



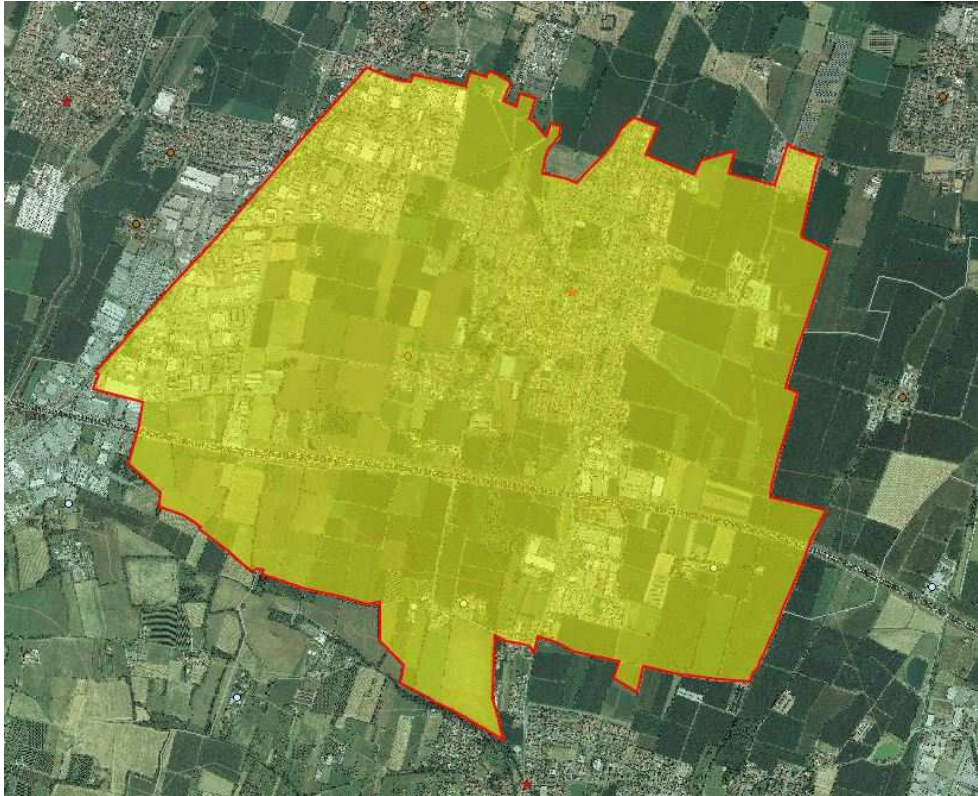
Regione Lombardia



## COMUNE DI FLERO

Committente:

"Amministrazione Comunale di Flero" - Piazza IV Novembre, 4 - 25020 - Flero (BS)



**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 E 2 (ICMS 2008) DEL COMUNE DI FLERO (BS)**

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

Dott. Geol. Alessandro Schiepatti



Dott. Geol. Bruno Quadrio



Dott. Geol. Fabio Fenaroli



Prima stesura: rev.00\_marzo 2017

versione: rev.01

Pisogne, ottobre 2017

Via Giuseppe Palini, 5  
25055 Pisogne (BS)  
cell. 328.059.00.24  
geologo.fenaroli@gmail.com



**GEOLOGO  
FABIO  
FENAROLI**

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Riferimenti normativi .....	3
1.2. Metodologia di lavoro .....	5
<b>2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Storia sismica del Comune di Flero.....	7
2.2. Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche .....	11
2.2.1. Le faglie capaci in Pianura Padana .....	13
2.2.2. Assetto sismotettonico e sorgenti sismogenetiche della Pianura Padana centrale.....	15
2.2.3. Sorgenti sismogenetiche del Sudalpino .....	16
2.2.4. Le sorgenti sismogenetiche del terremoto del 1117 e il terremoto di Brescia del 1222 .....	18
2.2.5. Sorgenti sismogenetiche dell'Appennino Settentrionale.....	20
<b>3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME.....</b>	<b>22</b>
3.1. Elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici .....	22
<b>4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI - MODELLO DEL SOTTOSUOLO - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE.....</b>	<b>26</b>
4.1. Raccolta documentazione e stesura "Carta delle Indagini" .....	26
4.2. Stesura "Carta Geologico - tecnica" .....	27
4.3. Stesura "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)" .....	27
4.4. Stesura "Carta di Microzonazione Sismica di livello 2".....	29
4.4.1. Scelta delle schede litologiche per la definizione dei fattori di amplificazione utili alla definizione della carta di micorzonazione sismica di livello 2.....	30
4.4.2. Campagna di indagini geofisiche e andamenti della velocità delle onde di taglio con la profondità .....	32
4.4.3 Individuazione della scheda litologica per la definizione dei fattori di amplificazione.....	36
4.4.4. Sintesi dei dati e stesura delle carte di micorzonazione sismica di livello 2.....	38
<b>5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>39</b>

**ALLEGATO A:** CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE TIPO MASW E REMI NEL COMUNE FLERO

**ALLEGATO B:** IL TERREMOTO DI BRESCIA DEL 1222 (GIUSEPPE BERRUTI, ANNALI QUIERINIANI, 2002)

## 1. PREMESSA

Su incarico (determinazione dirigenziale n. 389 del 07/11/2016 del Responsabile Area della Programmazione del Territorio) dell'Amministrazione Comunale di Flero (BS) è stato realizzato il presente studio di "Microzonazione Sismica di livello 1 e 2" del territorio comunale che ha previsto, a completamento dell'incarico affidato, anche la realizzazione dell'"Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)" dell'urbanizzato di Flero e di cui si renderà conto nella specifica relazione illustrativa.

Il presente studio è stato redatto ai sensi dell' **OCDPC 344/2016 "Attuazione dell'art. 11 del decreto legge 28 Aprile 2009, n. 39, convertito, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77"** mentre per quanto riguarda gli aspetti tecnici si è di fatto applicata la procedura prevista dagli:

- Indirizzi e criteri di microzonazione sismica (ICMS 2008 - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento di Protezione Civile);
- Microzonazione Sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 4.0 - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, Roma - ottobre 2015);
- Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 3.0.2 - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, Roma - settembre 2015).

### 1.1. Riferimenti normativi

Come precedentemente citato il presente studio è stato realizzato in adempimento dell' **OCDPC 344/2016 "Attuazione dell'art. 11 del decreto legge 28 Aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77"**, la penultima di una serie di Ordinanze attuative di disposizioni di legge (Legge 24 giugno 2009, n. 77 *"Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 Aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile"*), che si sono succedute a seguito dell'evento sismico dell'Aquila dell'Aprile 2009.

Nell'ambito della Microzonazione Sismica numerose sperimentazioni erano state effettuate a più riprese, a seguito di ogni evento sismico significativo, fin dal terremoto del Friuli del 1976 ma è solo con l'entrata in vigore dell'**OPCM 3274/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica"** e la conseguente classificazione sismica su tutto il territorio nazionale (pur con diversa zonazione) che la necessità di "microzonare" sismicamente parlando il territorio nazionale, quantomeno per quelle porzioni maggiormente esposte al verificarsi di terremoti distruttivi è diventata di fatto un adempimento a cui dover ottemperare. Da parte sua Regione Lombardia ha recepito l'OPCM 3274/03 con la **D.G.R. 7/14964/03 "Disposizioni**

preliminari per l'attuazione dell'OPCM 3274/03 <<Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica>>" per gli aspetti relativi alla classificazione sismica del proprio territorio mentre con il **D.d.u.o. n. 19904/03** "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003" ha fatto propria l'individuazione e la tipologia di opere ed edifici a carattere strategico e rilevante sui quali procedere con verifiche sismiche preliminari (compilazione schede val0). Recentemente la zonazione sismica lombarda è stata aggiornata con la **D.G.R. X/2129/14** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)" entrata definitivamente in vigore nell'Aprile 2016 in contemporanea con la **D.G.R. X/5001/16** "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (art. 3, comma 1 e art. 13, comma 1 della l.r. 33/2015)"; dalle indicazioni contenute in quest'ultima si evince che nulla cambia per il Comune di Flero (Figura 1) a livello di zonazione sismica, in quanto trova conferma la previgente classificazione in zona sismica 3 mentre il relativo valore ag/max di riferimento subisce un leggero incrementato passando da 0,147371g a 0,147724g.

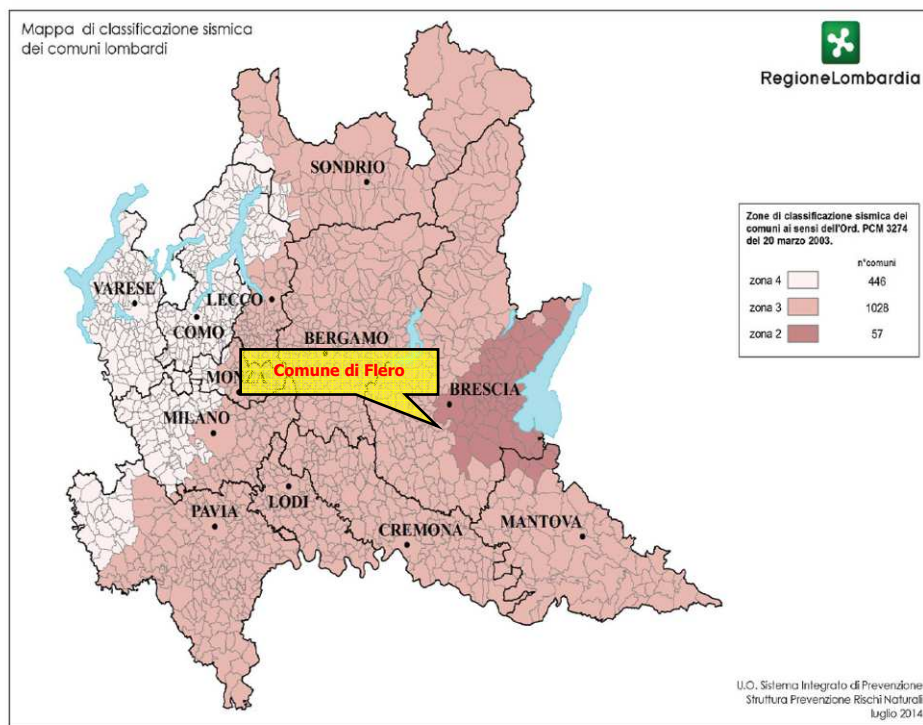


Fig. 1: Individuazione delle zone sismiche nell'ambito del territorio lombardo e ubicazione Comune di Flero.

