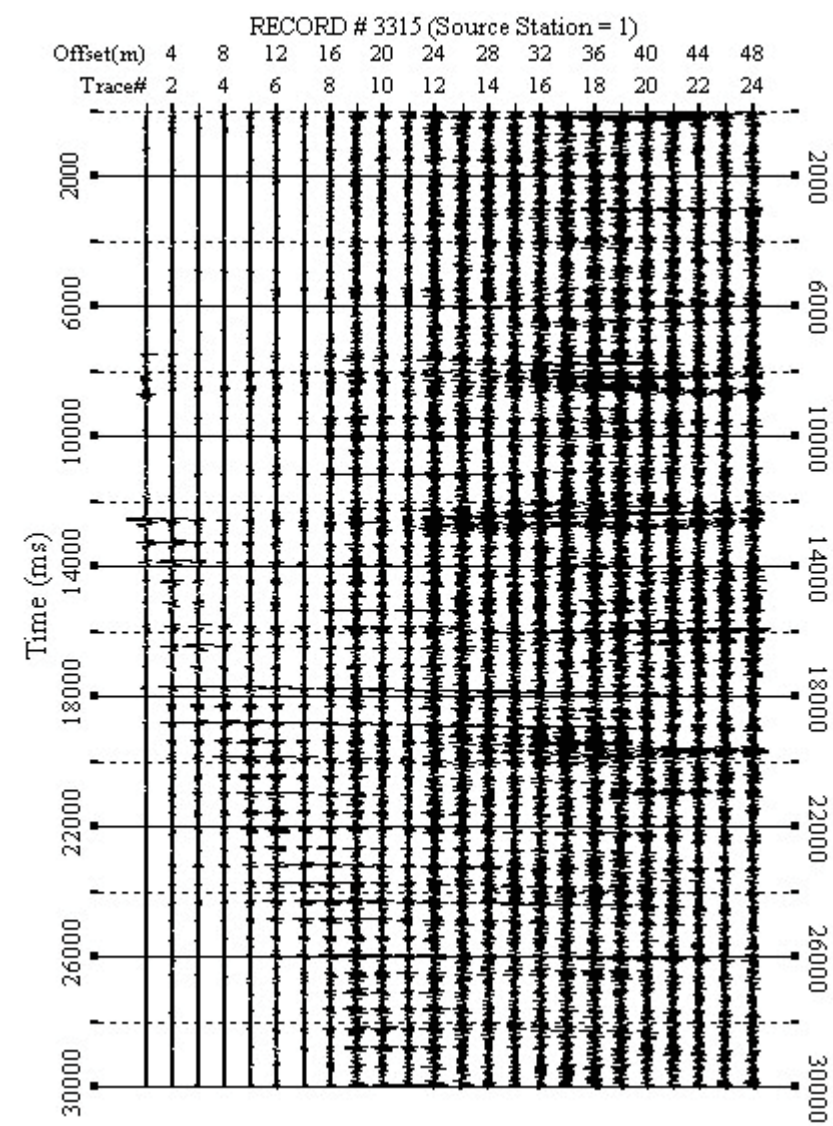
Data	24/02/09
N. Commessa	08-09
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

### Registrazione MASW1 passiva



Data	24/02/09
N. Commessa	08-09
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

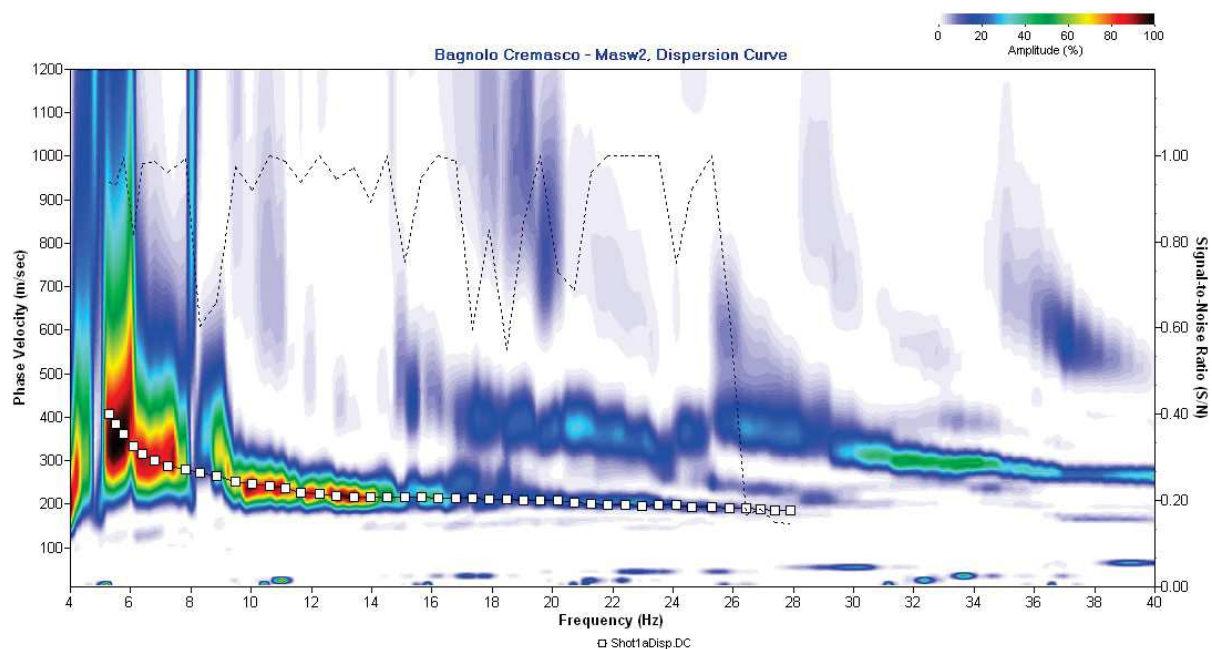
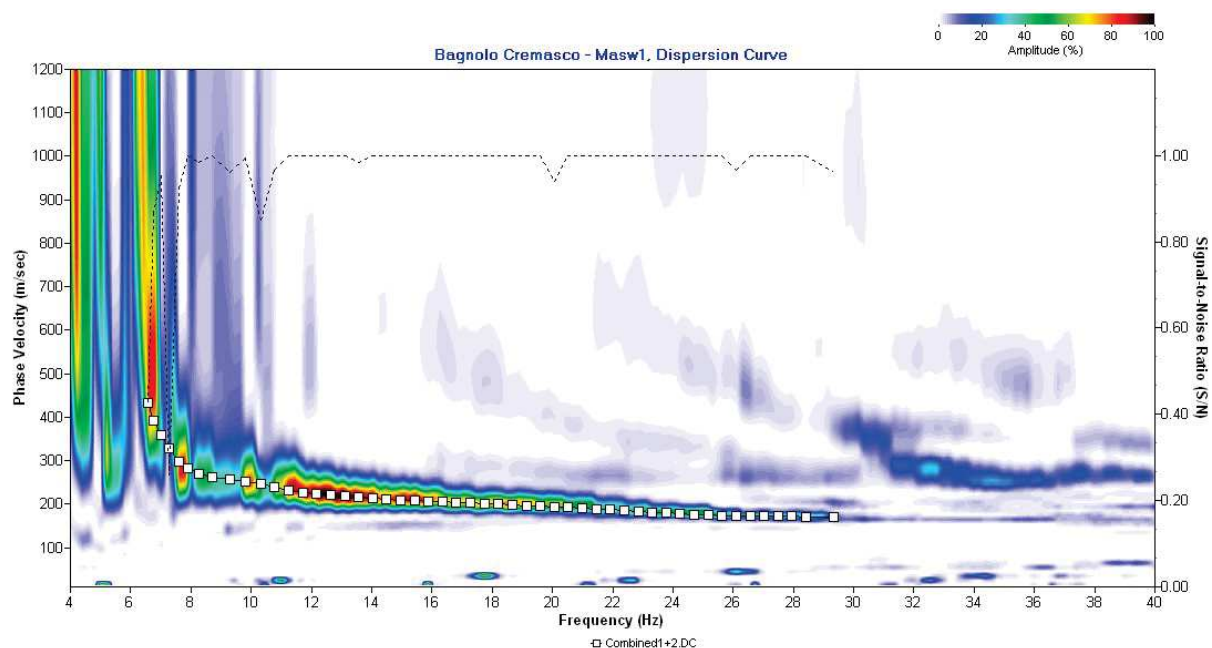
## Registrazione MASW2 passiva





Data	24/02/09
N. Commessa	08-09
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-BagnoloC

## CURVA DI DISPERSIONE COMBINATA

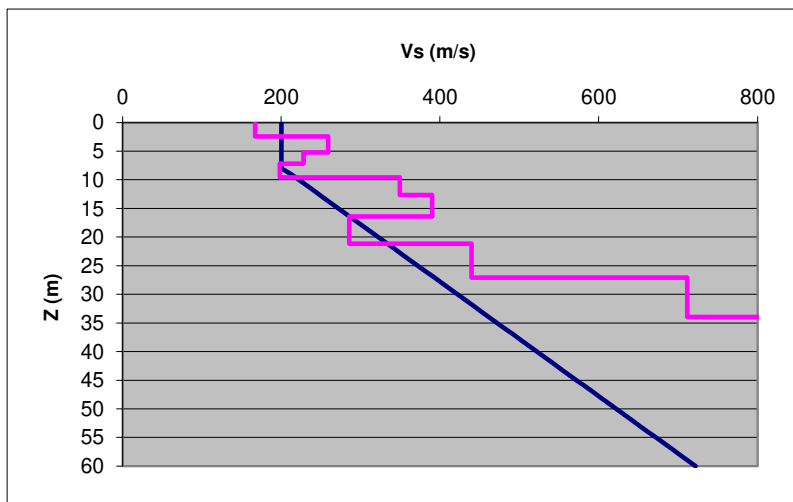


## STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

*secondo le procedure dell'All.5 - d.q.r. 9-2616 del 30/11/2011*

**TERRENO LIMOSO - SABBIOSO TIPO 2**

Prof base	Nspt	Vs
0		
2.43		166.89
5.23		259.04
7.17		227.92
9.6		198.17
12.64		349.51
16.43		389.97
21.18		285.68
27.11		439.6
33.98		711.5
200		1000



Primo strato	
Prof base:	5.23
Vs	216.2

Periodo del sito	
T (s)	0.892

Curva caratteristica	
n°	2

[illegible]

## VERIFICA

**COMUNE DI BAGNOLO CREMASCO (CR)**

**Valori di Fa di soglia**

Terreni di tipo:

B	C	D	E
1.4	1.8	2.2	1.9

1.7	2.4	4.1	3.0
-----	-----	-----	-----

## Valori Fa di sito

$0,1 \text{ s} < T < 0,5 \text{ s}$	1.8
-------------------------------------	-----

<b>0,5 s &lt; T &lt; 1,5 s</b>	<b>1.5</b>
--------------------------------	------------

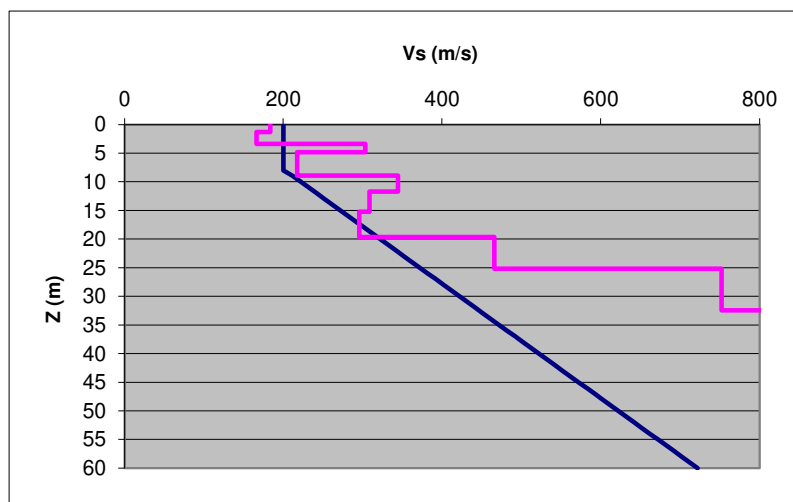
Il Fattore di Amplificazione (Fa) calcolato (1,8) risulta identico a quello soglia (1,8) fornito da Regione Lombardia per i terreni di categoria c (come ricavato dall'indagine geofisica utilizzata) e per edifici con periodo di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi), cui appartiene l'edificio in progetto

## STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

secondo le procedure dell'All.5 - d.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

### TERRENO LIMOSO - SABBIOSO TIPO 2

Prof base	Nspt	Vs
0		
1.33		183.81
3.41		166.06
4.85		303.43
8.91		217.67
11.73		344.68
15.26		308.7
19.66		295.7
25.17		466.01
32.46		752.15
200		1000



Primo strato	
Prof base:	4.85
Vs	212.0

Periodo del sito	
T (s)	0.885

Curva caratteristica	
n°	2

		Profondità primo strato (m)																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60										
Velocità primo strato (m/s)	200				1	1	1	1	1	1	1																						
	250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1																	
	300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2																
	350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3															
	400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
	450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3													
	500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3												
	600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3											
	700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3										

### VERIFICA

#### Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s	1.8
-------------------	-----

0,5 s < T < 1,5 s	1.5
-------------------	-----

#### COMUNE DI BAGNOLO CREMASCO (CR)

##### Valori di Fa di soglia

Terreni di tipo:

B	C	D	E
1.4	1.8	2.2	1.9
1.7	2.4	4.1	3.0

Il Fattore di Amplificazione (Fa) calcolato (1,8) risulta identico a quello soglia (1,8) fornito da Regione Lombardia per i terreni di categoria C (come ricavato dall'indagine geofisica utilizzata) e per edifici con periodo di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi), cui appartiene l'edificio in progetto

**ALLEGATO**

**PROSPEZIONE SISMICA M.A.S.W.**

**(Multichannel Analysis Surface Waves)**



## Sommario

<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO (NTC 2018) .....</b>	<b>4</b>
<b>2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E UBICAZIONE INDAGINI .....</b>	<b>6</b>
<b>3 INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE IN SITO .....</b>	<b>8</b>
3.1 PROSPEZIONE SISMICA MASW .....	8
3.2 ELABORAZIONE DATI .....	10
<b>4 ANALISI E COMMENTO DEI RISULTATI .....</b>	<b>12</b>
<b>5 CONCLUSIONI.....</b>	<b>14</b>

## PREMESSA

A seguito dell'incarico conferito dal Comune di Bagnolo Cremasco (Cr), in data 13 Maggio 2019 è stata eseguita una campagna di prospezioni sismiche finalizzate alla definizione del parametro Vs30 e conseguentemente alla delineazione della classe categoriale (preliminare) dei terreni su cui sorge la scuola media ubicata nel territorio comunale di Bagnolo Cremasco (Cr) in località Via 2 Giugno, 19.

In particolare sono state realizzate prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis Surface Waves - Vs30) secondo quanto previsto dalla Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti n.617 del 02/02/2009 circa l'applicazione delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018 (Circolare pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 47 del 26/02/2009 - paragrafo C 6.2.2 – tabella C 6.2.1 in cui si prevede espressamente l'impiego di indagini di tipo geofisico mediante l'utilizzo di strumentazione in superficie – NTC 2018).

Per quanto concerne le indagini M.A.S.W., è esperienza comune che, in presenza di **terreni dotati di buona velocità sismica** (come quelli qui rilevati) la massima profondità esplorata sia molto elevata in confronto alla lunghezza dello stendimento, fino a 3 volte maggiore. Viceversa, in presenza di terreni lenti, le profondità d'investigazione diminuiscono sensibilmente sino ad un terzo e più della lunghezza dello stendimento medesimo. Tutte le frequenze risultano più penetranti in presenza di terreni veloci, in quanto la lunghezza d'onda è molto maggiore quando viene condotta la corrispondenza fra tempi e lunghezze (o profondità). Pertanto la corrispondenza dipende strettamente dalla velocità. L'associazione fra profondità massima e frequenza minima, definita in forma semiautomatica dal programma di elaborazione utilizzato ha confermato la piena validità ai fini progettuali dei risultati ottenuti.

## 1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO (NTC 2018)

La normativa “Norme tecniche per le costruzioni” afferma che ai fini della definizione della azione sismica di progetto (punto 3.2.2), deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In mancanza di tali studi si può utilizzare la classificazione dei terreni descritta di seguito. La classificazione deve riguardare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento, (bedrock) ovvero quelli presenti ad una profondità commisurata all’estensione ed all’importanza dell’opera.

La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$  ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$ . In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le **categorie del suolo di fondazione**:

- 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 uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 metri.
- B** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360÷800 m/s
- C** Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità equivalente compresi tra 180÷360 m/s
- D** Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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 metri.

La classificazione è effettuata sulla base del parametro  **$V_{s30}$**  che rappresenta la velocità delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità e calcolata con l'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito è classificato sulla base del valore di  **$V_{s30}$** , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di NSPT.



## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E UBICAZIONE INDAGINI

A seguire viene riportato l'inquadramento corografico dell'area di specifico interesse –scuola media, unitamente all'ubicazione planimetrica delle indagini eseguite e alla documentazione fotografica di merito.

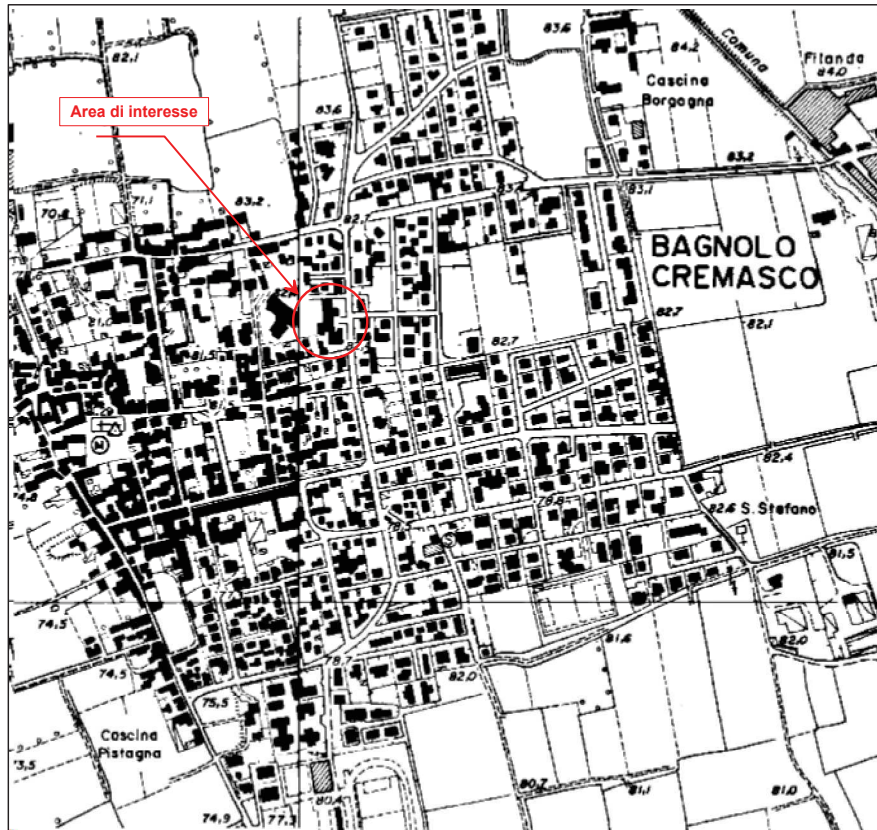


Figura n°1 – Inquadramento corografico dell'area di interesse



Figura n°2 : Immagine dell'area di interesse



Figura n°3 : Dettaglio dell'area di interesse



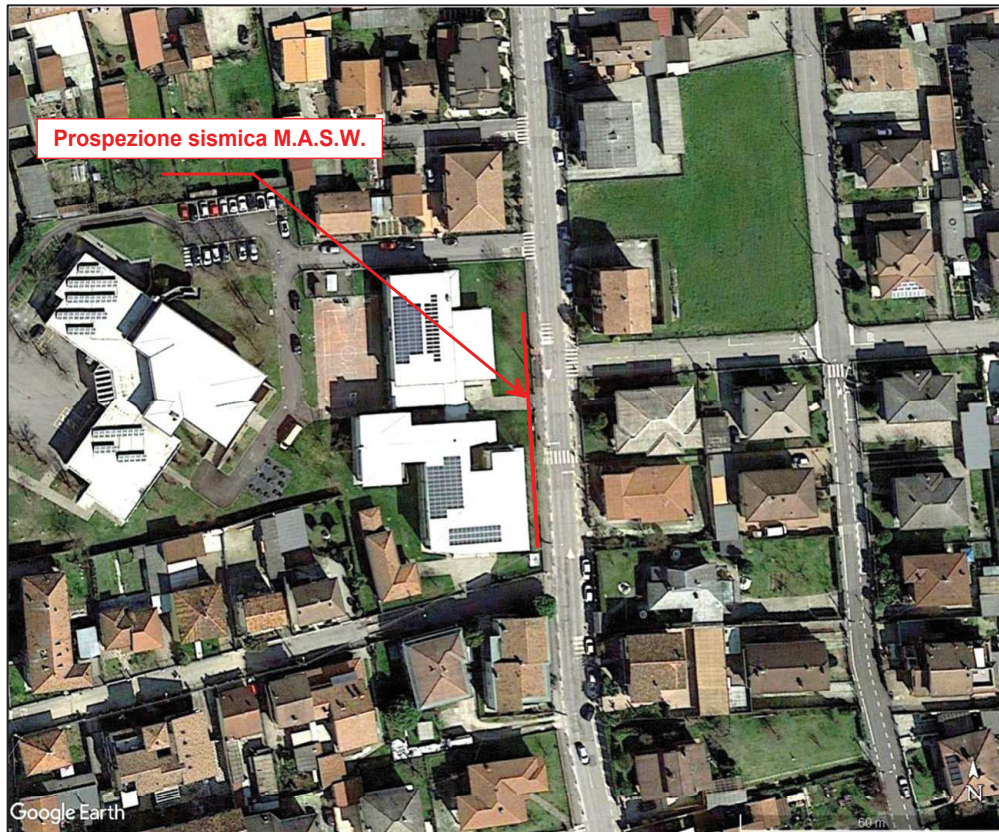


Figura n°4 – Ubicazione planimetrica indagini eseguite.



Foto n°1 – Stesa sismica M.A.S.W.



Foto n°2 –Strumentazione sismografica di acquisizione

### 3 INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE IN SITO

#### 3.1 PROSPEZIONE SISMICA MASW

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che si basa sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici. L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (Ground Roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ . Per ottenere un profilo  $V_s$  è necessario produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi. L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (Back Scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane. Le onde superficiali riverberate (Back Scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x$ ;  $y$ ), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma.

In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N (Signal/Noise). Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo  $V_s$  di inversione. Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente o un cannone sismico. La strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle indagini si compone di un sismografo a 24 canali ad elevata sensibilità, 24 geofoni a 4,5 Hz e fucile sismico Minibang/mazza battente.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali.

Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili. I risultati ottenuti, vengono discussi nei paragrafi successivi e riportati di seguito.



### 3.2 ELABORAZIONE DATI

Per l'analisi dei segnali sismici registrati si sono utilizzati i pacchetti software della centralina sismografica PASI GEA24 e EliaSoft, ottenendo le seguenti restituzioni grafiche:

- Sismogramma delle velocità;
- Spettro di velocità e curva di dispersione;
- Dispersione misurata e calcolata
- Modello sismico del terreno (Velocità sismica delle onde S e modulo di taglio)

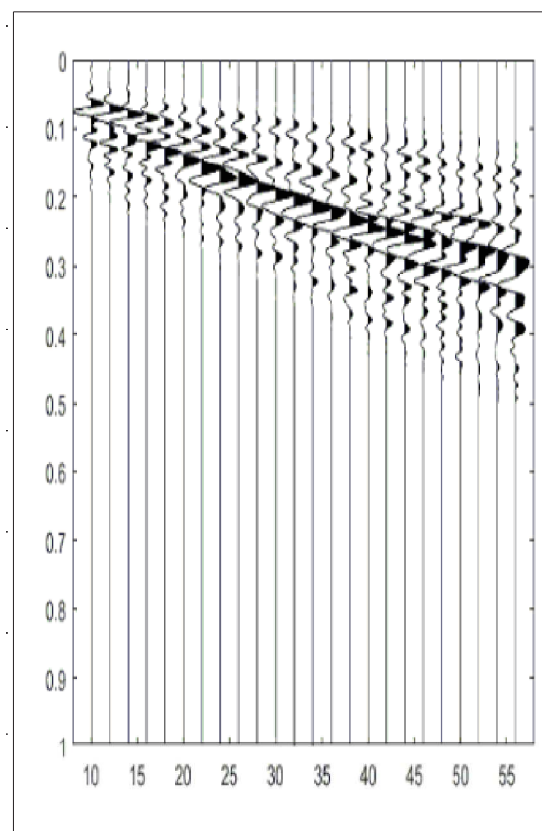


Figura n°5 – Sismogramma delle velocità

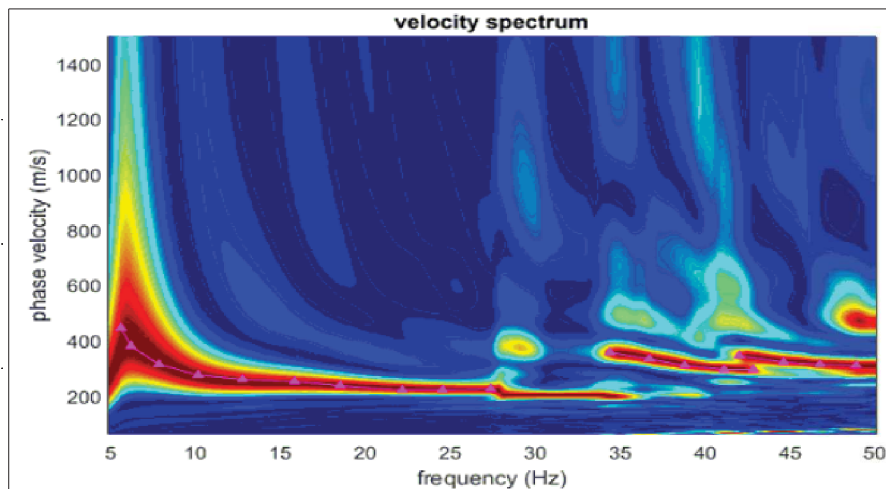


Figura n°6 – Spettro di velocità e curva di dispersione

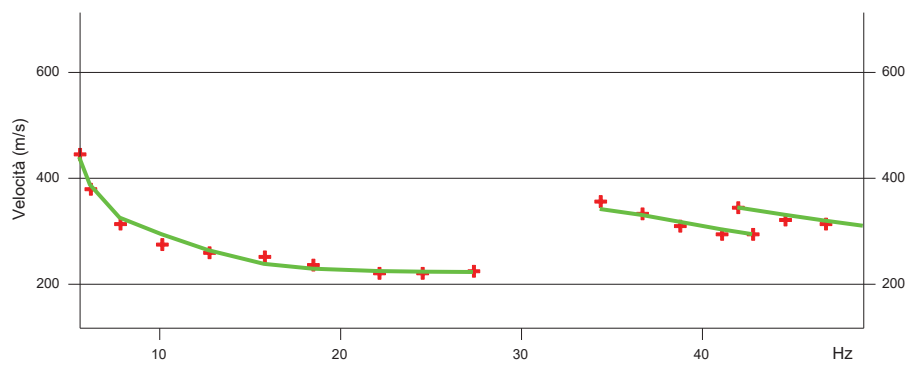


Figura n°7 – Dispersione misurata e calcolata

## 4 ANALISI E COMMENTO DEI RISULTATI

Come prevista dalla normativa sismica vigente (Testo Unico – D.M. 17/01/2018 - NTC 2018) è stata attuata la classificazione del tipo di suolo di fondazione dell'area di specifico interesse. La classificazione sismica del primo sottosuolo è stata attuata mediante un approccio di tipo complesso con la specifica finalità di attuare la verifica incrociata tra i risultati ottenuti da differenti metodologie d'indagine.

Il risultato finale dell'elaborazione consiste quindi nella rappresentazione grafica del profilo di velocità e nel calcolo della relativa Vs30 così come definito di seguito.

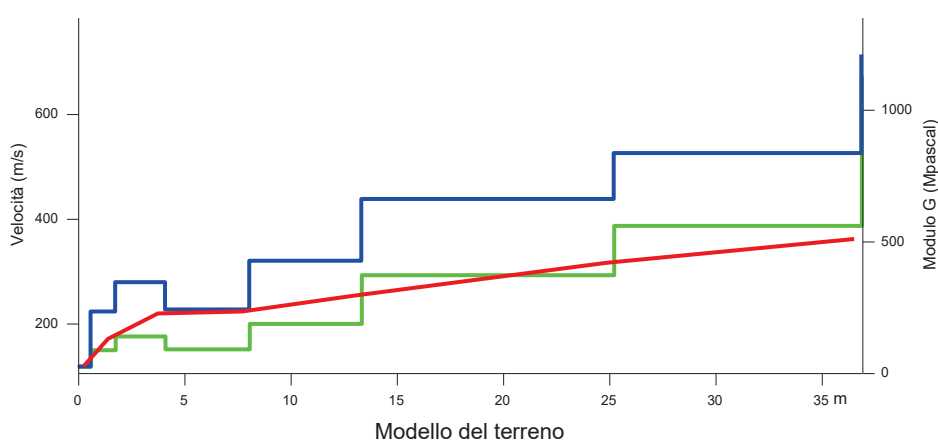


Figura n°8 – Stratigrafia sismica in termini di velocità Vs

TABELLA DI CALCOLO						LEGENDA	
Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G		
0	.6	117	.0052	117	22	+	Curva di dispersione misurata
.6	1.8	222	.0052	170	85	/	Curva di dispersione calcolata
1.8	4.1	278	.0084	218	137	—	Velocità sismica delle onde S
4.1	8.1	226	.0175	222	88	—	Modulo di taglio (Mpascal)
8.1	13.3	319	.0165	252	185		VsX
13.3	25.2	437	.0272	315	370		
25.2	36.9	525	.0222	361	557		
VALORE CALCOLATO VS Eq. = 336 m/s						<p>Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula <math>D=1.5 + Vs/1000</math></p>	

I risultati ottenuti dalle prospezioni sismiche M.A.S.W., hanno permesso di attuare la **modellizzazione sismica** del primo sottosuolo sino alla massima profondità di 36.9 m dal piano

campagna attuale. In particolare sono stati individuati cinque strati principali di terreno caratterizzati da velocità delle onde s diversificate:

- a. **primo strato**, contraddistinto da minore velocità, si sviluppa sino a 0.6 m circa di profondità da piano campagna, con Vs pari a 117 m/sec;
- b. **secondo strato**, con velocità superiori, si sviluppa sino a 13.3 m circa di profondità da piano campagna, con Vs comprese tra 222 e 278 m/sec;
- c. **terzo strato**, con velocità superiori, si sviluppa sino a 8.1 m circa di profondità da piano campagna, con Vs pari a 319 m/sec;
- d. **quarto strato**, con velocità superiori, si sviluppa sino a 25.2 m circa di profondità da piano campagna, con Vs pari a 437 m/sec;
- e. **terzo strato** sviluppato sino alla massima profondità raggiunta, pari a 36.9 m di profondità, presenta velocità delle onde S pari a 525 m/sec.