Passando ad analizzare gli aspetti relativi alla "componente sismica" a livello di pianificazione territoriale, quest'ultima sul territorio lombardo è stata normata con l'Allegato V della **D.G.R. 8/1566/05** "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005" successivamente aggiornato nell'ambito della **D.G.R. 8/7374/08**



"Aggiornamento dei criteri indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005". Si sottolinea che tale aggiornamento si era reso necessario per allineare la componente sismica sopracitata alle disposizioni del **D.M. 14 gennaio 2008** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" che con la loro entrata in vigore a pieno regime (dal 01 Luglio 2009) hanno esteso l'obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica 1, 2 e 3, in quanto sono state, di fatto, adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1 precedentemente vigenti, concludendo così un percorso di rivisitazione della normativa in campo edificatorio, il cui percorso di adeguamento era iniziato con l'OPCM 3274/03. Da ultimo si ricorda che con tale recepimento, poi confermato nella successiva **D.G.R. 9/2616/11** (punto 1.4.3), attualmente vigente, "la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'OPCM 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria" e specifica altresì che "ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'All. B al citato D.M.".

## 1.2. Metodologia di lavoro

Il punto di partenza per la realizzazione dello studio in questione è stata la consultazione dell'"Aggiornamento dello studio geologico ai sensi della L.R. 12/05" (d'ora in poi Studio Geologico Comunale) dell'Marzo / Dicembre 2010 a firma del dott. geol. Marco Carraro (O.G.L. n. 701), del dott. geol. Cristiano Rodeghiero (O.G.L. n. 929), del dott. geol. Massimo Marella (O.G.L. n. 1178) e realizzato su incarico dell'Amministrazione Comunale di Flero (BS) nell'ambito della stesura del Piano di Governo del Territorio comunale; in particolare dell'aggiornamento sopracitato è stata consultata con particolare attenzione la "Carta della Pericolosità Sismica Locale (tavola 01 - scala 1:10.000)" nonché le risultanze delle indagini sismiche effettuate per la stesura della stessa. Inoltre per una migliore valutazione degli aspetti geologici generali del territorio comunale in esame si è fatto riferimento anche agli elaborati del precedente studio geologico comunale, realizzato dal dott. geol. Paolo Cerutti (O.G.L. n. 555) prestando particolare attenzione a quanto riportato nella "Carta geologica, geomorfologica con elementi pedologici (Tav. 1 - scala 10.000)", nella "Carta di Sintesi (scala 1:5.000)" oltre che nell'allegato riportante le schede di censimento dei pozzi presenti sul territorio comunale e nell'allegato relativo alle indagini geognostiche pregresse.

Preso atto delle considerazioni sopra riportate si è quindi proceduto con le seguenti fasi operative:

1. Revisione, integrazione e messa a standard secondo quanto previsto dall'OPCM 344/2016 (ICMS2008 e Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - versione 4.0) delle informazioni contenute negli studi geologici comunali sopracitati.
2. Raccolta di studi e indagini pregresse presso l'Ufficio Tecnico Comunale di Flero, mediante la raccolta e la successiva cernita delle relazioni geologiche, geotecniche e sismiche relative alla progettazione di

opere pubbliche e/o di interventi di edilizia privata. Ad integrazione delle informazioni così raccolte si è dato corso con la raccolta e verifica delle numerose stratigrafie relative ai pozzi pubblici e privati presenti sul territorio comunale e derivanti dal "database Tangram" dell'Università Milano - Bicocca (Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio) e del IDPA - CNR (Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali) di Milano.

3. Campagna d'indagine geofisiche tipo MASW e ReMi (vedi Allegato 1 della presente relazione) finalizzate alla verifica ed all'implementazione del "dato sismico" disponibile reperibile da bibliografia (vedi punto precedente), di modo che si potesse procedere con la corretta valutazione dei fattori di amplificazione sismica così come evidenziato nella "Carta di Microzonazione Sismica - livello 2".

Tutte le indagini pregresse (da studio geologico comunale e da relazioni geologiche da UT) in aggiunta alle indagini della campagna di cui al punto precedente sono state in seguito digitalizzate, validate ed implementate in un opportuno database strutturato secondo le indicazioni dell'OCDPC 344/2016 e dei relativi Standard metodologici, rappresentati successivamente con opportuni simbolismi nella relativa "Carta delle Indagini" realizzata alla scala 1:5.000.

Contemporaneamente e sempre sulla scorta delle informazioni emerse durante le fasi precedentemente illustrate è stata redatta la "Carta Geologico Tecnica" del territorio comunale, anch'essa realizzata alla scala 1:5.000 e corredata da due sezioni stratigrafiche l'una all'incirca ortogonale rispetto all'altra e orientate N-S la prima ed E-W la seconda ed individuate in modo tale che risultassero passanti o quantomeno adiacenti alle aree maggiormente urbanizzate del territorio comunale.

Successivamente è stata redatta la "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" (scala 1:5.000), mutuata dalla corrispondente Carta della Pericolosità Sismica Locale dello studio geologico comunale ed integrata con i dati bibliografici raccolti oltre che con i dati derivanti dalle indagini di terreno effettuate per il presente studio. Inoltre come richiesto dagli ICMS 08 ad ogni zona individuata è stata associata una colonnina stratigrafica/sezione tipo di riferimento, rappresentante una valutazione ragionata e mediata di tutte le informazioni pregresse e di tutte le indagini realizzate ex novo durante la campagna più volte citata precedentemente.

Infine lo studio è stato completato dalla stesura della "Carta di Microzonazione sismica - livello 2" (scala 1:5.000) estesa a tutto il territorio comunale in esame e realizzata per il periodo di riferimento ( $T = 0,1 - 0,5$ ) che risulta essere quello più rappresentativo per le tipologie edilizie presenti nel contesto territoriale in esame.

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. Storia sismica del Comune di Flero

Dalla consultazione del database macrosismico DBMI15 (aggiornato al 2015) utilizzato per la compilazione del CPTI15 emerge per il Comune di Flero la seguente storia sismica:

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
3	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
3	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4,85
4	2002 11 13 10 48 03.19	Franciacorta	768	5	4,21
5	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	176	7-8	4,99

**Tabella 1:** Storia sismica di Fero.

dove:

I (MCS): Intensità macrosismica espressa in scala MCS

Data: data dell'evento espresso in anno, mese, giorno, ora, minuti e secondi

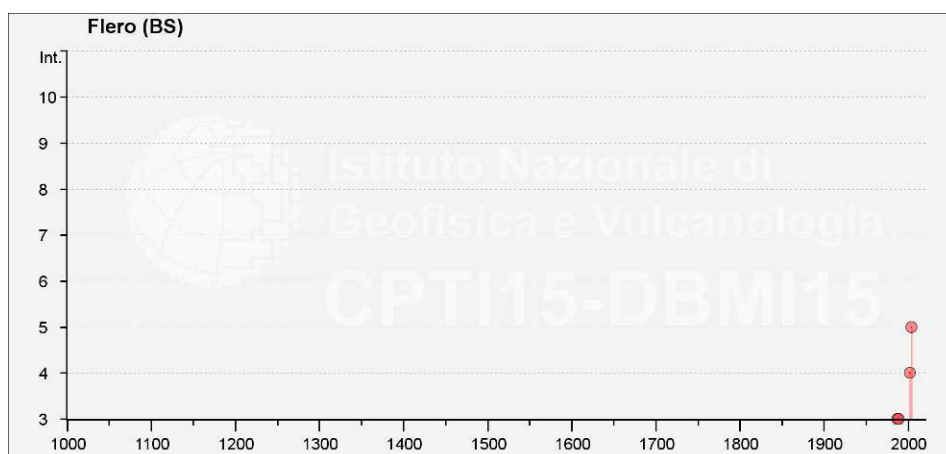
AX: Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto

Np: Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto

Io: Intensità macrosismica epicentrale, da [CPTI15](#), espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg

Mw: Magnitudo momento, da [CPTI15](#)

mentre nel diagramma della storia sismica di Flero nel catalogo DBMI15 sono riportati gli eventi di seguito illustrati (Figura 2):



**Fig. 2:** Storia sismica di Flero.

Maggiori informazioni in merito alla sismicità storica dell'area possono essere desunte dalle fonti sopracitate ma con riferimento alla vicina città di Brescia che presenta un nutrito catalogo sismico di cui qui di seguito si riportano i contenuti.