Come previsto nella RSL (§ 3.2.2 NTC – 2018) in merito all’approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo è stata effettuata contestualmente alle condizioni stratigrafiche individuate ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs,eq (m/sec) in luogo della precedente Vs 30, secondo la seguente formulazione :

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{H_i}{V_{s,i}}}$$

Dove H costituisce la profondità del substrato, definito come formazione litoide o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs superiore a 800 m/sec. Tuttavia, nella condizione litostratigrafica di profondità H del substrato superiore a 30 m, la Vs,eq viene definita dal parametro Vs30. (ovvero Vs,eq = Vs,30). Pertanto, il valore medio calcolato delle velocità delle onde S entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna attuale (Vs,eq) rappresentativo per il settore di specifico interesse, corrisponde quindi ad una velocità media pari a **336 m/sec**. Ai fini della caratterizzazione sismica del sito per la definizione delle azioni sismiche di progetto (punto 3.2.2 NTC 2018), la **categorizzazione sismica del sottosuolo** definita con il metodo M.A.S.W. identifica la **classe categoriale C** come quella di appartenenza così come definito dalla normativa:

**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180÷360 m/s.**



## 5 CONCLUSIONI

Il presente lavoro è costituito da una campagna di prospezioni sismiche finalizzate alla definizione delle Vs 30 e conseguentemente alla definizione della classe categoriale preliminare dei terreni su cui sorge la scuola media ubicata nel territorio comunale di Bagnolo Cremasco (Cr) in località Via 2 Giugno, 19.

La caratterizzazione sismica del primo sottosuolo dell'area d'interesse è stata attuata mediante la realizzazione di indagini sismiche ovvero attraverso l'esecuzione di prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis Surface Waves –  $V_{s30}$ ).

In tal modo è stata definita la velocità media delle onde di taglio S, sino ad oltre 30 m di profondità e la conseguente classe categoriale preliminare di riferimento. La **modellizzazione sismica** (M.A.S.W.) realizzata ha fornito la seguente velocità media delle onde S (calcolata a partire dal piano campagna attuale):

**intervallo 0-30 m di profondità**

**$V_{seq} = 336 \text{ m/sec}$**

La **categorizzazione sismica del sottosuolo** definita con il metodo M.A.S.W. identifica la **classe categoriale C** come quella di appartenenza così come definito dalla normativa.

**Si sottolinea come la presente relazione fornisca la classe categoriale preliminare relativa all'area di interesse investigata riferendo, in assenza di dati progettuali specifici, il parametro Vs 30, così ottenuto alla superficie topografica del piano campagna da cui hanno avuto adito le indagini**

Bagnolo Cremasco 18/07/2019

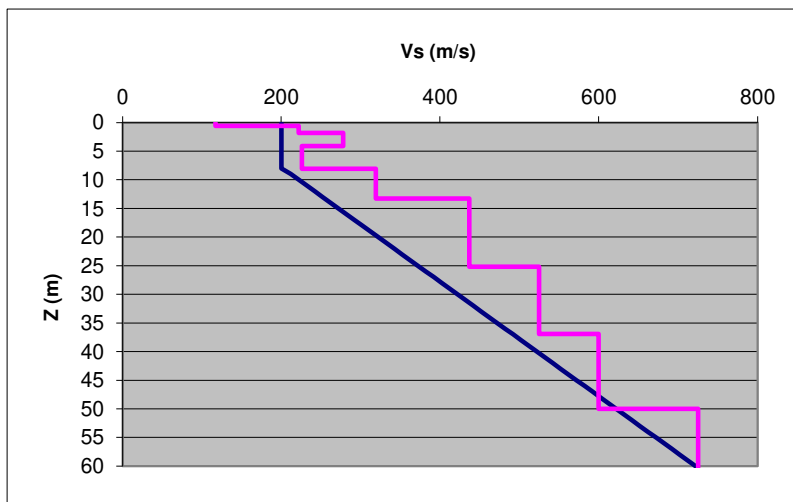
Dott. Geol. Marco Crippa



*secondo le procedure dell'All.5 - d.q.r. 9-2616 del 30/11/2011*

**TERRENO LIMOSO - SABBIOSO TIPO 2**

Prof base	Nspt	Vs
0		
0.6		117
1.8		222
4.1		278
8.1		226
13.3		319
25.2		437
36.9		525
50		600
125		725
200		800



Primo strato	
Prof base:	4.1
Vs	237.9

Periodo del sito	
T (s)	1.167

Curva caratteristica	
n°	2



## VERIFICA

**Valori di Fa di soglia**

Terreni di tipo:

<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>1.4</b>	<b>1.8</b>	<b>2.2</b>	<b>1.9</b>
<b>1.7</b>	<b>2.4</b>	<b>4.1</b>	<b>3.0</b>

## Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s	1.7
0,5 s < T < 1,5 s	1.3

Il Fattore di Amplificazione (Fa) calcolato (1,7) risulta identico a quello soglia (1,8) fornito da Regione Lombardia per i terreni di categoria c (come ricavato dall'indagine geofisica utilizzata) e per edifici con periodo di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi), cui appartiene l'edificio in progetto



**CASTALIA** Studio Associato di Geologia dei dottori Davide Incerti e Giulio Mazzoleni  
Via San Giorgio, 4 - 24058 ROMANO DI LOMBARDIA (BG)  
Tel/Fax: 0363/903672 - P. IVA e C.F.: 03362470167  
www.studiocastalia.com - info@studiocastalia.com

---

ESECUZIONE DI N°2 PROSPEZIONI SISMICHE M.A.S.W  
E DI N°2 MISURE DI MICROTREMORE SISMICO H.V.S.R.,  
CON ANALISI CONGIUNTA DEI DATI,  
IN VIA KENNEDY E PIAZZA MAJORANA,  
NEL COMUNE DI BAGNOLO CREMASCO (CR).

---

Committente: *Comune di Bagnolo Cremasco (CR)*

---

RAPPORTO TECNICO

---

Data  
Aprile 2021; Ottobre 2022

---



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. ANALISI HVSR.....	5
2.1. Cenni sulla metodologia HVSR .....	5
2.2. Acquisizione dei dati .....	5
2.2.1 -Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	6
HVSR 1 – Via Kennedy .....	7
HVSR 2 – Piazza Majorana .....	9
3. INDAGINE SISMICA MASW.....	11
3.1. Cenni sulla metodologia MASW .....	11
3.2. Acquisizione dei dati .....	12
3.3. Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti .....	12
4. PROFILI SISMOSTRATIGRAFICI .....	14
MASW 1 – Via Kennedy .....	15
MASW 2 – Piazza Majorana .....	17
5. CONCLUSIONI .....	19





## 1. PREMESSA

Su incarico conferito dallo *Studio Associato Castalia* alla ditta *Crestana S.r.l.s.* sono state eseguite, in data 09 Aprile 2021, una serie di prospezioni geofisiche finalizzate alla ricostruzione stratigrafica e sismica del sottosuolo, nell'ambito dell'aggiornamento dello Studio Geologico del Comune di Bagnolo Cremasco (CR), ed eseguite in due siti differenti ubicati in Via Kennedy (Campo Sportivo) e in Via Majorana (Parco Pubblico).

Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di **n° 2 profili di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW** e **n° 2 indagini di sismica passiva con metodo HVSr**.

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde di taglio S** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro  $V_{s,eq}$  di sito, al fine di classificare i terreni di fondazione secondo quanto previsto dal recente *D.M. 17/01/2018*, misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

Le prospezioni geofisiche sono state eseguite entro il territorio comunale di Bagnolo Cremasco, e nello specifico il primo stendimento sismico (*MASW 1 – Via Kennedy; Fig. 1*) è stato eseguito all'interno del centro sportivo polifunzionale sito tra Via Kennedy e Via Lodi, mentre il secondo stendimento sismico (*MASW 2 – Piazza Majorana; Fig. 2*), è stato eseguito all'interno di un parco pubblico sito tra Via Majorana, Via Galvani, Via Meucci e Via Pacinotti.



**Fig. 1** - Ubicazione prospezioni sismiche MASW1 e HVSr1, su immagine da satellite (Google Earth).





**Fig. 2** - Ubicazione prospezioni sismiche MASW2 e HVS2, su immagine da satellite (Google Earth).



## 2. ANALISI HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale  $V_s$  nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire, in corrispondenza di tutti gli stendimenti sismici MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

### ***Cenni sulla metodologia HVSR***

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde  $S$  nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza  $f_r$  relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con  $f_r$  circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde  $S$  fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

### ***Acquisizione dei dati***

In ciascuna area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.



### ***Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti***

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.2*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

Le validità delle curve HVSR di sito sono state verificate, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (*Site Effects assessments using Ambient Excitations*), che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti.

I risultati parziali, ottenuti durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati inoltre iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la persistenza nel tempo della curva HVSR.

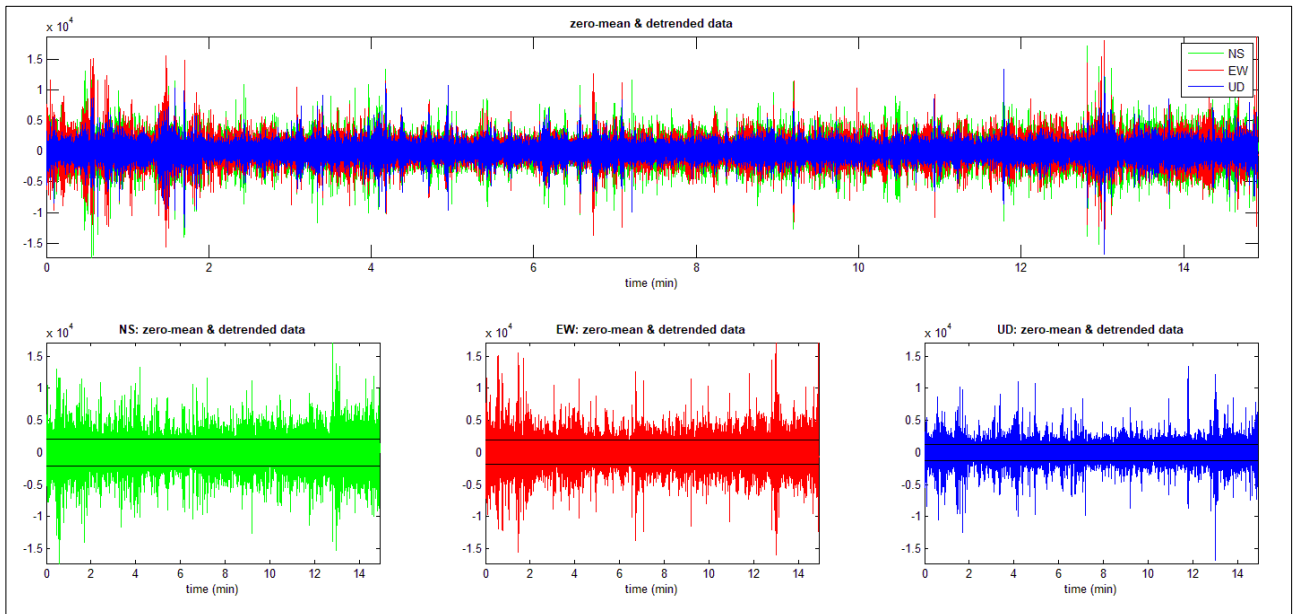
La frequenza di risonanza principale di ciascun sito è stata individuata analizzando le curve HVSR tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), valutando per ciascun caso con buon senso la modifica di alcuni parametri di elaborazione affinché fossero verificati i criteri SESAME.





## HVSR 1 – Via Kennedy

### Visualizzazione dei dati dopo la rimozione degli eventi transienti



### Analisi della curva HVSR e spettro medio del sito indagato

La rispettiva curva HVSR sotto riportata, indica un picco principale a circa 0,8 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

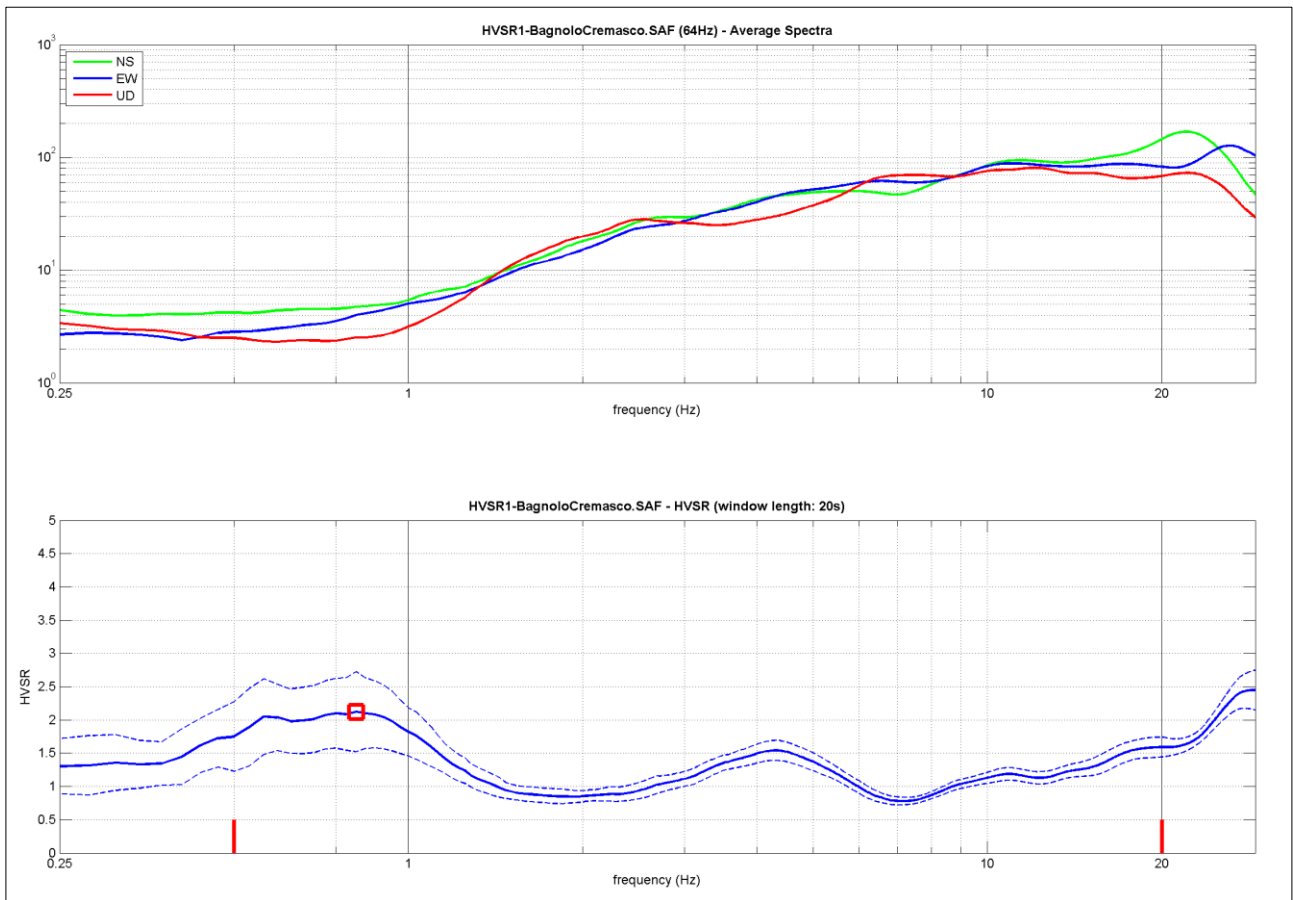
---

#### Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $0.813 > 0.5$  (OK)
  - #2.  $[nc > 200]$ :  $1350 > 200$  (OK)
  - #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)
- 

#### Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 1.4Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.1 > 2$  (OK)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$ :  $3.345 > 0.122$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.602 < 2$  (OK)



### **Interpretazione dei risultati**

Il picco a 0,8 Hz con ampiezza pari a 2,1 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVS, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 0,8 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

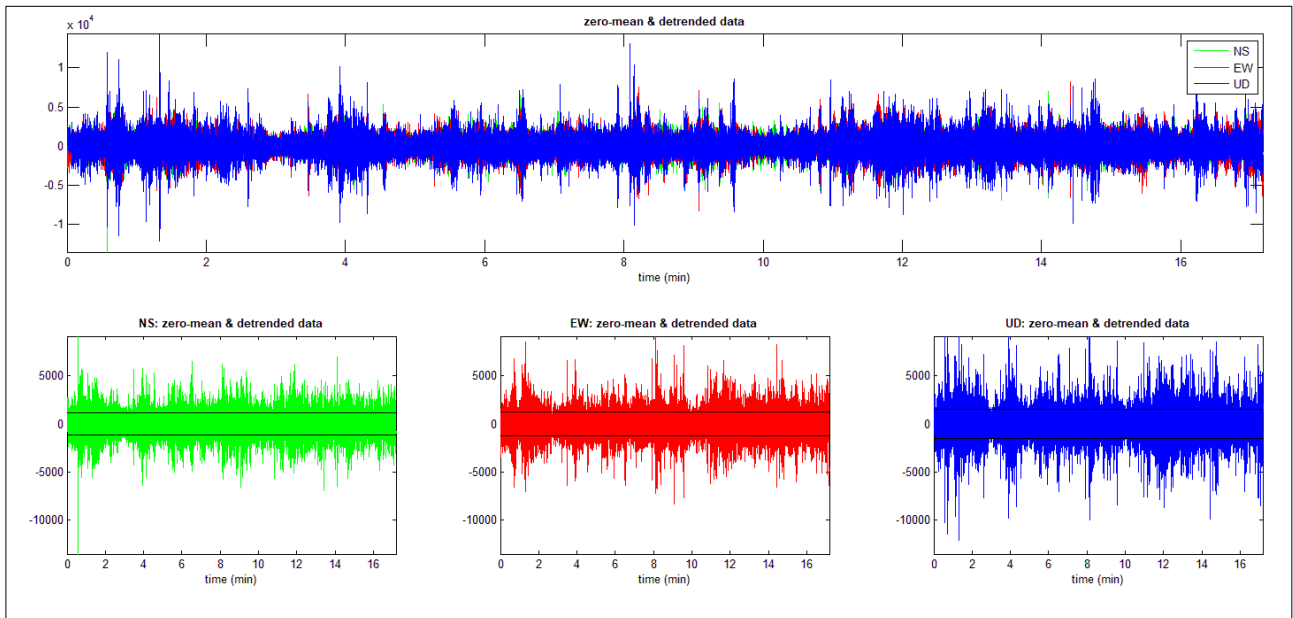
Il picco di risonanza del sito indagato, seppur non rispettando tutti i criteri *SESAME*, può essere ritenuto comunque di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica profondo, presente a circa -120 metri di profondità dal p.c., tra la sequenza alluvionale caratteristica del territorio in cui ricade l'area in esame, e orizzonti sismostratigrafici maggiormente addensati afferenti alla medesima unità deposizionale.

Pur tenendo debitamente conto delle limitazioni che tale metodologia presenta per la ricostruzione di un profilo sismostratigrafico dettagliato, il picco individuato dall'analisi *H/V* e il relativo tratto di curva, unitamente ad un picco secondario individuato a circa 4,2 Hz, sono stati comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW1+HVS1, per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili da integrare all'analisi MASW1 di seguito riportata.



## HVSR 2 – Piazza Majorana

### Visualizzazione dei dati dopo la rimozione degli eventi transienti



### Analisi della curva HVSR e spettro medio del sito indagato

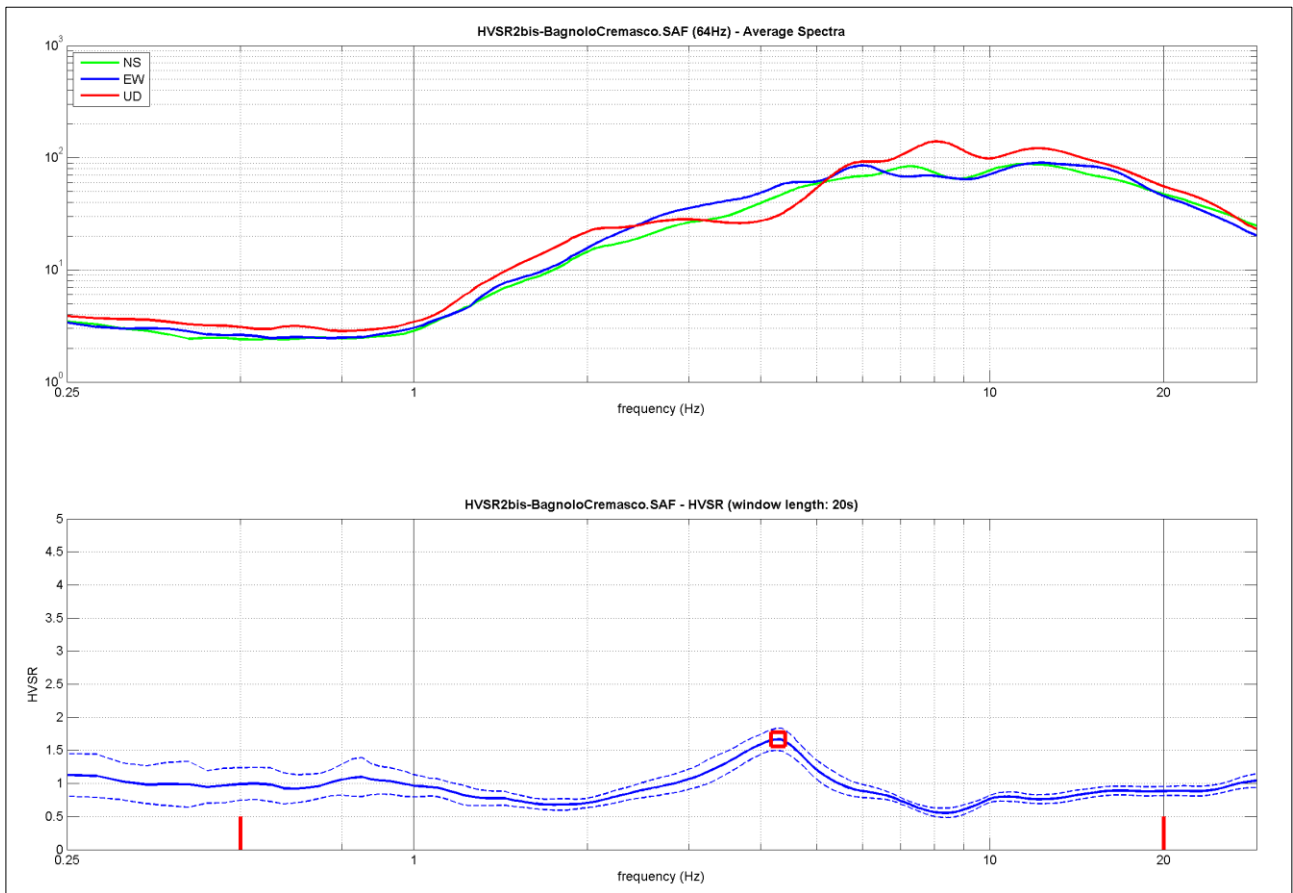
La rispettiva curva HVSR sotto riportata, indica un picco principale a circa 4,3 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

#### **Criteria for a reliable H/V curve** (Criteri per una curva affidabile)

- #1.  $[f_0 > 10/L_w]$ :  $4.285 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[n_c > 200]$ :  $8314 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

#### **Criteria for a clear H/V peak** (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 1.3Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 6.5Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $1.7 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$ :  $1.710 > 0.214$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.170 < 1.58$  (OK)



### **Interpretazione dei risultati**

Il picco a 4,3 Hz con ampiezza pari a 1,7 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSr, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 4,3 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Il picco di risonanza del sito indagato, seppur non rispettando tutti i criteri *SESAME*, può essere ritenuto comunque di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica presente a circa -26 metri di profondità dal p.c., tra la sequenza alluvionale caratteristica del territorio in cui ricade l'area in esame, e sottostanti orizzonti sismostratigrafici maggiormente addensati afferenti alla medesima unità deposizionale.

Pur tenendo debitamente conto delle limitazioni che tale metodologia presenta per la ricostruzione di un profilo sismostratigrafico dettagliato, il picco individuato dall'analisi *H/V* e il relativo tratto di curva, sono stati comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW2+HVSr2, per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili da integrare all'analisi MASW2 di seguito riportata.



### 3. INDAGINE SISMICA MASW

Per la ricostruzione dei profili sismostratigrafici, attraverso la stima dell'andamento medio delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e degli spessori degli strati delle sequenze deposizionali indagate, sono state utilizzate prospezioni sismiche MASW, con acquisizioni ottenute mediante tecnica attiva ed elaborando congiuntamente, ove possibile, la componente verticale delle onde di Rayleigh con le onde di Love.

#### 3.1 Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda ( $\lambda$ ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le MASW attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante le indagini in oggetto sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio  $V_s$  e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) infatti è correlabile alla  $V_s$ , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo MASW non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.





3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

### 3.2 *Acquisizione dei dati*

L'ubicazione e la lunghezza degli stendimenti sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture esistenti. Gli allineamenti sismici per l'acquisizione delle onde di Rayleigh hanno previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni rispetto all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10-12 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love gli stendimenti sismici hanno invece previsto una distanza intergeofonica sempre pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 4 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh, è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (*Senshe* con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntale da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

### 3.3 *Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti*

#### **Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione**

La stima dell'andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, è stata eseguita una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità di fase*. Si analizza lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.



Nella fase interpretativa viene posta particolare attenzione nell'interpretazione della curva di dispersione, in considerazione del fatto che le perturbazioni indotte dalle onde di superficie sono il risultato di diversi *modi di vibrazione*, che possono sovrapporsi nello spettro di velocità. L'energia associata a ciascun modo è essenzialmente determinata dal tipo di sorgente sismica, dalla sua distanza rispetto ai geofoni e, naturalmente, dalla successione stratigrafica locale (cioè dal profilo sismostratigrafico di  $V_s$ ). La lettura e l'interpretazione dello spettro di velocità è avvenuta mediante *l'individuazione delle curve di dispersione* lungo gli allineamenti di massima energia del segnale.

Al fine di individuare i *modi corretti*, correlabili alla reale successione stratigrafica, è stato scelto di eseguire ed analizzare più scoppi sismici ad *Offset* variabili. Tutte le curve di dispersione sono state quindi visionate prima di procedere al processing del *dataset* prescelto. I modi superiori, correttamente riconosciuti, hanno contribuito ad elaborare un modello maggiormente vincolato e preciso e, per evitare di interpretarli come modi fondamentali, è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love.

### **Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVSr**

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle velocità delle onde di taglio (*onde S*). Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love, è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna. Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione dei vari modelli attesi.

Questi sono stati iterativamente modificati fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri delle onde di Rayleigh e di Love, al fine di ottenere un solo modello di velocità, maggiormente vincolato e preciso.

Inoltre, per l'interpretazione degli spettri di velocità di entrambe le analisi MASW, nella loro parte a medio-bassa frequenza ( $<10$  Hz), sono state considerate le curve HV ottenute dalle misurazioni HVSr1 e HVSr2 di microtremore sismico effettuate in corrispondenza degli stendimenti sismici. In particolare, è stata eseguita un'**analisi congiunta** tra gli spettri di dispersione ottenuti con le indagini MASW e la modellazione diretta delle curve H/V misurate, al fine di ottenere un solo modello di velocità per ciascuno dei due siti di indagine.



#### 4. PROFILI SISMOSTRATIGRAFICI

Per l'elaborazione ed interpretazione dei dati si è tenuto conto, delle evidenze dei segnali acquisiti, delle informazioni estrapolate dallo Studio Geologico allegato al P.G.T. comunale di Bagnolo Cremasco, e delle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quelle di indagine ed in contesti geologici omologhi.

Per ciascuna prospezione sismica si riporta quanto segue:

- ubicazione e caratteristiche dello stendimento sismico;
- sismogrammi acquisiti e spettri di velocità delle onde di superficie;
- spettri di velocità di fase con indicazioni delle relative procedure di modellazione diretta attraverso analisi congiunta Rayleigh+Love, mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori che compongono gli spettri;
- tabelle riassuntive del modello sismostratigrafico medio stimato per ciascun sito d'indagine;
- profilo sismostratigrafico  $V_s$  schematico.

Nelle tabelle riassuntive sono riportati i valori delle velocità medie delle onde S, gli spessori e le profondità di ciascun sismostrato e la stima della densità, del modulo di Poisson e di quello di taglio stimati, in modo da definire un **modello geofisico medio** per ciascun sito di indagine.

Si ritiene che l'analisi spettrale congiunta multicomponente Rayleigh+Love con modellazione diretta della HVSR ottenuta per ciascun sito di indagine, abbia consentito di determinare un profilo di  $V_s$  completo e dettagliato, potendo superare i limiti dei metodi stessi; per l'analisi delle onde di Rayleigh l'ambiguità nell'individuazione del modo fondamentale, per l'analisi delle onde di Love la debole penetrazione del segnale sismico in profondità e per l'HVSR la non univocità della soluzione.