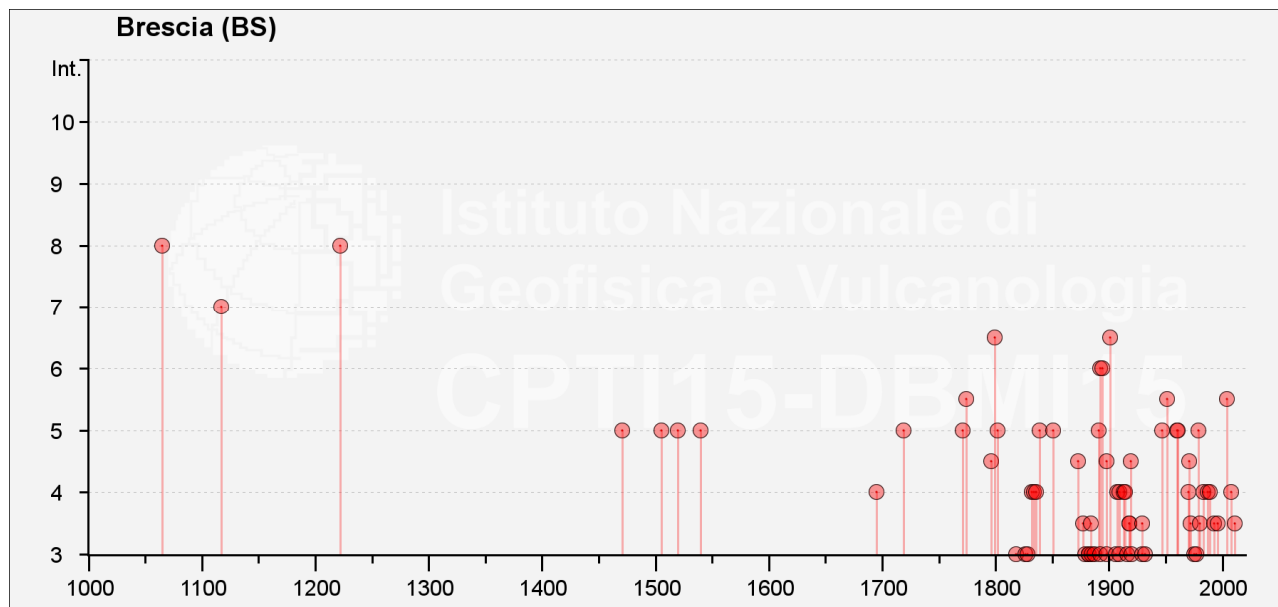


Fig. 3: Storia sismica di Brescia (da DBMI 15).

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
8	1065 03 27	Brescia	2	7	5,1
7	1117 01 03 15 15	Veronese	55	9	6,52
8	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	18	7-8	5,68
HF	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9	6,63
F	1471	Brescia	1	4	3,7
5	1471 08 15 16 40	Brescia	1	5	4,16
5	1505 01 03 02	Bolognese	31	8	5,62
5	1520 02 18 04 30	Bresciano-Veronese	2		
F	1536 08 17 00 05	Appennino settentrionale	10	6-7	5,12
5	1540 09 01 08 10	Brescia	1	5	4,16
4	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6,4
5	1719 12 12 19	Valli Giudicarie	2	5	4,16
5	1771 08 15 08 15	Pianura lombarda	3	5	4,16
5-6	1774 03 31 14 49	Bresciano	6	5-6	4,4
4-5	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5,45



6-7	1799 05 29 19	Bresciano	12	6-7	5,04
5	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	94	8	5,6
F	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5,06
3	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5,24
3	1826 06 24 12 15	Garda occidentale	20	5	4,62
3	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5,72
4	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
4	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5,08
4	1836 06 12 02 30	Asolano	26	8	5,53
5	1839 08 09 08 45	Brescia	1	5	4,16
5	1851 02 05 09 50	Valtellina	30	5	4,72
F	1857 02 01	Parmense-Reggiano	22	6-7	5,11
4-5	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6,29
3-4	1877 10 01 07 20	Monte Baldo	6	6	4,44
3	1879 02 14	Garda occidentale	13	5	4,62
3	1882 02 27 06 30	Valle Seriana	37	6-7	4,81
3	1882 09 18 19 25	Monte Baldo	7	7	5,08
3-4	1884 09 12 07 23	Pianura lombarda	34	6	4,7
3	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5,01
3	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
5	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Illasi	403	8-9	5,87
6	1892 01 05	Garda occidentale	93	6-7	4,96
3	1892 08 09 07 58	Valle d'Alpone	160	6-7	4,91
F	1894 02 09 12 48 05.00	Valle d'Illasi	116	6	4,74
6	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4,89
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
4-5	1898 11 16	Garda occidentale	43	6	4,63
6-7	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
3	1906 08 02 03 48	Bresciano	16	4	3,76
4	1907 04 25 04 52	Veronese	122	6	4,79
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
3	1909 12 24 18 40	Garda occidentale	39	5	4,17
4	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4,65
4	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
2	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4,87
3	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82
3-4	1918 04 24 14 21	Lecchese	34	6	4,95
3-4	1918 07 19 19 03	Mantovano	8	4	4,06
NF	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
4-5	1919 11 23 01 50	Bresciano	9	4	4,79
3	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
NF	1920 10 06 22 47	Mantovano	19	4-5	4,14
2	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	63	7-8	5,72
2-3	1928 03 27 08 32	Carnia	359	9	6,02

3	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13
3-4	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
F	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6,67
2-3	1931 04 14 22 13	Valli Giudicarie	160	6	4,77
3	1932 02 19 12 57 11.00	Garda orientale	21	7-8	5,16
5	1947 12 25 20 42 34.00	Brescia	2	4	3,7
5-6	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5,17
5	1960 02 19 02 30	Valli Giudicarie	50	6	4,81
5	1961 11 23 01 12 05.00	Prealpi bergamasche	119	6-7	4,86
F	1968 06 22 12 21 37.00	Val Lagarina	27	6-7	4,74
4	1970 04 19 18 16 32.00	Garda occidentale	65	5	4,55
4-5	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
3-4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
3	1975 01 11 15 54	Monte Baldo	13	5-6	4,42
2	1976 12 13 05 24	Garda settentrionale	128	7	4,9
3	1977 09 16 23 48 07.64	Friuli	94	6-7	5,26
5	1979 02 09 14 44	Bergamasco	73	6	4,78
F	1979 11 17 20 53	Lago d'Iseo	17	5-6	4,37
3-4	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	69	6-7	4,57
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
4	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
4	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4,85
3-4	1993 12 09 18 16 50.88	Lago d'Iseo	175	5	4,11
NF	1995 10 29 13 00 27.69	Lago d'Iseo	408	5-6	4,35
NF	1995 12 31 21 29 47.60	Appennino reggiano	96	4-5	4,51
3-4	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
5-6	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	176	7-8	4,99
4	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36
3-4	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	73	5	4,79

**Tabella 2:** Storia sismica di Brescia (da CPTI 15).

Tenuto conto che il Comune di Brescia confina con Flero nella sua porzione settentrionale si può ragionevolmente supporre che la storia sismica dell'importante "vicino" sia maggiormente rappresentativa rispetto a quanto indicato nei cataloghi sismici per il Comune in esame.

Al fine di procedere con l'approfondimento della problematica sismica per il territorio in esame si farà fondamentalmente riferimento a quanto riportato nelle fonti di seguito elencate:

- *"Quaternary Faults and Seismic Hazard in the Lake Garda Area (Faglie quaternarie e rischio sismico nell'area del Lago di Garda)" - A. Berlusconi, M.F. Ferrario, F. Livio, A.M. Michetti, C. Violante, E. Esposito, S. Porfido, P. Fiaccavento, L. Ripamonti, M. Roncoroni - Atti del Convegno "Rischio Sismico nella Pianura Padana, Brescia, 24 Novembre 2010 - Ingegneria Sismica 1-2, 2013).*

- "Database of Individual Seismogenetic Sources (DISS versione 3.2.0)" - INGV DISS Working group - anno 2015.
- Rapporto del "Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale" realizzato da ISPRA, Regione Lombardia e Regione Emilia Romagna nell'ambito del progetto europeo "Progetto Geomol" - anno 2015.