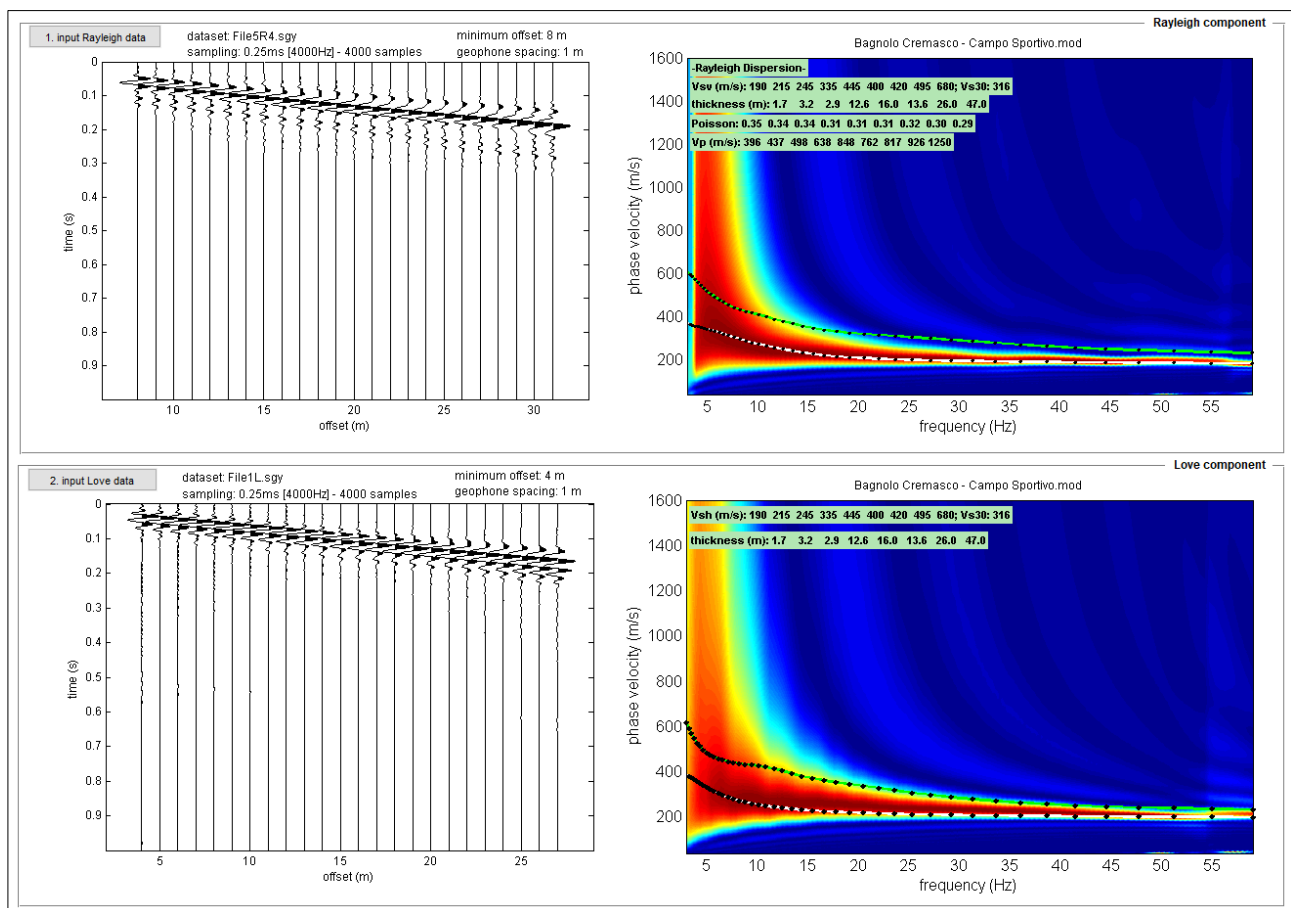
## MASW 1 – Via Kennedy

### Ubicazione e caratteristiche dello stendimento

Lo stendimento sismico MASW1, allineato circa in direzione N-S, è stato eseguito all'interno del campo da calcio presente nel centro sportivo comunale, sito tra Via Kennedy e Via Lodi.

### Sismogrammi acquisiti e spettri di velocità delle onde di superficie

Scelti i sismogrammi più idonei all'analisi spettrale, si è proceduto con lo studio della distribuzione di energia tra i diversi modi di propagazione. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.



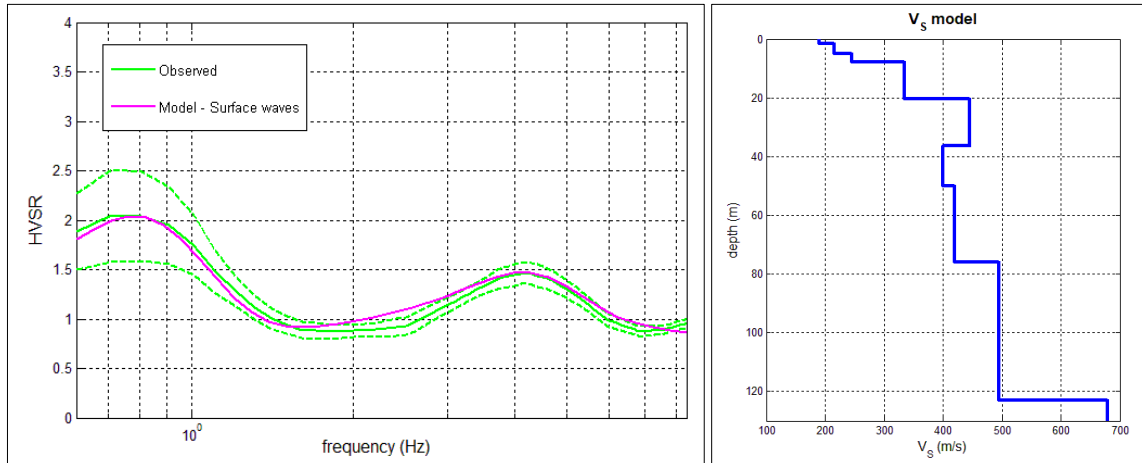
### Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVSR

Al fine di individuare i modi corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta multicomponente Rayleigh+Love. Di seguito vengono riportati i risultati dell'interpretazione degli spettri, consistita nell'individuazione dell'andamento del modo fondamentale e dei modi superiori riconosciuti. Data la distribuzione dell'energia nelle due componenti, Love e Rayleigh, a tratti differenti, attraverso l'analisi



congiunta è stato possibile riconoscere il reale andamento dei modi, ottenendo un modello geofisico maggiormente vincolato e preciso.

Si riporta quindi la modellazione diretta della curva HVSR e la stratigrafia schematica del modello medio, ottenuto mediante analisi congiunta MASW+HVSR fino a -130,0 m dal p.c..



### **Modello sismostratigrafico**

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità, gli spessori e le profondità di ciascun sismostrato e i parametri caratteristici, in modo da definire un modello geofisico medio.

<b>MODELLO GEOFISICO MEDIO - MASW1 - Via Kennedy - Bagnolo Cremasco (CR)</b>						
<b>Sismostrato</b>	<b>Vs (m/s)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Profondità da p.c. (m)</b>	<b>Stima densità (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Modulo di Poisson</b>	<b>Modulo di Taglio (MPa)</b>
<b>1</b>	190	1,7	-1,7	1,83	0,35	66
<b>2</b>	215	3,2	-4,9	1,85	0,34	86
<b>3</b>	245	2,9	-7,8	1,89	0,34	113
<b>4</b>	335	12,6	-20,4	1,95	0,31	218
<b>5</b>	445	16,0	-36,4	2,01	0,31	399
<b>6</b>	400	13,6	-50,0	1,99	0,31	318
<b>7</b>	420	26,0	-76,0	2,00	0,32	354
<b>8</b>	495	47,0	-123,00	2,04	0,30	499
<b>9</b>	680	7,0	-130,00	2,11	0,29	975

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità e si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente utilizzati solo nei modi appropriati.

<b>D.M. 17/01/2018</b>	<b>Profondità del bedrock sismico</b>	<b>V<sub>s,eq</sub> (m/s)</b>	<b>Categoria di sottosuolo</b>	Valore di V <sub>s,eq</sub> calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 m dal p.c.	<b>316</b>	<b>C</b>	Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II





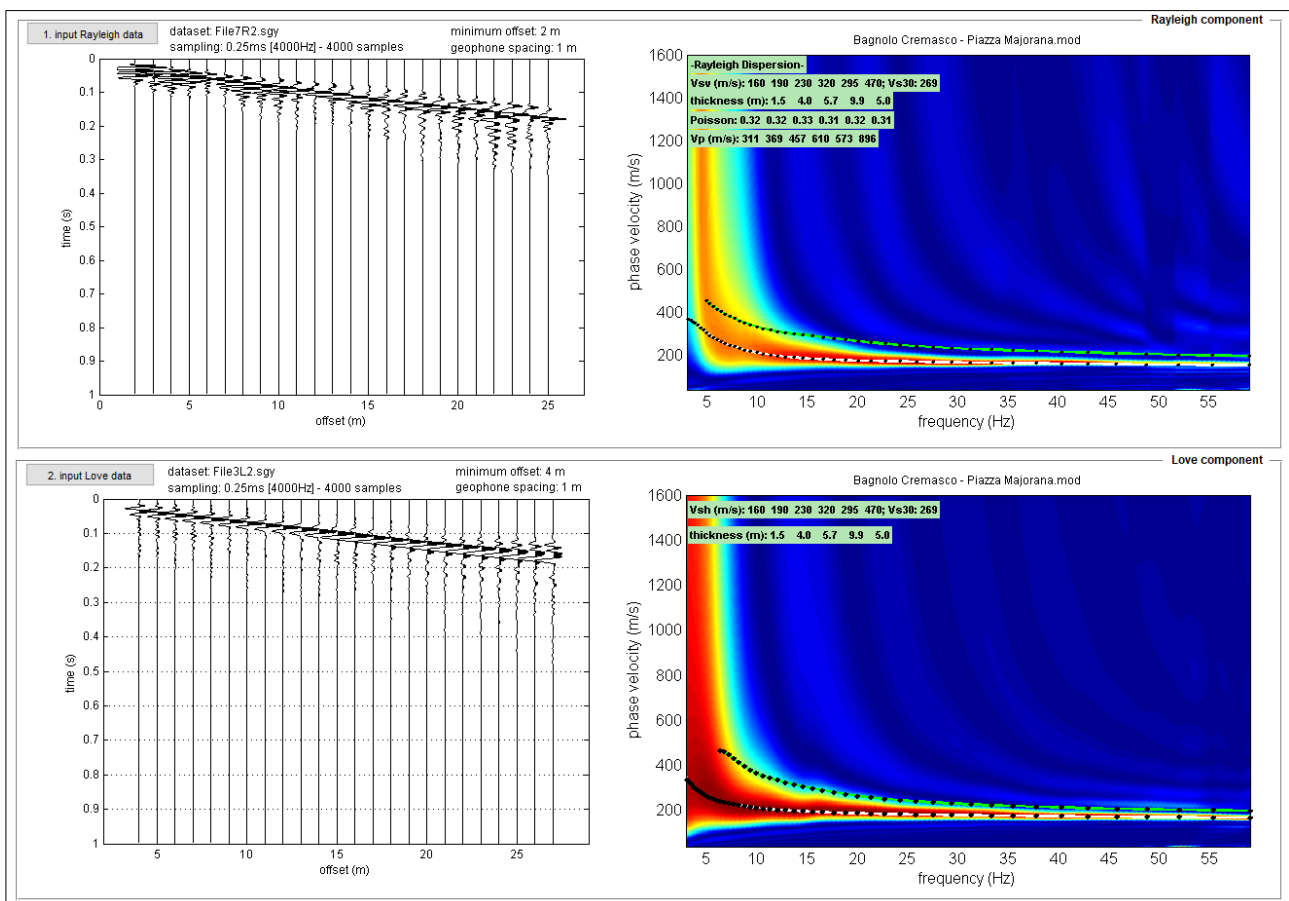
## MASW 2 – Piazza Majorana

### Ubicazione e caratteristiche dello stendimento

Lo stendimento sismico MASW2, allineato in direzione NW-SE, è stato eseguito all'interno di un parco pubblico, sita tra Via Majorana, Via Galvani, Via Meucci e Via Pacinotti.

### Sismogrammi acquisiti e spettri di velocità delle onde di superficie

Scelti i sismogrammi più idonei all'analisi spettrale, si è proceduto con lo studio della distribuzione di energia tra i diversi modi di propagazione. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

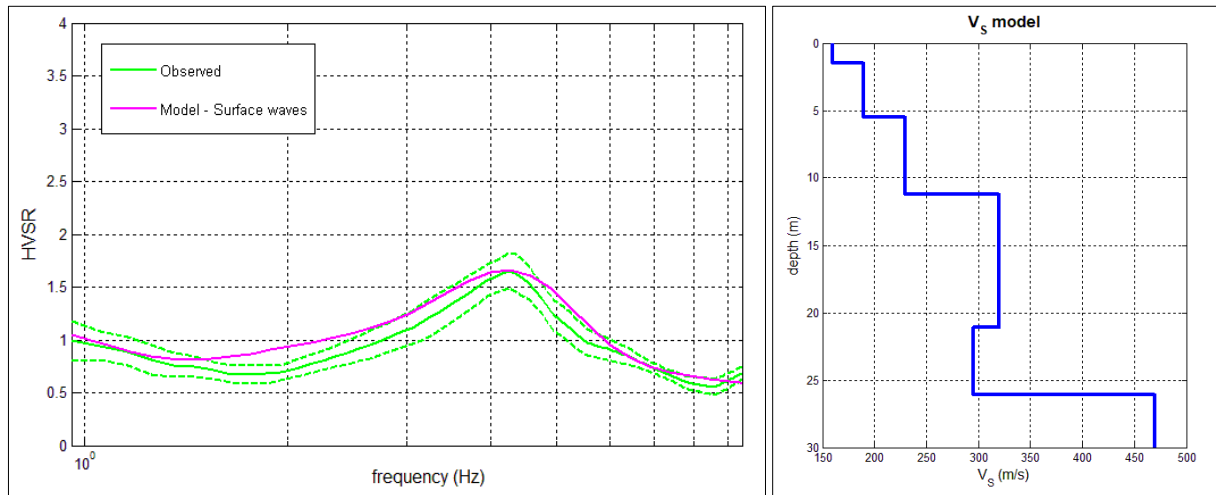


### Procedura di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVS

Al fine di individuare i modi corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta multicomponente Rayleigh+Love. Di seguito vengono riportati i risultati dell'interpretazione degli spettri, consistita nell'individuazione dell'andamento del modo fondamentale e dei modi superiori riconosciuti. Data la distribuzione dell'energia nelle due componenti, Love e Rayleigh, a tratti differenti, attraverso l'analisi congiunta è stato possibile riconoscere il reale andamento dei modi, ottenendo un modello geofisico maggiormente vincolato e preciso.



Si riporta quindi la modellazione diretta della curva HVSR e la stratigrafia schematica del modello medio, ottenuto mediante analisi congiunta MASW+HVSR fino a -30,0 m dal p.c..