## 2.2. Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche

Nell'ambito del progetto europeo Geomol "Valutazione delle potenzialità del sottosuolo nei bacini di avanfossa alpini per la gestione sostenibile delle risorse naturali", guidato dalla regione Baviera con il coinvolgimento di 14 partner, provenienti da 6 stati (Francia, Svizzera, Germania, Austria, Slovenia e Italia) si è focalizzata l'attenzione sui "geopotenziali" presenti nei due principali bacini sedimentari che circondano le Alpi, il Bacino della Molassa a nord (tra Francia e Austria attraverso Svizzera e Germania) ed il Bacino del Po a sud e nell'ambito di quest'ultimo, ISPRA, Regione Lombardia e Regione Emilia Romagna hanno individuato l'area pilota italiana mettendo a sistema tutte le informazioni geologiche esistenti e disponibili e che potessero diventare un supporto alla pianificazione sostenibile del sottosuolo e delle sue risorse. Uno dei temi che ha caratterizzato la ricerca nell'ambito dell'area pilota italiana è stata quella relativa alla pericolosità sismica, in quanto la sequenza sismica di maggio-giugno 2012 in Pianura Padana (province di Modena, Reggio Emilia, Mantova e Cremona,  $M_w$  6.1) ha certamente acuito la necessità di considerare attentamente la pericolosità sismica, almeno in un paese geologicamente attivo come l'Italia, non solo rispetto alla sicurezza della popolazione e delle infrastrutture, ma anche in merito all'utilizzo sostenibile e sicuro del sottosuolo e delle sue risorse. In questo senso, nell'ambito del progetto Geomol è stato effettuato uno specifico approfondimento sulle strutture geologiche in grado di produrre terremoti di  $M > 5.5$  ed una classificazione complessiva delle faglie modellate ai fini di possibili successive applicazioni relativamente alla pericolosità sismica. I dati geologico-strutturali analizzati, in particolare quelli relativi alla geometria di faglie e sovrascorrimenti nonché quelli relativi alla valutazione dei loro movimenti nel corso del tempo geologico (slip rate), hanno consentito di aggiornare e implementare significativamente il Database Italiano delle Sorgenti Sismogenetiche (DISS 3.2.0)

Nello specifico l'area pilota italiana (Fig. 4) comprendeva la porzione pianiziale della Provincia di Brescia tra i fiumi Oglio (a ovest) e Mincio (e est) ed è solcata dai fiumi Mella e Chiese oltre che da un fitto reticolo di seriole e rogge, realizzate per l'irrigazione e la bonifica agricola. A partire dal



marginale alpino pedemontano, dove a si localizza la città di Brescia, l'area comprende una serie di rilievi isolati poco pronunciati, denominati "Colli dei Longobardi" (Ciliverghe, Castenedolo e Capriano del Colle - Monte Netto) che delimitano a sud ed a est il bacino di Brescia. A sud di questi rilievi si apre la grande pianura irrigua bresciana mentre al limite nord-occidentale abbiamo la presenza dell'anfiteatro glaciale del Lago d'Isèo (Franciacorta) mentre nel settore orientale, oltre il fiume Chiese troviamo l'anfiteatro morenico del Garda. Il settore in esame si chiude meridionalmente a sud del Fiume Po, che la a con andamento grossomodo ovest-est, e comprende la pianura di pertinenza appenninica, in cui scorrono i fiumi e torrenti affluenti di destra del Po (Taro, Parma, Enza; Secchia e Panaro).

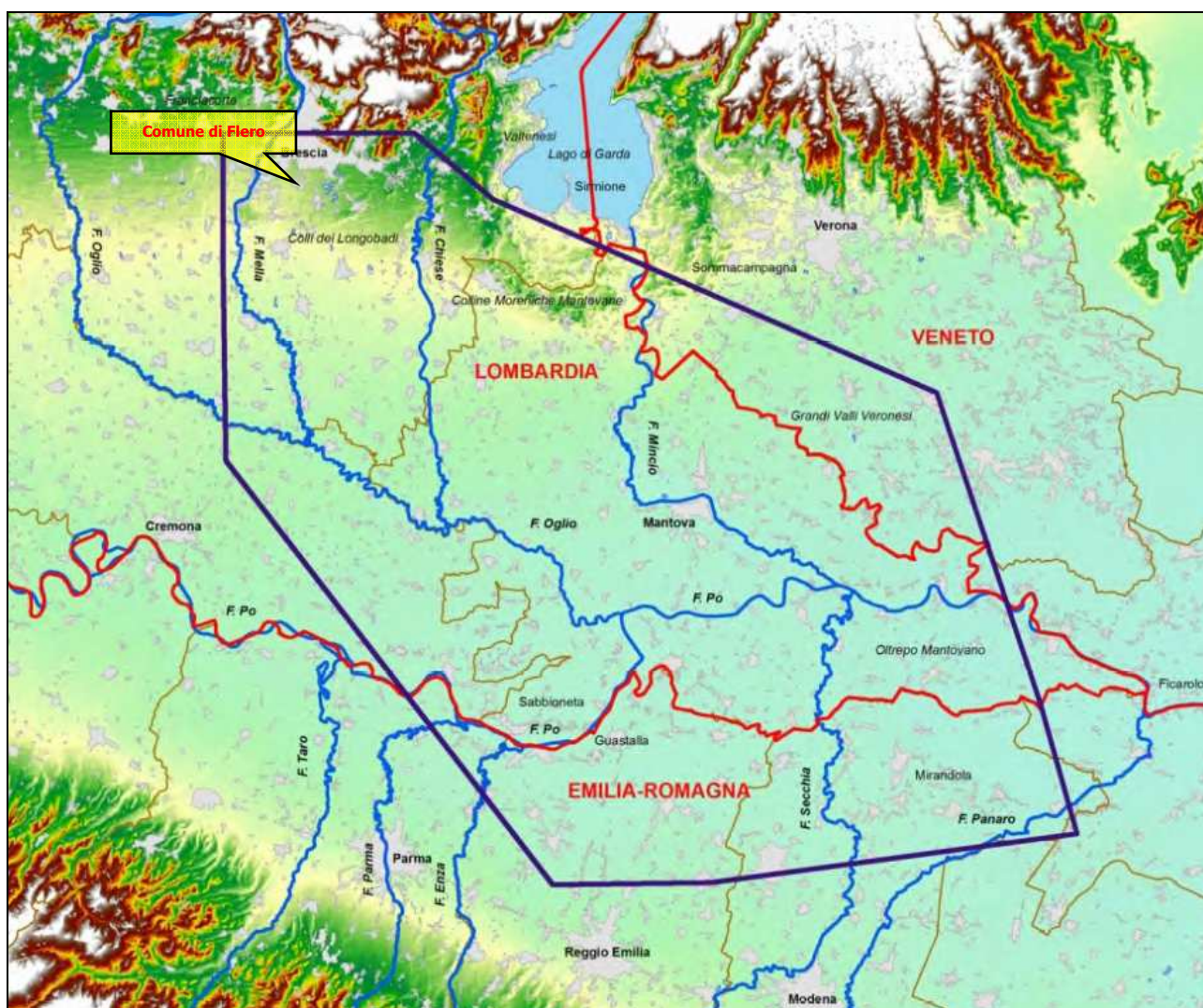


Fig. 4: Individuazione area pilota italiana del progetto Geomol e ubicazione Comune di Flero.



### 2.2.1. Le Faglie capaci in Pianura Padana

Il termine faglia attiva viene spesso impropriamente utilizzato per indicare la capacità di una faglia di rompere la superficie del terreno; esso viene in pratica utilizzato al posto del termine faglia capace. Le faglie capaci fanno parte delle faglie attive, quindi l'uso estensivo del termine faglia attiva non è errato, ma una maggiore diffusione dell'uso del termine faglia capace renderebbe più chiara, oltre che più corretta, la comunicazione inerente il tema del pericolo da fagliazione superficiale.

La Pianura Padana, sebbene non faccia parte delle regioni italiane a più alto potenziale sismico, non è esente dal pericolo di fagliazione superficiale. Essa è infatti interessata da strutture attive compressive sia appenniniche, a vergenza Nord-Est, che alpine, generalmente Sud-vergenti. Sovrascorrimenti pleistocenici, coperti da sedimenti della pianura, sono osservabili grazie alla densa rete di linee sismiche disponibili.

I dati di sismicità storica, seppure limitati all'ultimo millennio, testimoniano l'attività di tali strutture (Fig. 5, 6 e 7), raggiungendo intensità rilevanti: i terremoti storici di maggiore intensità sono quello del 778 a Treviso (intensità IX-X MCS), del 2 e 3 gennaio 1117 nel veronese (intensità IX MCS), del 25 dicembre 1222 nel basso bresciano (intensità IX MCS, vedi Allegato A), del 25 febbraio 1695 (intensità X MCS) ad Asolo (TV) e del 7 giugno 1891 (intensità IX MCS) in Valle d'Illasi (VR).

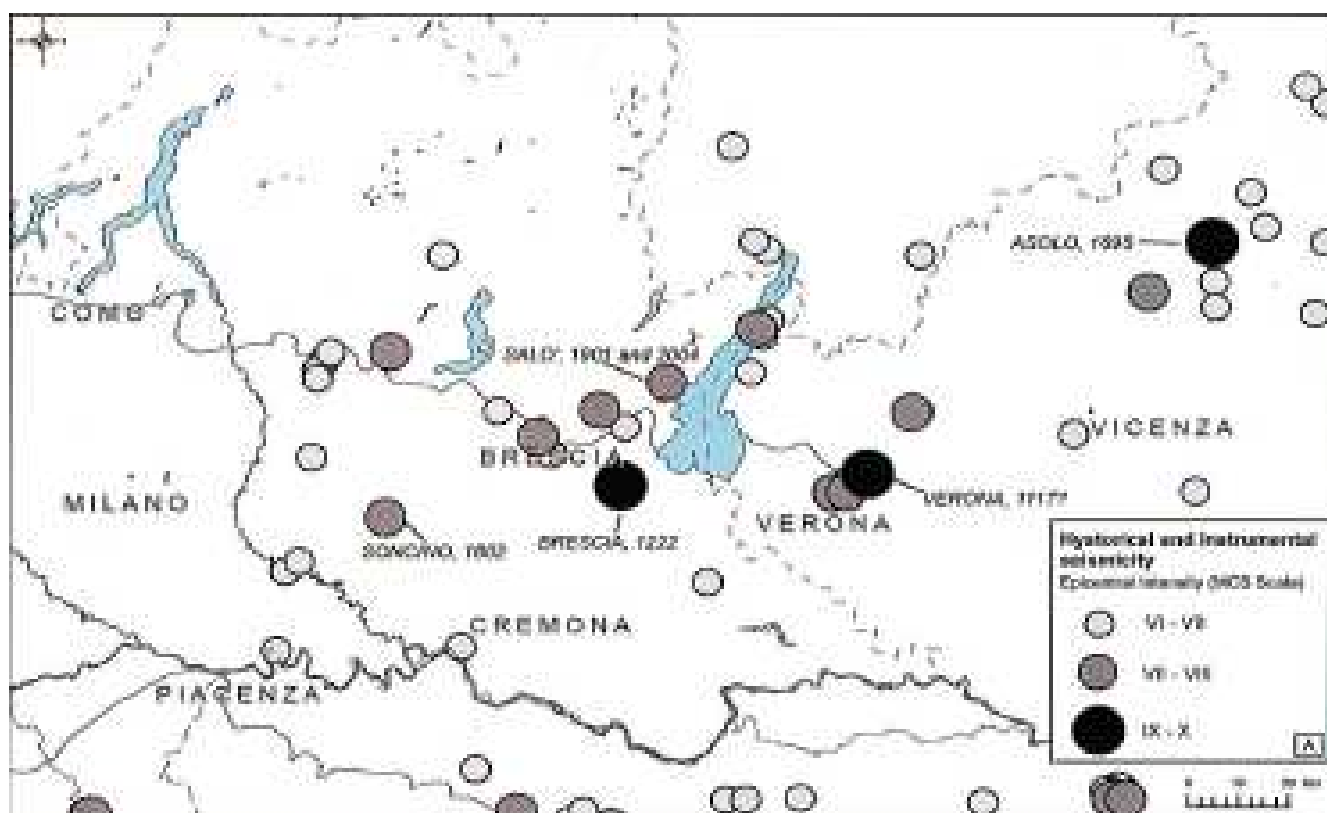


Fig. 5: mappa semplificata della sismicità dell'areale in esame.

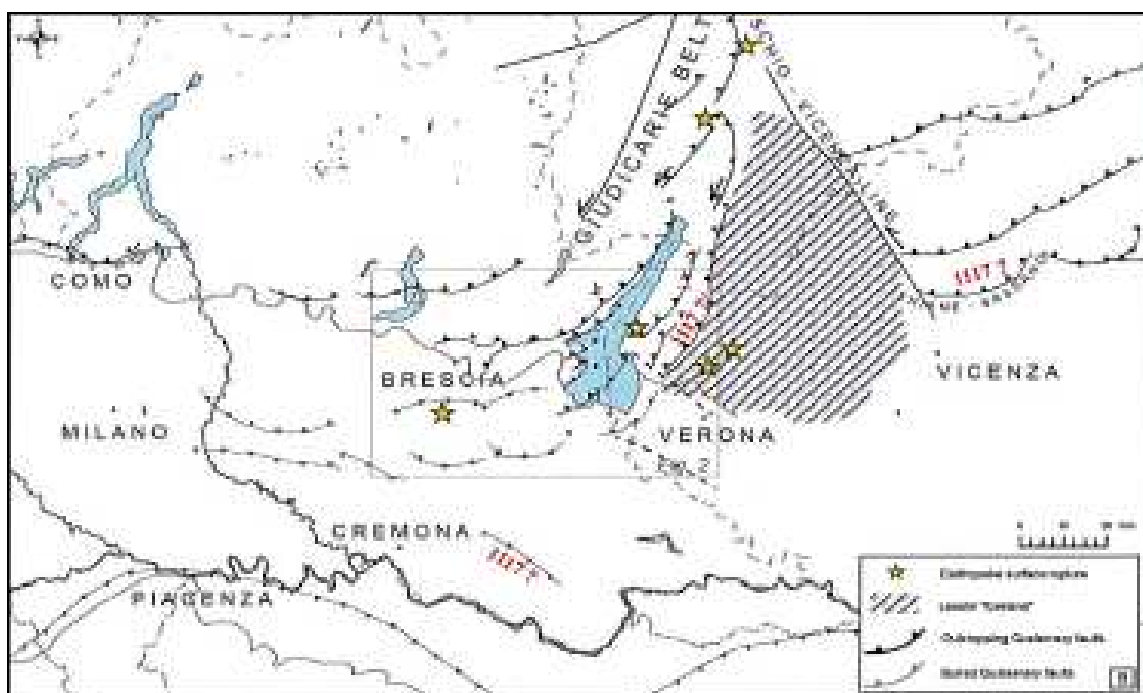


Fig. 6: Individuazione siti con evidenze di fagliazione superficiale (stelline).



Fig. 7: fenomeni di fagliazione superficiale e liquefazione sismicamente indotta sulla porzione più elevata del Monte Netto.

### 2.2.2. Assetto sismotettonico e sorgenti sismogenetiche della Pianura Padana centrale

Questo settore di pianura, così come individuato nell'area pilota precedentemente descritta è caratterizzato, strutturalmente parlando, dalla presenza nella parte nord dei fronti esterni della catena del Sudalpino e, nella parte sud, dei fronti esterni della catena dell'Appennino Settentrionale. Queste due catene che, con la loro parte esposta limitano morfologicamente la pianura, si sono sviluppate a partire dal Cretacico nell'ambito della convergenza tra le placche Africana ed Europea e sono caratterizzate da vergenza contrapposta oltre che da differenti geometrie, tempi di attivazione e messa in posto degli elementi strutturali. La continua convergenza tra le placche Africana ed Europea, con velocità di alcuni millimetri/anno si riflette nell'area centro padana in tassi di raccorciamento di circa 1 mm/a e nella sismicità storica e strumentale che ha caratterizzato questo settore di pianura. I fronti esterni delle due catene, sepolti al di sotto dei depositi plio-quadernari e non coincidenti con il limite morfologico della pianura, ospitano infatti le faglie responsabili di questi terremoti, inclusi quelli della sequenza sismica del 2012. A conferma del carattere compressivo della deformazione attiva, la maggior parte degli eventi sismici sono caratterizzati da meccanismi focali di tipo inverso o trascorrente e il campo di stress attivo mostra un'orientazione all'incirca N-S, diretta perpendicolarmente all'andamento medio dei fronti sepolti. Il settore non deformato, compreso tra i due fronti esterni, rappresenta l'avampaese comune delle due catene e ospita spessori notevoli di depositi silicoclastici, sedimentatesi a seguito del sollevamento ed erosione delle due catene. Questi depositi, che hanno registrato l'evoluzione sedimentaria del bacino nello spazio e nel tempo, sono stati progressivamente coinvolti nella deformazione prodotta dalle strutture delle catene consentendo di conoscerne i tassi di deformazione prodotta dalle strutture delle due catene consentendo di conoscerne i tassi di deformazione recente. Ad uno sguardo regionale, per quanto riguarda le strutture dell'Appennino Settentrionale, i tassi di attività misurati per via geologica sono diminuiti nel corso del tempo e, per l'intervallo temporale più recente disponibile, sono maggiori nel settore orientale (arco Ferrarese-Romagnolo) rispetto a quello occidentale (Arco Emiliano), con un trend comparabile alla velocità di raccorciamento misurate tramite GPS e al rilascio di momento sismico.

Al di sotto delle strutture compressive appartenenti alle due catene sono presenti sistemi di faglie di tipo diretto; mentre le prime sono meglio descritte e studiate dal punto di vista sismotettonico, in quanto più recente e più superficiali, grazie ai dati geologici e geofisici raccolti prevalentemente durante l'esplorazione petrolifera, lo studio delle seconde è stato affrontato solo più di recente. Esse sono state estensivamente mappate nell'ambito del "Geomol" all'interno della successione carbonatica mesozoica, essendo sature dai depositi tardo cretacico-eocenici della Scaglia, sono da considerare in prima approssimazione come strutture non più attive. Nonostante ciò, anche questi sistemi di faglie "ereditate" sono stati oggetto di studio nel corso del progetto "Geomol" per capirne la possibile interazione con i sistemi compressivi e per valutare il loro potenziale di riattivazione e di generare terremoti. Questo interesse nasce dall'osservazione che la storia

sismica della Pianura Padana include alcuni terremoti che, per la loro localizzazione o per il tipo di risentimento associato, potrebbero essere stati generati da faglie non appartenenti ai sistemi compressivi neogenici. Un evento che possiede tali caratteristiche è il terremoto del 3 gennaio 1177 di  $M_w$  6.52 del veronese, per il quale esistono diverse ipotesi riguardanti la sorgente sismogenetica responsabile: il database DISS include, una soluzione rappresentata da una faglia inversa appartenente al sistema del Sudalpino, mentre esso è stato recentemente associato alla riattivazione con cinematica trascorrente di una delle faglie ereditate (vedi paragrafo 2.2.4).

### 2.2.3. Sorgenti sismogenetiche del Sudalpino

Queste sorgenti appartengono ai sistemi compressivi esterni del settore centrale del Sudalpino, presenti nel sottosuolo padano a nord del Fiume Po, nella zona compresa tra i fiumi Adda e Mincio, e includono la porzione meridionale del Sistema delle Giudicarie. I fronti esterni del Sudalpino e il Sistema delle Giudicarie formano un ampio arco e hanno la zona di giunzione nel settore di pianura a sud del Lago di Garda. I dati di sottosuolo disponibili mostrano che, proprio in questo settore, sono presenti anche i sistemi di faglie dirette ereditate, che localmente hanno andamento ortogonale ai fronti compressivi stessi e raggiungono profondità comparabili con quelle dei *thrust*. Il basamento sedimentario in cui sono radicati, formato dalla successione carbonatica mesozoica compresa fra gli orizzonti TE (Permiano - Carnico) e SCA (Paleocene), descrive infatti una superficie immergente verso S-W che definisce la Monoclinale di Mantova. Nel settore sud del Lago di Garda essa è presente a profondità comprese tra i 2.000 e 4.000m circa. I *tip* superiori delle faglie dirette ereditate (Figura 8), essendo saturati a livello dell'orizzonte SCA ne seguono l'andamento monoclinale, approfondendosi verso S-W.