### Modello sismostratigrafico

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie, gli spessori e le profondità di ciascun sismostrato e i parametri caratteristici, in modo da definire un modello geofisico medio.

<b>MODELLO GEOFISICO MEDIO – MASW2 – P.zza Majorana – Bagnolo Cremasco (CR)</b>						
<b>Sismostrato</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Profondità da p.c. (m)</b>	<b>Stima densità (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Modulo di Poisson</b>	<b>Modulo di Taglio (MPa)</b>
<b>1</b>	160	1,5	-1,5	1,77	0,32	45
<b>2</b>	190	4,0	-5,5	1,81	0,32	65
<b>3</b>	230	5,7	-11,2	1,86	0,33	99
<b>4</b>	320	9,9	-21,1	1,93	0,31	198
<b>5</b>	295	5,0	-26,1	1,92	0,32	167
<b>6</b>	470	3,9	-30,0	2,03	0,31	448

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da V<sub>s</sub> e densità e si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente utilizzati solo nei modi appropriati.

<b>D.M. 17/01/2018</b>	<b>Profondità del bedrock sismico</b>	<b>V<sub>s,eq</sub> (m/s)</b>	<b>Categoria di sottosuolo</b>	Valore di V <sub>s,eq</sub> calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 m dal p.c.	<b>269</b>	<b>C</b>	

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata alternativamente in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.



## 5. CONCLUSIONI

La scelta delle tecniche di prospezione utilizzate, è stata affrontata sulla base di un'approfondita conoscenza ed un elevato grado di specializzazione riguardo i fenomeni dell'attenuazione e della dispersione dei segnali sismici, ed in particolare delle onde di superficie. Considerando che qualsiasi metodologia di indagine indiretta è inevitabilmente caratterizzata da un certo grado di ambiguità, tecnicamente nota come *non-univocità della soluzione*, si ritiene che un approccio analitico di tipo congiunto (l'utilizzo di più *dataset/metodologie* analizzate all'interno dello stesso strumento di lavoro) abbia limitato problemi interpretativi ed evitato soluzioni inadeguate. L'approccio congiunto MASW (Rayleigh+Love) e l'analisi delle curve HVSr misurate, hanno consentito quindi di determinare profili sismostratigrafici di  $V_s$  completi e più vincolati, potendo superare i limiti di ciascuna metodologia.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità delle onde di taglio (onde S) entro i primi 30 metri di profondità dal p.c., in quanto non è stato in nessun caso raggiunto il bedrock sismico delle successioni indagate, così come inteso dalle NTC 2018 (definizione del parametro  $V_{s,eq}$  secondo il D.M. 17/01/2018), la rispettiva categoria di sottosuolo così come prevista dalla tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018, e la profondità massima di indagine.

Prospezione sismica	Ubicazione	$V_{s,eq}$ (m/s)	Profondità di indagine raggiunta (m)	Profondità del bedrock sismico (m)	Cat. di Sottosuolo
<b>MASW 1 (Via Kennedy)</b>	Campo Sportivo	316	-130,0	Oltre -30 m dal p.c.	C
<b>MASW 2 (P.zza Majorana)</b>	Parco pubblico	269	-30,0	Oltre -30 m dal p.c.	C

Si ritiene che i due modelli geofisici proposti siano, da un punto di vista lito-stratigrafico interpretativo, del tutto coerenti tra di loro e descrivano un assetto sismostratigrafico dell'area d'indagine piuttosto uniforme, con disomogeneità laterali che riguardano solo il diverso spessore degli orizzonti sismostratigrafici superficiali.

Quindi, per ragioni schematiche e di sintesi, nonostante in fase di presentazione dei risultati analitici si sia mantenuta una distinzione tra i due differenti siti d'indagine, si procede alla descrizione di un unico modello geofisico del sottosuolo ottenuto per sismostrati omogeni.

- **Sismostrato 1** Si rileva un primo orizzonte di terreno superficiale rimaneggiato, di spessore variabile tra 1,7 m(MASW1) e 5,5 m(MASW2) complessivamente scarsamente addensato, con velocità delle onde di taglio (onde S) comprese tra 160 e 190 m/s.

- **Sismostrato 2** Seguono fino ad almeno -20,4 m(MASW1)/-26,1 m(MASW2) dal p.c., depositi nel complesso moderatamente addensati, con valori di  $V_s$  compresi tra 215 e 335 m/s, afferenti alla sequenza deposizionale alluvionale, caratteristica di gran parte del territorio comunale di Bagnolo Cremasco.



- **Sismostrato 3** Oltre tali profondità, in accordo con la modellazione diretta dei picchi delle curve HVSR individuati a 4,2 Hz (HV1) e a 4,3 Hz (HV2), si rilevano valori di  $V_s$  in generale e graduale aumento con la profondità e compresi tra 445 e 495 m/s, propri di depositi nel complesso addensati, correlabili alla medesima unità deposizionale indagata. Deboli inversioni dei valori di velocità, come quella riscontrata localmente a partire da -36,4 m dal p.c., possono essere imputabili alla presenza di uno o più livelli prevalentemente limoso-sabbiosi o limoso-argillosi, intercalati alla suddetta sequenza alluvionale/fluvioglaciale o a diminuzioni locali dello stato di addensamento dei medesimi depositi.

- **Sismostrato 4** Per la sola analisi sismica MASW1+HVS1, oltre -123,0 m dal p.c., in accordo con la modellazione diretta del picco principale della curva HVSR1 analizzata, e in funzione del valore di  $V_s$  rilevato pari a 680 m/s, è possibile ipotizzare la presenza di orizzonti particolarmente addensati appartenenti alla medesima sequenza deposizionale indagata.

In conclusione, si ritiene sottolineare che i profili sismostratigrafici ottenuti risultano correlabili con il quadro geologico delle aree indagate e l'andamento dei valori di  $V_s$  nei primi metri risulta coerente con i risultati delle prove dirette reperite da precedenti campagne di indagini geognostiche realizzate entro il territorio di Bagnolo Cremasco.

Bagnolo Cremasco, aprile 2021 – ottobre 2022

I Tecnici


## ALLEGATO FOTOGRAFICO MASW 1 – Via Kennedy



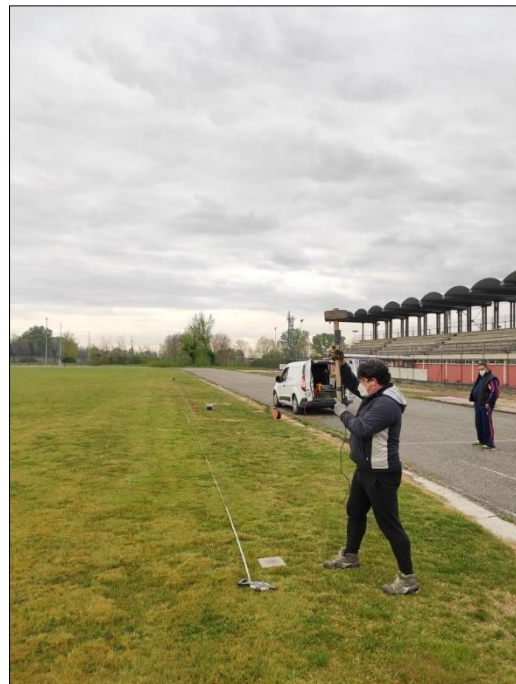
*Stendimento sismico M.A.S.W.*



*Misura del microtremore sismico  
mediante tecnica H.V.S.R.*



*Acquisizione del segnale sismico  
mediante Sismografo Geometrics  
Mod. Geode 3-1000*



*Shot sismico verticale per la  
generazione delle onde di Rayleigh*



## ALLEGATO FOTOGRAFICO MASW 2 – Piazza Majorana



*Stendimento sismico M.A.S.W.*



*Misura del microtremore sismico  
mediante tecnica H.V.S.R.*



*Acquisizione del segnale sismico  
mediante Sismografo Geometrics  
Mod. Geode 3-1000*



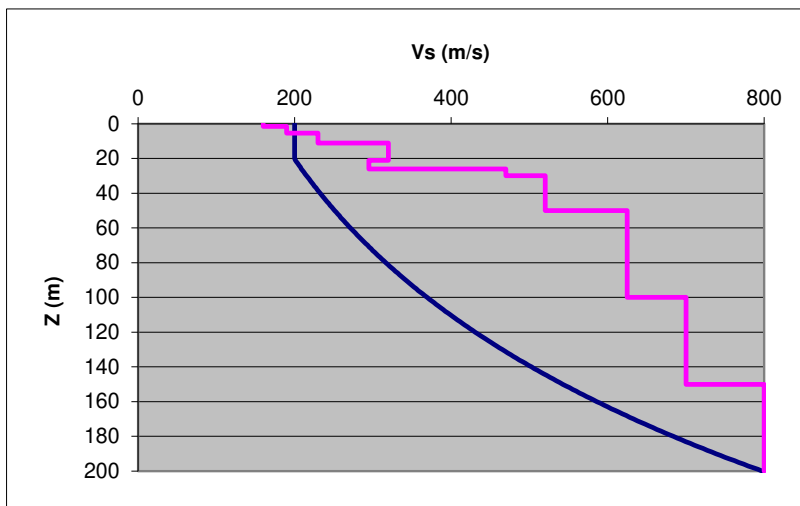
*Shot sismico verticale per la  
generazione delle onde di Rayleigh*

## STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

secondo le procedure dell'All.5 - d.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

### TERRENO SABBIOSO

Prof base	Nspt	Vs
0		
1.5		160
5.5		190
11.2		230
21.1		320
26.1		295
30		470
50		520
100		625
150		700
200		800



Primo strato	
Prof base:	5.5
Vs	182

Periodo del sito	
T (s)	1.276

Curva caratteristica	
n°	2

Velocità primo strato (m/s)	Profondità primo strato (m)																	
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110
200	2	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3								
250	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA				
300	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA		
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA

### VERIFICA

#### COMUNE DI BAGNOLO CREMASCO (CR)

##### Valori di Fa di soglia

Terreni di tipo:

Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s	1.0
-------------------	-----

0,5 s < T < 1,5 s	1.6
-------------------	-----

B	C	D	E
1.4	1.8	2.2	1.9
1.7	2.4	4.1	3

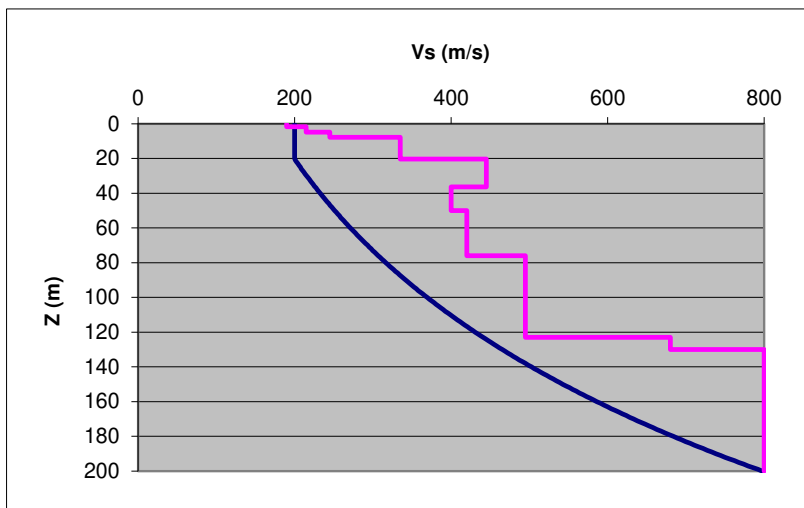
Il Fattore di Amplificazione (Fa) calcolato (1,0) risulta inferiore a quello soglia (1,8) fornito da Regione Lombardia per i terreni di categoria C (come ricavato dall'indagine geofisica condotta) e per edifici con periodo di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi), cui appartiene l'edificio in progetto

## STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

secondo le procedure dell'All.5 - d.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

### TERRENO SABBIOSO

Prof base	Nspt	Vs
0		
1.7		190
4.9		215
7.8		245
20.4		335
36.4		445
50		400
76		420
123		495
130		680
200		800



Primo strato	
Prof base:	4.9
Vs	206

Periodo del sito	
T (s)	1.410

Curva caratteristica	
n°	2

Velocità primo strato (m/s)	Profondità primo strato (m)																	
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110
200	2	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3								
250	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA				
300	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA

### VERIFICA

#### COMUNE DI BAGNOLO CREMASCO (CR)

##### Valori di Fa di soglia

Terreni di tipo:

Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s	1.0
-------------------	-----

0,5 s < T < 1,5 s	1.5
-------------------	-----

B	C	D	E
1.4	1.8	2.2	1.9
1.7	2.4	4.1	3

Il Fattore di Amplificazione (Fa) calcolato (1,0) risulta inferiore a quello soglia (1,8) fornito da Regione Lombardia per i terreni di categoria C (come ricavato dall'indagine geofisica condotta) e per edifici con periodo di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi), cui appartiene l'edificio in progetto

Allegato 4

## SCHEDE DEI FONTANILI

*Numerazione Provincia di Cremona  
Censimento 1998 – 2004*



## 74. fontanile VALMARZA

### DATI GEOGRAFICI

Comune: Bagnole Cremasco

Quota s.l.m.: 70 m

Cartografia: Sezione C.T.R. 1:10.000 Bagnolo Cremasco - C6a5

Coordinate Gauss-Boaga: 5 022 100 N - 1 546 650 E

### DESCRIZIONE DEL BIOTOPO

Il fontanile è situato nei pressi della cascina Bagnolasca di Sotto, iscritto in aree depresse (alvei abbandonati) nel bacino idrico del fiume Adda.

### Dati morfologici e idrologici

Forma del capofonte: a "I."

Larghezza della testa (m): 2,0

Profondità dello scavo (m): 2,1-2,6

Profondità dell'acqua (m): 0,6 (6/9/02)

Alimentazione: n. 1 tino in cemento

### Principali aspetti vegetazionali (specie dominanti)

**Vegetazione acquatica (copertura 50-75%):** *Veronica anagallis-aquatica*, *Callitriche* sp., *Apium nodiflorum*, *Myosotis scorpioides*, *Nasturtium officinale*, *Polygonum hydropiper*, *Lemna minor*

**Vegetazione erbacea igrofila di bordura:** *Typhoides arundinacea*, *Iris pseudacorus*, *Ilythrum salicaria*, *Sparganium erectum*, *Symphytum officinale*, *Thelypteris palustris*, *Polygonum hydropiper*, *Carex elata*, *Carex riparia*, *Carex acutiformis*, *Cyperus longus*

**Vegetazione erbacea terricola:** *Urtica dioica*, *Carex birta*, *Galium mollugo*, *Galium aparine*, *Glechoma hederacea*, *Humulus lupulus*, *Phytolacca americana*, *Potentilla reptans*, *Polygonum aviculare*, *Silene alba*, *Sorghum halepense*, *Calystegia sepium*

**Vegetazione arboreo-arbustiva (copertura 0-25%):** *Rubus caesius*, *Cornus sanguinea*, *Populus* sp., *Quercus robur*





## 101. fontanile MELESA

### DATI GEOGRAFICI

Comune: Bagnolo Cremasco

Quota s.l.m.: 73 m

Cartografia: Sezione C.T.R. 1:10.000 Bagnolo Cremasco - C6a5

Coordinate Gauss-Boaga: 5 022 820 N - 1 547 690 E

### DESCRIZIONE DEL BIOTOPO

Il fontanile è situato a ovest della cascina Pistagna, iscritto in aree depresse (alvei abbandonati) nel bacino idrico del fiume Serio.