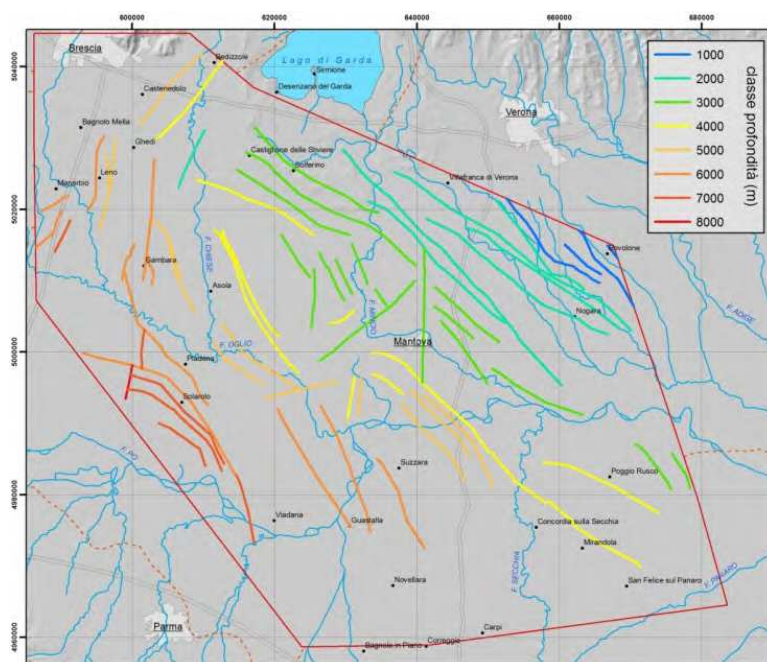
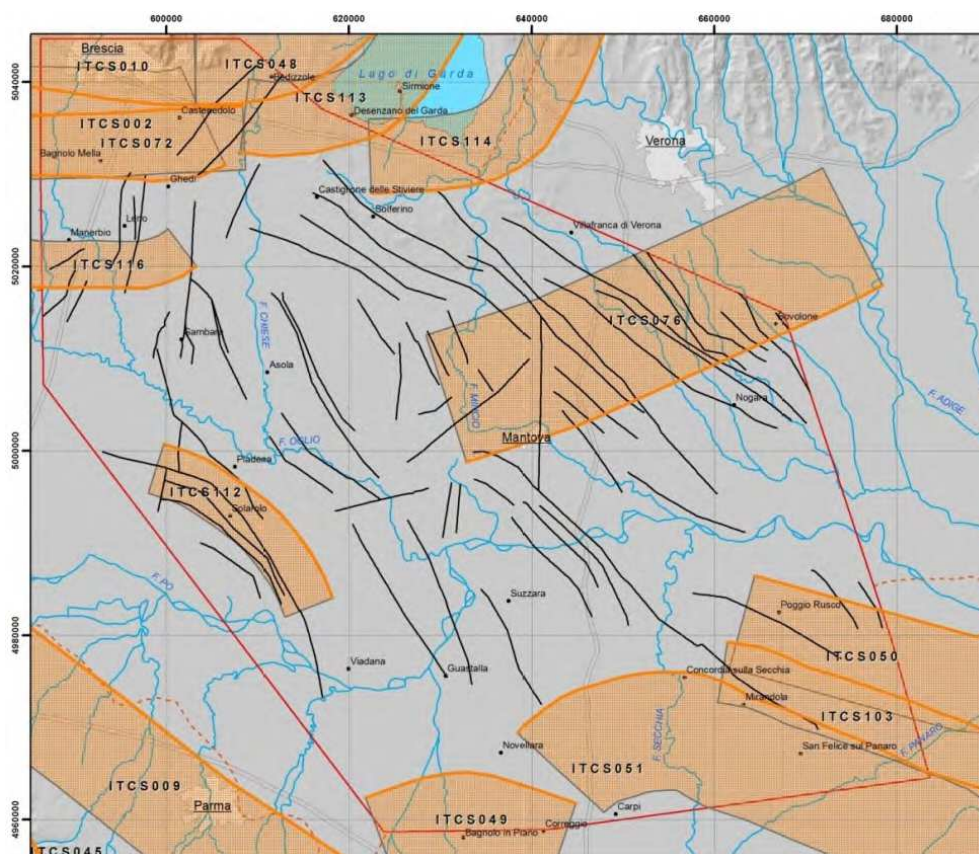


Fig. 8: Posizione e profondità del *tip* superiore delle faglie dirette.



Inoltre nella zona di giunzione fra il fronte E-W del Sudalpino e il Sistema delle Giudicarie ad andamento NE-SW recenti elaborazioni indicano che i due sistemi si raccordano tramite due strutture, posizionate a ridosso della parte meridionale del Lago di Garda: il *thrust* di Sirmione ed il *thrust* di Solferino. Questi due *thrust*, di tipo L1, si trovano ben più a nord rispetto alla posizione mostrata nelle interpretazioni strutturali di letteratura e lasciano poco spazio ai sistemi delle faglie ereditate. Da questa nuova interpretazione emergerebbe che, questi ultimi hanno segmentato il fronte esterno del settore centrale del Sudalpino, non permettendone la propagazione verso sud e fungendo da confinamento strutturale. L'andamento e l'estensione laterale delle anticlinali associate ai *thrust* di Sirmione e Solferino sono stati messi in evidenza anche tramite lo studio delle anomalie gravimetriche di Bouguer, che mostrano la presenza di due anomalie positive subito a sud della dorsale del Monte Baldo, caratterizzate da una orientazione NE-SO e da un arrangiamento ad *en-echelon* destro. Nella nuova interpretazione delle sorgenti sismogenetiche, pubblicata nel DISS v.3.2.0 (DISS Working Group, 2015), tali strutture fungono quindi da svincolo strutturale tra la sorgente sismogenetica del Monte Baldo (ITCS073; numero identificativo utilizzato nel *database* DISS), che è limitata alla sola estensione morfologica della dorsale montuosa, con il fronte esterno del Sudalpino (ITCS002) sepolto in pianura così come indicato nella figura 9.



**Fig. 9:** Sorgenti sismogenetiche presenti nel DISS 3.2.0 e faglie dirette (in nero) estratte dal modello geologico 3D del progetto "Geomol".

A sua volta, la geometria del fronte esterno del Sudalpino (ITCS002) è stata modificata tenendo in considerazione la presenza dei due scollamenti principali che caratterizzano la sequenza stratigrafica, i quali hanno determinato lo sviluppo dei sistemi compressivi con stili strutturali di tipo *thick-* (L1) e *thin-skinned* (L2). La sorgente sismogenetica ITCS002, che nella versione 3.1.1 del DISS non era stata segmentata in profondità ma era rappresentata da un unico piano che andava da 2 a 9 km di profondità, è stata suddivisa in due porzioni: una superficiale, con livello di scollamento all'interno della successione oligo-miocenica (scollamento L2) ed una profonda, con livello di scollamento al di sotto dell'orizzonte TE, base della successione carbonatica mesozoica (scollamento L1). La sorgente profonda (ITCS002) ha un andamento laterale continuo e taglia per intero la successione carbonatica, rimanendo confinata al di sotto dello scollamento L2. Al contrario, la porzione più superficiale del fronte è stata suddivisa in due sorgenti, formanti due piccoli archi (ITCS115 e ITCS116 della Fig. 9) aventi estensione in profondità differente. Questa scelta è stata fatta per tenere conto dell'approfondimento verso ovest della base dei depositi oligo-miocenici, al cui interno si situa l'orizzonte di scollamento utilizzato da tali strutture ed è stata estesa anche al di fuori dell'area di studio del Progetto GeoMol, grazie alla rielaborazione di dati di sottosuolo pubblicati in lavori recenti.

#### **2.2.4. La sorgente sismogenetica del terremoto del 1117 del Veronese e il terremoto di Brescia del 1222**

Il terremoto del Veronese del 1117 di  $M_w$  6.52 (catalogo CPTI15) è uno dei più forti eventi sismici ad aver colpito il settore centrale della Pianura Padana (Fig. 10). Esso è caratterizzato da un'area di danneggiamento e risentimento molto estesa, incentrata nella zona di pianura a sud di Verona ed inclusa all'interno dell'area di studio del Progetto GeoMol (DBMI11, Locati et al., 2011; Galadini & Galli, 2001; Guidoboni et al., 2005). In letteratura sono presenti diverse ipotesi riguardanti la faglia causativa del terremoto e molte di queste propongono una sorgente sismogenetica posizionata almeno 30-50 km di distanza dall'area di massimo danneggiamento, la quale è stata da sempre considerata una porzione indeformata dell'avanpaese comune delle due catene. Le soluzioni proposte includono strutture appartenenti ai sistemi del Sudalpino, come il *thrust* del Monte Baldo, il *thrust* dei Monti Lessini, ed il *thrust* di Thiene-Bassano (Galadini & Galli, 2001; Galadini et al., 2005) e dell'Appennino Settentrionale come il *thrust* di Piadena (Galli, 2005). Il *database* DISS, al contrario, ha privilegiato una soluzione basata su uno studio di dettaglio di anomalie idrografiche di sospetta origine tettonica e di dati di sottosuolo, incentrato nel settore di pianura ospitante l'area epicentrale del terremoto (DISS Working Group, 2010; Vannoli et al., 2015). Infine, recentemente, il terremoto del 1117 è stato attribuito ad una delle faglie del sistema delle strutture dirette ereditate presenti nel sottosuolo della pianura a sud di Verona, la Faglia di Nogara o la Faglia di S. Ambrogio (Scardia et al., 2015). Queste faglie dirette ereditate, sono state confrontate geometricamente nel modello geologico 3D con



la sorgente sismogenetica del *database* DISS (ITCS076). Esse mostrano in pianta un andamento quasi ortogonale alla sorgente DISS, ma se viste in sezione occupano un intervallo di profondità molto superficiale, essendo state mappate solamente tra 2 e 4 km di profondità circa e non intersecando il piano della sorgente sismogenetica DISS, se non nella sua porzione superiore. Questo è dovuto ad una mancanza di informazione al di sotto della profondità di 4-5 km causata dalla scarsa qualità delle linee sismiche al di sotto dei carbonati mesozoici. Mancando informazioni sulla geometria profonda di queste strutture e, soprattutto, mancando informazioni definitive sulla loro attività recente (le linee sismiche a tal riguardo non mostrano orizzonti recenti chiaramente dislocati), nell'ambito del progetto Geomol si è scelto di mantenere la soluzione proposta dal *database* DISS, lievemente modificata solamente per quanto riguarda gli intervalli di profondità.

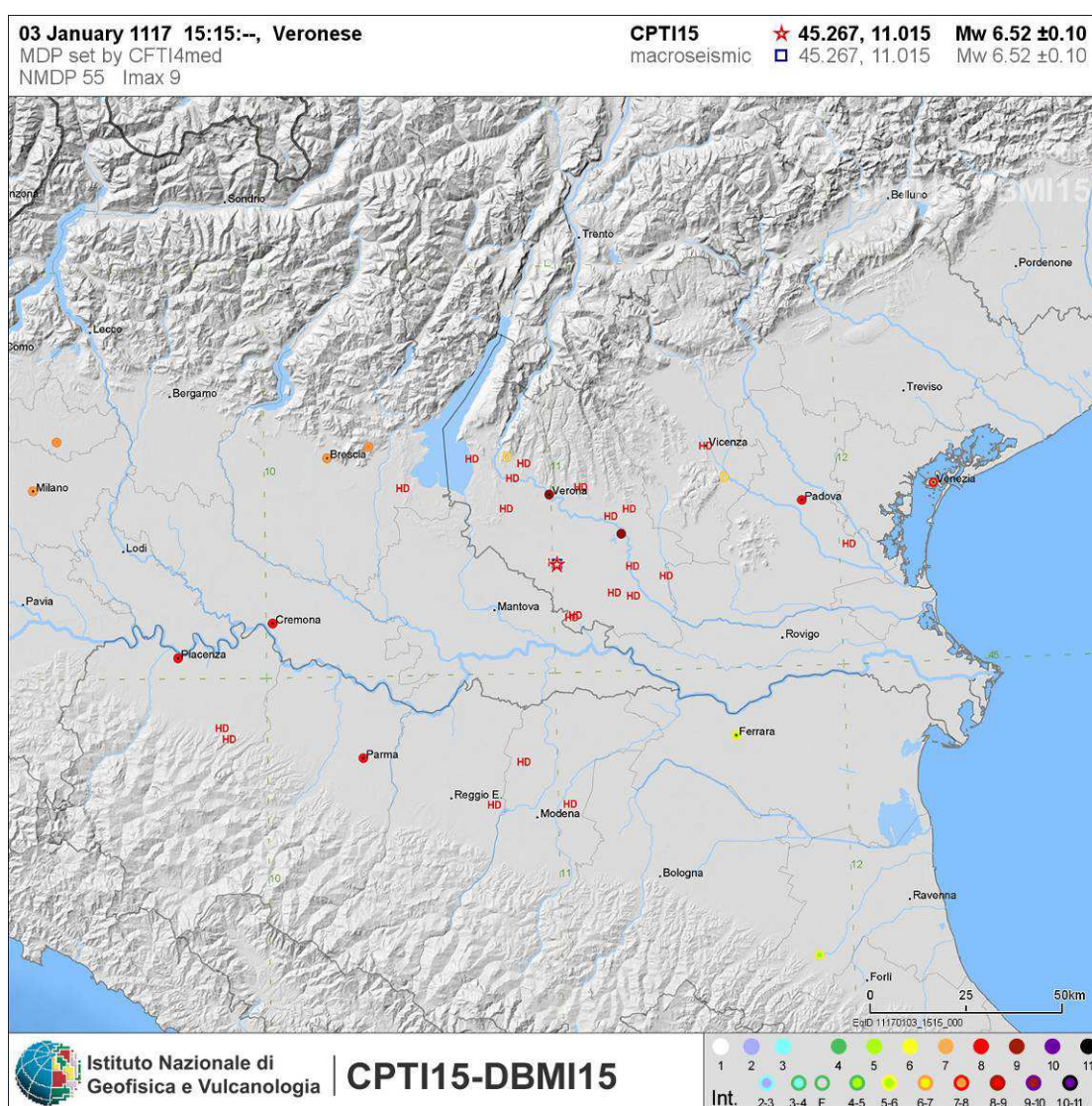


Fig. 10: Risentimento macrosismico del terremoto del 1117 nel Veronese (CPTI15 - DBMI15).

Un'altro evento annoverato dai cataloghi sismici fin dalla loro prima stesura nel 1985 e di cui esiste una buona fonte di dati e testimonianze storiche (vedi Allegato B: Il terremoto di Brescia del 1222 - Giuseppe

Berruti, Annali Queriniani, 2002) è il terremoto del 25 Dicembre 1222 gli effetti del quale sono ben descritti nella nota riportata in Allegato B "Il terremoto di Brescia del 1222 di Giuseppe Berruti, Annali Queriniani, 2002). Nella figura seguente si riporta quanto indicato nel database CPTI15 - DBMI15 relativamente al medesimo terremoto.

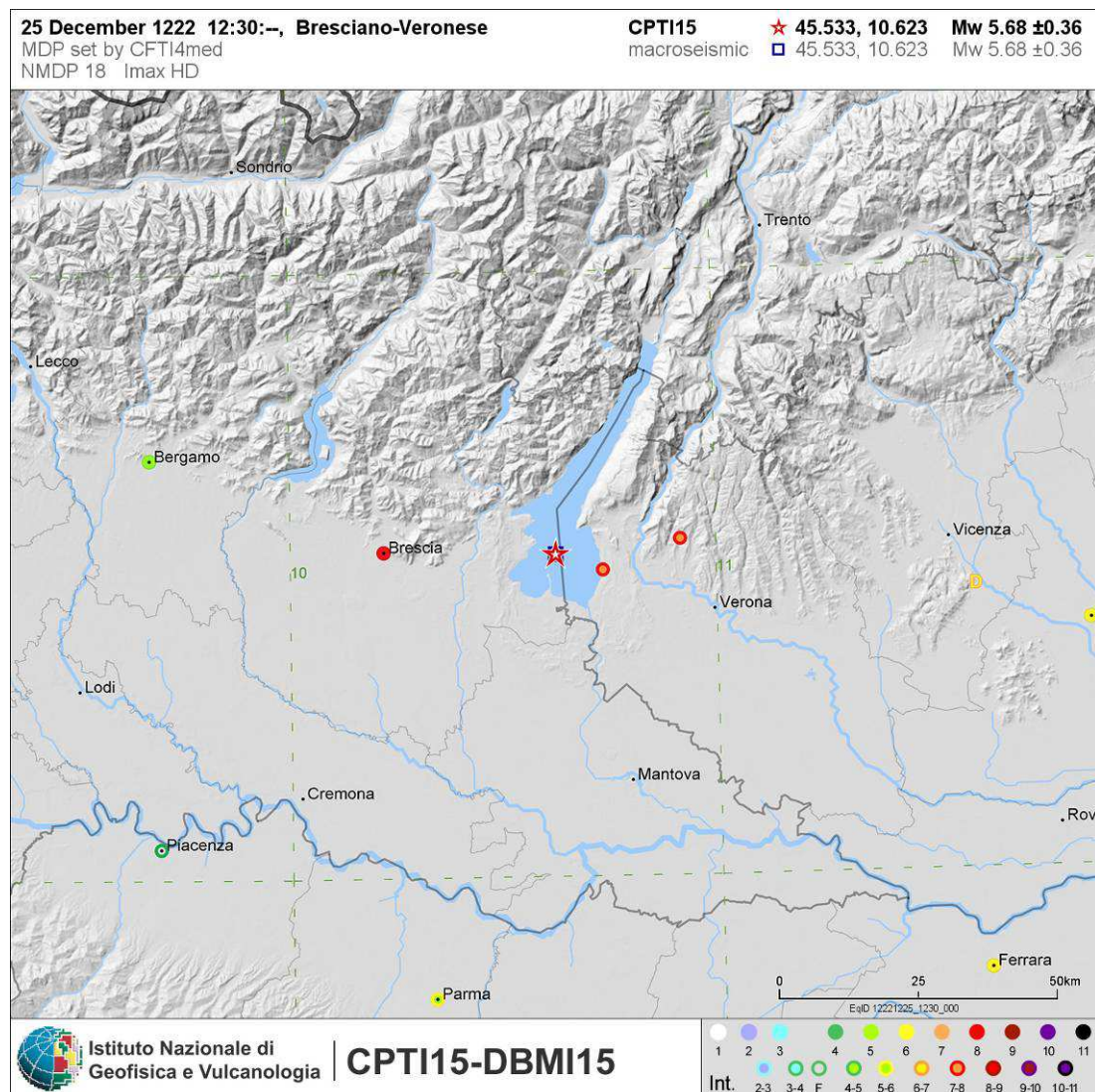


Fig. 11: Risentimento macrosismico del terremoto di Brescia del 1222 (CPTI15 - DBMI15).