### Dati morfologici e idrologici

Forma del capofonte: rettangolare allungata      Larghezza della testa (m): 1,3

Profondità dello scavo (m): 1,4

Profondità dell'acqua (m): 0,3 (6/9/02)

Alimentazione: emergenze non evidenti

### Principali aspetti vegetazionali (specie dominanti)

**Vegetazione acquatica (copertura 75-100%):** *Callitriche (obtusangula)*, *Lemna minor*, *Veronica anagallis-aquatica*, *Nasturtium officinale*, *Polygonum hydropiper*, *Rumex conglomeratus*, *Apium nodiflorum*

**Vegetazione erbacea igrofila di bordura:** *Carex acutiformis*, *Cyperus longus*, *Polygonum hydropiper*, *Iythrūm salicaria*, *Sparganium erectum*, *Galium elongatum*

**Vegetazione erbacea terricola:** *Urtica dioica*, *Amaranthus lividus*, *Carex birta*, *Polygonum aviculare*, *Chenopodium album*, *Chenopodium polyspermum*, *Galium mollugo*, *Calystegia sepium*, *Glechoma hederacea*, *Phytolacca americana*, *Potentilla reptans*, *Silene alba*, *Agropyron repens*

**Vegetazione arboreo-arbustiva (copertura 0-25%):** *Alnus glutinosa*, *Platanus hybrida*, *Rubus caesius*, *Sambucus nigra*, *Salix alba*, *Robinia pseudoacacia*.



Allegato 5

GEOSITO N. 2

*Moso di  
Bagnolo, Trescore e Vaiano*





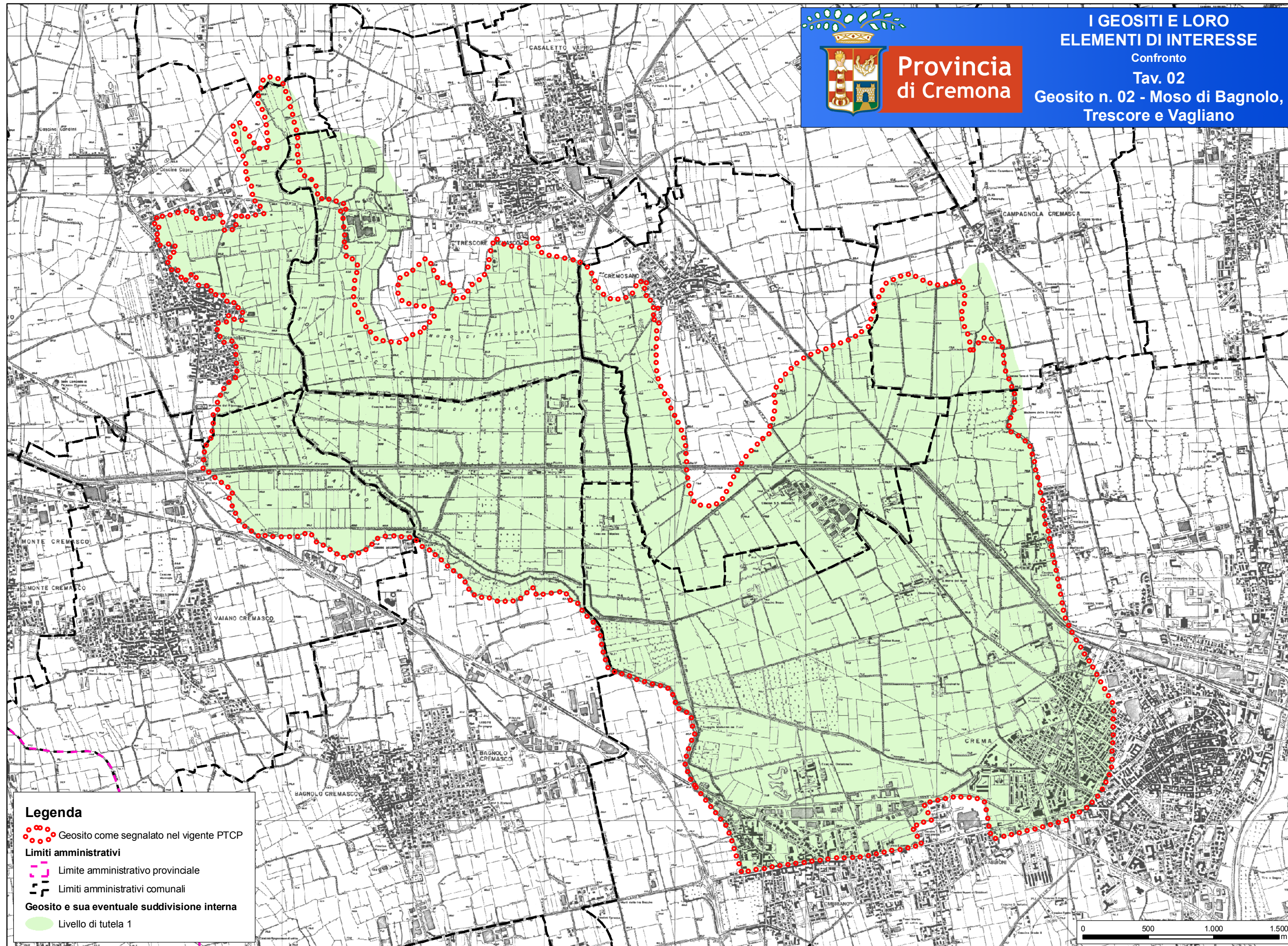
Provincia  
di Cremona

I GEOSITI E LORO  
ELEMENTI DI INTERESSE


Confronto

Tav. 02

Geosito n. 02 - Moso di Bagnolo,  
Trescore e Vaglio



### Legenda

 Geosito come segnalato nel vigente PTCP

#### Limiti amministrativi

 Limite amministrativo provinciale

 Limiti amministrativi comunali

#### Geosito e sua eventuale suddivisione interna

 Livello di tutela 1

0 500 1.000 1.500  
m





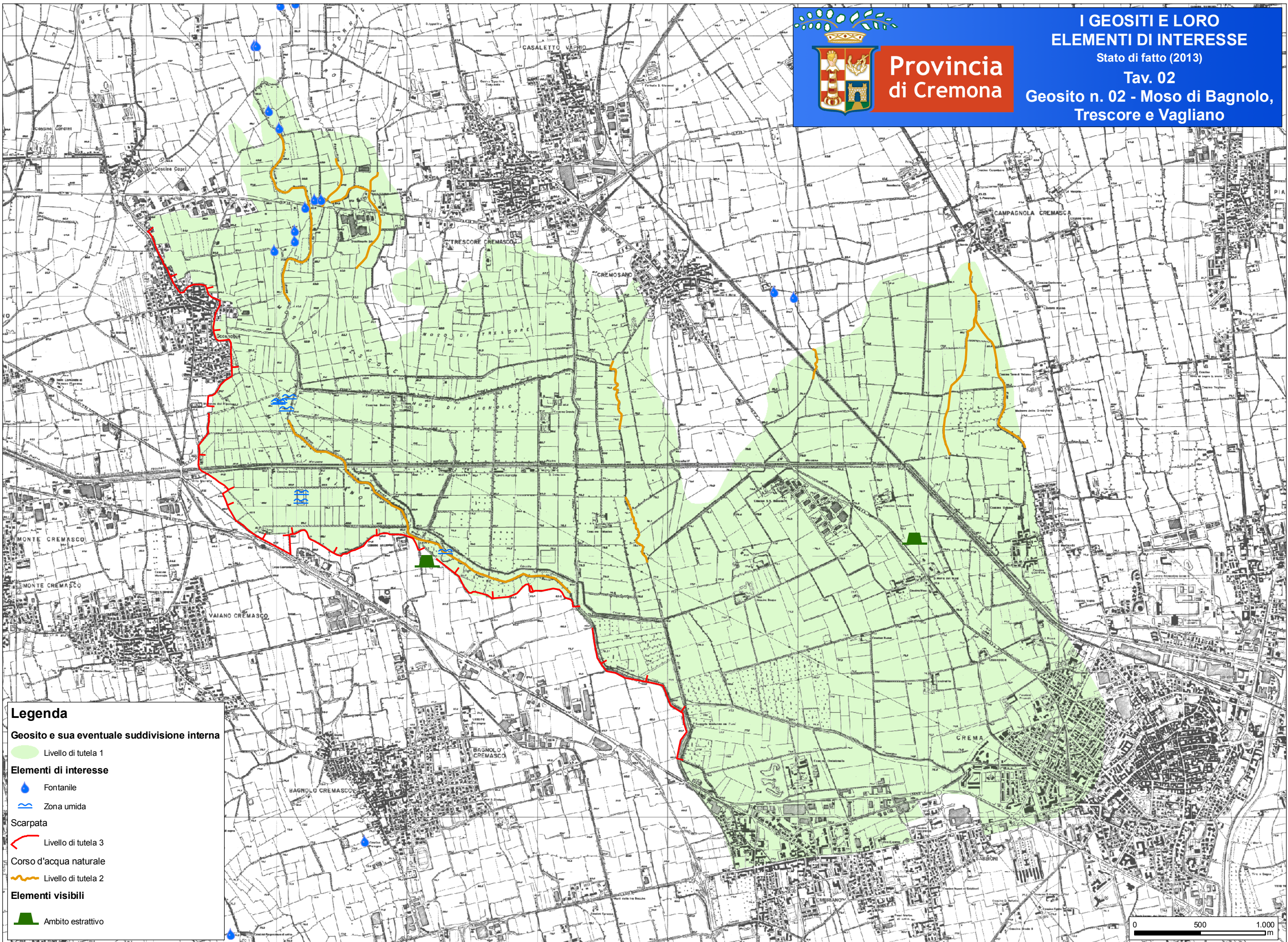
Provincia  
di Cremona

I GEOSITI E LORO  
ELEMENTI DI INTERESSE

Stato di fatto (2013)

Tav. 02

Geosito n. 02 - Moso di Bagnolo,  
Trescore e Vaglio



## Legenda

### Geosito e sua eventuale suddivisione interna

 Livello di tutela 1

### Elementi di interesse


 Fontanile

 Zona umida


### Scarpata

 Livello di tutela 3

 Corso d'acqua naturale

 Livello di tutela 2

### Elementi visibili

 Ambito estrattivo

0 500 1.000  
m



Allegato 6

DIFFORMITÀ RISPETTO ALLA  
CARTA DELLE TUTELE E  
SALVAGUARDIE DEL PTCP  
(dott. geol. M. Daguati,  
2011)



reticolato idrografico, si rammenta che sul territorio comunale non insistono vincoli derivanti dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Nello specifico elaborato cartografico, inoltre, sono stati recepiti anche i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica derivanti dal P.T.C.P. all'art. 16<sup>1</sup>; in particolare:

1. I corsi d'acqua naturali e artificiali di cui alla lettera c dell'art. 22 del Piano territoriale paesistico regionale (nello specifico del territorio di Bagnolo Cremasco, **il Canale Vacchelli** compresa l'alzaia relativa) (art 16.2<sup>2</sup>).
2. Gli **orli di scarpata**, assoggettati a specifica tutela da parte del P.T.C.P. (art. 16.4 <sup>3</sup>). In merito a questa tematica, si segnala che la cartografia dei vincoli di cui alla specifica tavola

---

<sup>1</sup> **Art. 16 - Aree soggette a regime di tutela del PTCP**

*Le tutele definite dal PTCP riguardano le aree con caratteri di elevata qualità paesistico-ambientale non indicate nei regimi di tutela nazionale e regionale. La tutela di queste aree ha come obiettivo il mantenimento e dove possibile l'incremento dell'efficacia ecologica, della qualità estetico-visuale e dei riferimenti storico-culturali. Tali aree non devono quindi essere oggetto di interventi che comportino il loro degrado e/o la loro perdita anche parziale. Al riguardo, l'attivazione di pratiche agricole coerenti con gli obiettivi di tutela di seguito indicati potrà essere oggetto di incentivi economici.*

*Entro due anni dall'approvazione del PTCP, il Comune recepisce nel proprio strumento urbanistico le tutele riportate in questo articolo, adattando, in collaborazione con l'Ufficio di Piano provinciale, le relative indicazioni agli specifici caratteri del proprio territorio. Il Comune definisce inoltre le modalità sanzionatorie a carico dei responsabili di attività e di interventi che compromettono anche in modo parziale le aree della rete ecologica di primo e di secondo livello. Tali sanzioni consisteranno in interventi di ripristino delle precedenti condizioni delle aree danneggiate o, in alternativa, in opere di compensazione o in risarcimenti equivalenti al danno causato.*

*Le aree e i beni tutelati sono riportati nella Carta delle tutele e delle salvaguardie. Per quanto attiene ai fontanili e alle zone umide di cui ai successivi punti 5 e 6, la loro migliore individuazione è demandata ai Comuni anche sulla base di appositi censimenti effettuati dalla Provincia, in collaborazione con i Comuni.*

<sup>2</sup> **(art. 16.2)** *Per i corsi d'acqua artificiali sopra elencati non sono consentite attività o azioni che comportino in modo diretto o indiretto l'alterazione o il degrado dei caratteri paesistici e ambientali dei beni oggetto di tutela. In tali ambiti il Comune applica i regimi autorizzatori già previsti per legge, accertando, per la realizzazione di eventuali interventi edificatori, oltre al rispetto degli elementi di interesse paesistico la presenza di opportune forme di mitigazione e compensazione alla luce dei criteri espressi nel Documento direttore al capitolo 4.1.*

<sup>3</sup> **(art. 16.4)** *I tratti significativi delle scarpate principali (altezza superiore a 3 m) e secondarie (altezza inferiore a 3 m), indicati nella Carta delle tutele e delle salvaguardie, in quanto emergenze morfologico-naturalistiche che, in rapporto alla loro evidenza percettiva, costituiscono degli elementi di notevole interesse paesistico. Essi concorrono spesso a formare fasce dotate di un alto grado di naturalità e costituiscono elementi di riferimento simbolico come presenze evocative del paesaggio originario.*

*Per gli orli di scarpata principali e secondari non sono consentiti interventi e trasformazioni che alterino i loro caratteri morfologici, paesaggistici e naturalistici. Si ritengono inaccettabili gli interventi di urbanizzazione e di nuova edificazione per una fascia di 10 metri in entrambe le direzioni dall'orlo di tali scarpate, distanza eventualmente estendibile da parte del Comune, mentre sono consentiti, per gli edifici esistenti, gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di ristrutturazione edilizia, di restauro, di risanamento conservativo e di adeguamento funzionale; gli eventuali ampliamenti devono svilupparsi nella direzione opposta all'orlo di scarpata.*

corregge parzialmente (grazie a una cartografia di maggior dettaglio) lo sviluppo del lineamento di cui al P.T.C.P. “*Carta delle tutele e delle Salvaguardie*”.

3. i **fontanili** (art. 16.5 del P.T.C.P.<sup>4</sup>);

4. le **zone umide e i bodri** (art. 16.6 del P.T.C.P.<sup>5</sup>).

---

*Si ritengono inoltre inaccettabili quegli interventi di natura non edificatoria, quali ad esempio le attività di cava, di piscicoltura e/o pesca sportiva e le bonifiche agricole (o comunque interventi estrattivi in fondi agricoli), che portano a una riduzione della valenza simbolica degli elementi evocativi di paesaggi originari o della valenza estetico-percettiva, alla perdita dei riferimenti del disegno territoriale originario e al complessivo peggioramento dei caratteri naturali della vegetazione esistente. La possibilità di effettuare interventi e trasformazioni che alterino tali elementi è ammissibile solamente per la realizzazione di opere di pubblica utilità a fronte di interventi di parziale compensazione naturalistica da definire in base alle caratteristiche del comune,*

*alla natura dell'intervento e ai criteri di sostenibilità previsti dal PTCP di cui alla Normativa e in particolare all'Appendice D “Individuazione dei contenuti minimi dei PGT sugli aspetti sovracomunali”.*

*Nel caso in cui venga accertata una oggettiva difformità tra l'assetto del territorio e le scarpate morfologiche indicate nella Carta delle tutele e delle salvaguardie, gli Enti Locali, sulla base di valutazioni di maggior dettaglio degli elementi morfologici presenti sul loro territorio (es. componente geologica del PGT), possono provvedere alla corretta trasposizione dell'andamento delle scarpate, attraverso la proposta di una modifica non sostanziale cartografica al PTCP di cui all'art. 34 comma 1.*

<sup>4</sup> **(art. 16.5)** *I fontanili, in quanto testimonianza storica della cultura materiale dei luoghi e in quanto sistema di elevato valore ecologico e naturalistico.*

*Non sono consentite opere di urbanizzazione e di nuova edificazione per un raggio di 50 metri dalla testa del fontanile e per una fascia di 10 metri su entrambi i lati lungo i primi 200 metri dell'asta, distanze eventualmente estendibili da parte del Comune, ad esclusione, per gli edifici esistenti, degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di ristrutturazione edilizia, di restauro, di risanamento conservativo e di adeguamento funzionale. Gli eventuali ampliamenti potranno essere effettuati esclusivamente nella direzione opposta a quella della testa del fontanile. Non sono altresì consentiti azioni o interventi che possano compromettere le risorse idriche superficiali e sotterranee, in particolare le alterazioni del sistema idraulico del capofonte e del relativo microambiente, ad eccezione delle normali operazioni di manutenzione.*

<sup>5</sup> **(art. 16.5)** *Le zone umide - quali paludi, bodri, lanche, morte e laghetti di cava rinaturalizzati, anche di nuova formazione - non comprese negli areali di elevato pregio naturalistico e faunistico di cui ai punti 5 e 6 dell'art. 14, ai punti 1, 2 e 4 dell'art. 15 e al punto 5 del presente articolo, poiché costituiscono biotopi di elevato interesse ecologico e naturalistico. Per le zone umide non sono consentiti interventi di carattere edificatorio e interventi di trasformazione o di manomissione diretta ed indiretta sino ad un intorno di 50 m, ad esclusione, per gli edifici esistenti, degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di ristrutturazione edilizia, di restauro, di risanamento conservativo e di adeguamento funzionale. Gli eventuali ampliamenti potranno essere effettuati esclusivamente nella direzione opposta a quella delle zone umide. In detto intorno, eventualmente estendibile da parte del Comune, dal confine dell'area protetta da tutelare individuata dal Comune o dalla Provincia. Non sono inoltre consentite opere di bonifica per fini agricoli (o comunque interventi estrattivi in fondi agricoli) o per la sistemazione del terreno in un intorno di 10 m, eventualmente estendibili da parte del Comune. Sono infine consentite le attività agricole e ricreative compatibili con tali aree. Nel caso in cui venga accertata una oggettiva difformità tra l'assetto del territorio e le zone umide indicate nella Carta delle tutele e delle salvaguardie, gli Enti Locali, sulla base di valutazioni di maggior dettaglio degli elementi effettivamente presenti sul loro territorio (es. componente geologica del PGT), possono provvedere alla corretta localizzazione delle zone umide, attraverso la proposta di una modifica non sostanziale cartografica al PTCP di cui all'art. 34 comma 1.*

In relazione al tematismo degli orli di scarpata morfologica e dei fontanili, la carta dei vincoli allegata riporta fedelmente i lineamenti morfologici come cartografati nel P.T.C.P. (nonostante le discrepanze rilevate a scala locale), successivamente corretti nella carta di sintesi e tutelati nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano.

La seguente figura documenta le difformità rilevate sul terreno rispetto alla cartografia del P.T.C.P..

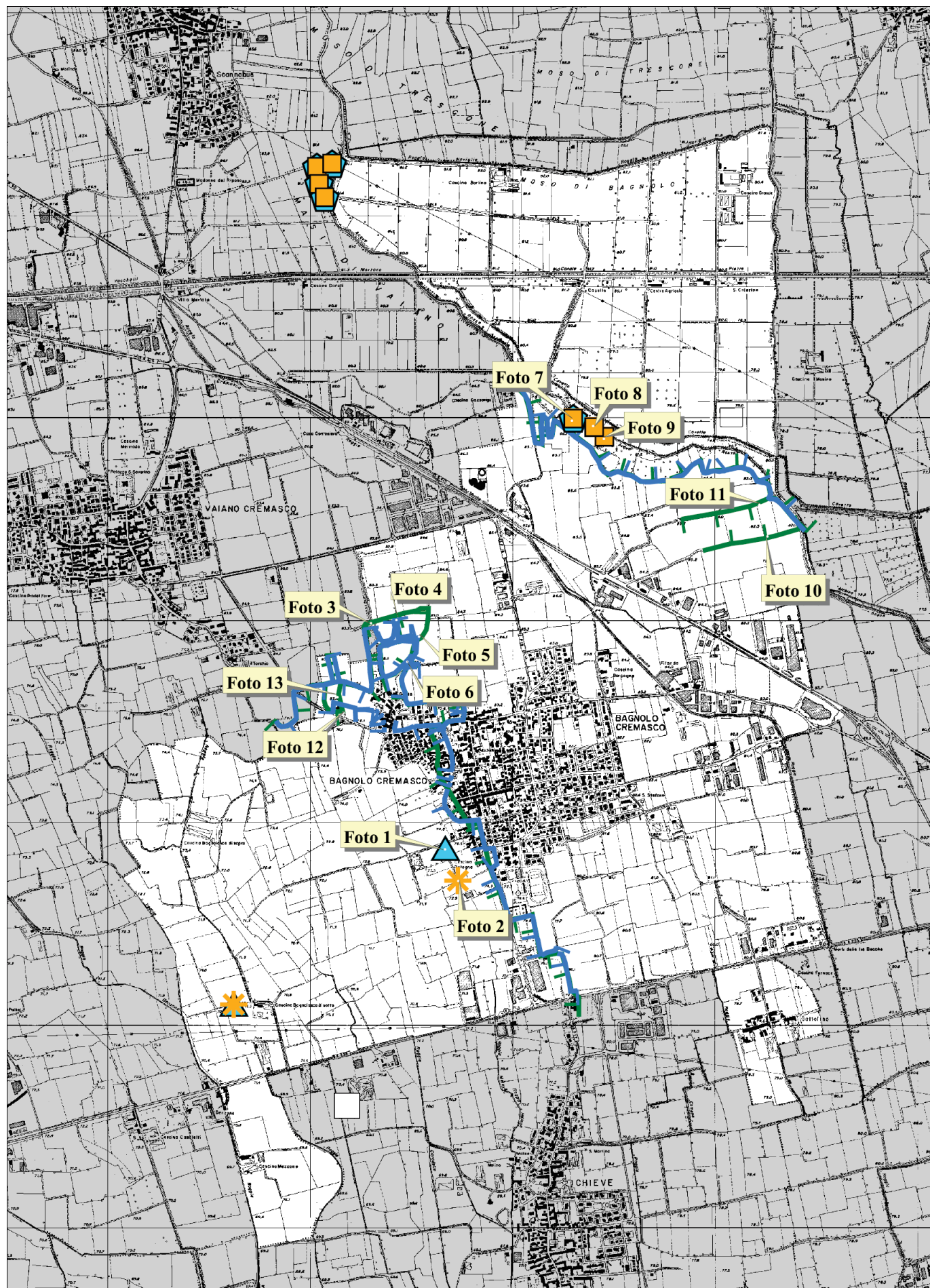






foto 1: la posizione erroneamente indicata dal PTCP per un fontanile



foto 2: reale ubicazione del fontanile



foto 3: zona segnalata erroneamente dal PTCP come interessata da scarpata morfologica



foto 4: scarpate morfologiche relative al reticolo idrico



foto 5: incisione fluviale del reticolo idrico



foto 6: scarpata morfologica (il PTCP indica due scarpate tra loro convergenti, una delle quali coincidente in realtà con una riva del reticolo idrico secondario)







	
<p>Foto 7: zona umida (PTCP e studio di dettaglio)</p>	<p>Foto 8: zona umida rilevata nel corso dello studio del PGT</p>
	
<p>Foto 9: zona umida rilevata nel corso dello studio del PGT</p>	<p>Foto 10: scarpata morfologica indicata dal PTCP (si tratta in realtà di un blando rimaneggiamento della superficie topografica che ha occultato un lineamento originario di esili dimensioni, non più evidente a campagna)</p>





Foto 11: area interessata da scarpata morfologica secondo il PTCP, priva di qualsiasi riscontro a piano campagna



foto 12: scarpata morfologica indicata dal PTCP (fortemente rimaneggiata dagli interventi di urbanizzazione)



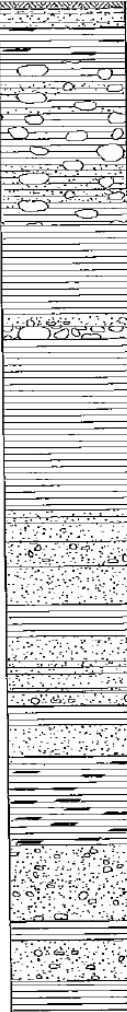




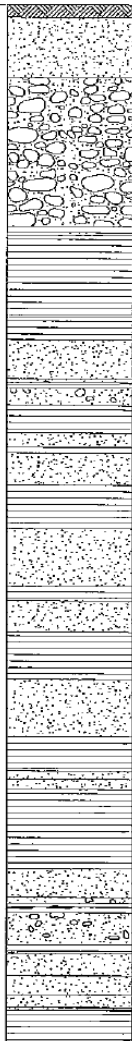
foto 13: la scarpata morfologica indicata dal PTCP non ha alcun riscontro fisico

Allegato 7

STRATIGRAFIE DEI POZZI  
PUBBLICI POTABILI



numero di archivio		Comune: Bagnolo Cremasco - Serbatoio Impr. di Perf.: F.lli Costa S.p.A.	
BCR1			
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			da 00.00 a 00.90 terreno vegetale
			da 00.90 a 04.00 sabbia gialla limosa
			da 04.00 a 09.00 argilla e torba
			da 09.00 a 35.00 argilla e sabbia con ciottoli grossi
			da 35.00 a 49.00 argilla di vari colori
			da 49.00 a 51.00 sabbia grossa chiara con ghiaietto
			da 51.00 a 53.00 ghiaia e ghiaietto
			da 53.00 a 80.00 argilla di vari colori
			da 80.00 a 82.00 sabbia grossa con zolle di argilla
			da 82.00 a 85.00 sabbia media fine
			da 85.00 a 89.00 sabbia grossa con ghiaietto scuro
			da 89.00 a 95.00 sabbia molto fine
			da 95.00 a 100.00 argilla scura
			da 100.00 a 104.00 sabbia media e fine
			da 104.00 a 109.00 argilla con strati di sabbia fine
da 109.00 a 111.00 sabbia grossa con ghiaietto			
da 111.00 a 114.00 argilla azzurra compatta			
da 114.00 a 119.00 sabbia media scura			
da 119.00 a 133.00 argilla con torba			
da 133.00 a 145.00 sabbia grossa con ghiaietto scuro			
da 145.00 a 148.00 argilla			
da 148.00 a 154.50 sabbia media, grossa con poco ghiaietto			
da 154.50 a 160.00 argilla			
scala 1:1.000			
*La stratigrafia è stata redatta sulla base delle informazioni fornite dall'impresa esecutrice			Dott. Geologo Marco Daguati via A. Diaz, 22 26845 Codogno (Lo) tel. (0377) 433021 - 69140

numero di archivio  <b>BCR2</b>	Comune: Bagnolo Cremasco - Scuole Medie Impr. di Perf.: F.lli Costa S.p.A.		
Profondità	SEZIONE	STRATIGRAFIA	NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI (la profondità è espressa in metri dal p.c.)
			<p>da 00.00 a 02.00 terreno vegetale</p> <p>da 02.00 a 11.50 sabbia media fine</p> <p>da 11.50 a 35.00 ghiaia e sabbia grossa</p> <p>da 35.00 a 36.50 argilla gialla scura</p> <p>da 36.50 a 44.00 argilla grigia</p> <p>da 44.00 a 49.50 argilla giallastra</p> <p>da 49.50 a 53.00 argilla cenere</p> <p>da 53.00 a 59.20 sabbia fine gialla</p> <p>da 59.20 a 59.80 ghiaietto e sabbia grigia</p> <p>da 59.80 a 60.70 argilla torbosa</p> <p>da 60.70 a 63.50 ghiaietto e sabbia grigia</p> <p>da 63.50 a 67.80 argilla scura</p> <p>da 67.80 a 70.00 sabbia media grigia</p> <p>da 70.00 a 71.00 argilla grigia</p> <p>da 71.00 a 76.00 sabbia fine</p> <p>da 76.00 a 83.00 argilla grigia</p> <p>da 83.00 a 92.30 sabbia media grossa</p> <p>da 92.30 a 94.50 argilla grigia</p> <p>da 94.50 a 99.50 sabbia fine grigia</p> <p>da 99.50 a 107.00 argilla grigia</p> <p>da 107.00 a 116.00 sabbia fine grigia</p> <p>da 116.00 a 121.50 argilla</p> <p>da 121.50 a 122.80 sabbia media grigia scura</p> <p>da 122.80 a 124.50 sabbia media grossa scura</p> <p>da 124.50 a 137.00 argilla grigia</p> <p>da 137.00 a 141.50 sabbia media grigia</p> <p>da 141.50 a 142.50 sabbia grossa e ghiaietto</p> <p>da 142.50 a 144.00 argilla torbosa</p> <p>da 144.00 a 149.00 sabbia grossa con ghiaietto</p> <p>da 149.00 a 150.40 argilla</p> <p>da 150.40 a 154.00 sabbia fine</p> <p>da 154.00 a 157.00 sabbia medio grossa</p> <p>da 157.00 a 159.00 sabbia fine grigio scura</p> <p>da 159.00 a 159.50 sabbia fine</p> <p>da 159.50 a 164.50 argilla grigia</p>
scala 1:1.000	138 142.5 144.5 149 154.5 156.5		Dott. Geologo Marco Daguati via A. Diaz, 22 26845 Codogno (Lo) tel. (0377) 433021 - 69140

\*La stratigrafia è stata redatta sulla base delle informazioni fornite dall'impresa esecutrice