### 2.2.5. Sorgenti sismogenetiche dell'Appennino settentrionale

L'area studio del Progetto GeoMol include, nella sua porzione meridionale, le strutture sepolte più esterne della catena dell'Appennino Settentrionale, presenti nel settore di pianura a sud del Fiume Po. La ricostruzione strutturale, messa a punto nel corso dello studio, ha permesso di ridefinire l'andamento geometrico delle sorgenti sismogenetiche appartenenti alla terminazione occidentale dell'Arco di Ferrara (ITCS049 e ITCS051 della Fig. 9), coincidenti con i *thrust* di tipo L1 di Bagnolo, Novellara e Cavone e di identificare una nuova sorgente sismogenetica, coincidente con il *thrust* di tipo L2 di Solarolo.



La soluzione contenuta nel *database* DISS v. 3.1.1 si basava principalmente sui dati contenuti nel Modello Strutturale d'Italia (Bigi et al., 1990), i quali mostrano una continuità laterale delle strutture della terminazione occidentale dell'Arco di Ferrara. Su tali basi, le sorgenti sismogenetiche ITCS049 e ITCS051 erano state definite come due sorgenti sismogenetiche contigue: la prima coincidente con la rampa laterale dell'arco strutturale e la seconda includente le strutture frontali dello stesso. La ITCS051 include la sorgente sismogenetica individuale responsabile del terremoto di Mw 5.9 del 29 maggio 2012 (*thrust* di Mirandola; Burrato et al., 2012): la nuova ricostruzione strutturale utilizzata per la revisione ha messo in evidenza che, in realtà, il *thrust* di Bagnolo, coincidente con la sorgente ITCS049, è una struttura ad andamento all'incirca E-O e che solamente i *thrust* di Novellara e Cavone, coincidenti con la ITCS051, possono essere considerati tra loro contigui e la nuova interpretazione delle sorgenti sismogenetiche tiene conto di queste evidenze (Fig. 9). I nuovi dati analizzati nel corso del progetto hanno anche permesso di caratterizzare una nuova sorgente sismogenetica, coincidente con il *thrust* di Solarolo (ITCS112). Questo *thrust* è una struttura isolata, localizzata poco a sud del Fiume Po, che deforma la parte meridionale della Monoclinale di Mantova. In uno studio che ha analizzato l'interazione tra processi tettonici e sedimentari nell'area centro-padana Maesano & D'Ambrogi (2015a) hanno mostrato che l'anticlinale collegata al *thrust* si è attivata durante il Gelasiano ed ha continuato ad essere attiva anche nell'intervallo temporale compreso tra 450 ka ed il presente, sebbene con tassi ridotti per il periodo più recente. La struttura è stata definita geometricamente grazie all'utilizzo congiunto dell'interpretazione di una serie di linee sismiche e delle evidenze fornite dalla mappa delle anomalie di Bouguer. A partire dai tassi di sollevamento dell'anticlinale e utilizzando la geometria del piano di faglia, è stato possibile calcolare i tassi di movimento del *thrust* (*slip rate*), un parametro utile per definire la capacità di generare terremoti da parte di una faglia: nell'intervallo temporale più recente, compreso tra 450 ka ed il presente, esso è di  $0,23 \pm 0,03$  mm/a. Tuttavia, sebbene le evidenze geologiche indichino che il *thrust* di Solarolo sia attivo, non esiste alcun terremoto, contenuto nei cataloghi storici e strumentali, che possa essere associato ad esso (per una descrizione particolareggiata di questa sorgente sismogenetica si visiti il sito del *database* DISS, <http://diss.rm.ingv.it/diss/>). Infine, per numerosi *thrust* presenti nell'area, è stato possibile calcolare gli *slip rate* di lungo termine, utilizzando la mappa dell'orizzonte PL di 5,3 Ma che ne mostra la dislocazione in corrispondenza di tali strutture. Questi tassi di deformazione, che variano tra un minimo di  $0,07 \pm 0,02$  mm/a ed un massimo di  $0,57 \pm 0,07$  mm/a, vanno ad integrare un *database* di *slip rate* recentemente sviluppato da Maesano et al. (2015a). Essi, utilizzando un approccio che prevede la creazione di modelli geologici 3D attorno alle faglie per poter tenere conto di eventuali effetti dovuti a processi di compattazione differenziale, simile a quello utilizzato in Maesano & D'Ambrogi (2015a), hanno calcolato gli *slip rate* per diversi intervalli temporali a partire dall'orizzonte PL, su numerose strutture appartenenti ai fronti compressivi esterni dell'Appennino Settentrionale.



### **3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME**

L'area di studio interessa tutto il territorio comunale di Flero (BS), ubicato immediatamente a sud della città di Brescia e della quale rappresenta un comune dell'hinterland. Da Nord in senso orario Flero confina con Brescia, San Zeno Naviglio, Poncarale, Capriano del Colle e Castel Mella ed il territorio si presenta completamente pianeggiante con quote comprese tra i 110m slm ed i 95m slm per un'estensione di 9Km<sup>2</sup> circa. L'unico rilievo presente in zona (Monte Netto) si trova al di fuori del territorio comunale, al confine tra i Comuni di Capriano del Colle e Poncarale mentre dal punto di vista idrografico il territorio risulta interessato dalla presenza di numerosi vasi che prendono origine da fontanili alcuni situati nel territorio in esame altri in territori contigui. Le aree urbanizzate sono localizzate principalmente nella parte centrale e nel settore occidentale del Comune, la prima a prevalente uso residenziale e la seconda con presenza delle attività artigianali ed industriali.

Dopo questa breve parentesi relativa all'inquadramento geografico dell'areale in studio si procederà con l'analisi dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'areale in studio.

#### **3.1. Elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici**

L'assetto geologico dell'area in esame presenta i caratteri tipici della successione di depositi fluvioglaciali ed alluvionali, che hanno determinato il progressivo interrimento del mare pliocenico e la conseguente formazione dell'intera Pianura Padana.

Alla base della successione alluvionale della pianura vi sono appunto il basamento roccioso costituito dalle successioni mesozoica e terziaria che definisce una superficie che immerge verso sud, presentando locali irregolarità, dovute alla presenza di strutture anticlinaliche e sinclinaliche sepolte, che localmente condizionano sensibilmente la struttura geologica dei depositi clastici soprastanti.

Estesi affioramenti del substrato roccioso, si rinvengono invece immediatamente a nord, in corrispondenza dei rilievi mesozoici e terziari di Brescia, che costituiscono le ultime propaggini meridionali delle Prealpi lombarde. Il comprensorio montuoso fra Brescia e l'alta Val Trompia, costituisce il bacino di alimentazione del materiale alluvionale presente nelle zone di pianura, infatti le variazioni litologiche presenti nei rilievi bresciani, si riflettono nella composizione litologica delle frazioni più grossolane dei depositi alluvionali più o meno recenti.

Più specificatamente l'intero territorio comunale di Flero, si colloca all'interno della porzione centro-settentrionale della pianura bresciana in cui si assiste alla transizione tra una fascia settentrionale dove più evidente risulta l'azione dei fenomeni morfogenetici, che hanno lasciato lembi di terreni più antichi (morenici e fluvioglaciali) di aspetto tabulare ad altipiano, ed un fascia, a sud di Flero, dove maggiormente si risente

dell'attuale azione morfogenetica dei corsi d'acqua che modellano il paesaggio con scarpate, meandri ed altri elementi morfologici tipici.

In dettaglio nella porzione di pianura compresa fra il limite settentrionale del comune di Flero (fascia delle risorgive) ed i rilievi collinari mesozoici delle Prealpi bresciane si rinviene una fascia in cui si hanno alluvioni fluvio-glaciali, da molto grossolane (ciottolose) a ghiaiose in matrice sabbiosa, con strato di alterazione superficiale argillosa, giallo-rossiccio, di ridotto spessore, localmente ricoperte da limi più recenti in lembi non cartografabili separatamente.

Il colore di alterazione rossiccio di tali depositi è da mettere in relazione con l'abbondanza dei ciottoli calcarei presenti nei depositi stessi e col dilavamento delle terre rosse formatesi sui colli calcarei presenti a monte.

Lo spessore di questi depositi grossolani diminuisce da nord verso sud, passando da più di 100m nella fascia pedecollinare, presso l'apice delle conoidi fluvio-glaciali, a 30/40m in corrispondenza del passaggio dalla alta alla media pianura che si verifica grosso modo lungo il margine settentrionale della fascia delle risorgive (limite settentrionale del comune di Flero).

A sud di tali depositi si assiste alla deposizione degli scaricatori fluvio-glaciali durante l'ultima grande glaciazione quaternaria (Wurm). I depositi fluvio-glaciali ad essi associati (Fluvio-glaciale recente) formano il cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura" che, tra l'altro, costituisce l'unità arealmente più diffusa dell'intera Pianura Padana. La maggior parte del territorio comunale di Flero è interessata dai depositi ascrivibili a questa formazione.

I depositi tipici di questa formazione sono formati da alluvioni prevalentemente ghiaioso-sabbiose e limose. La granulometria è piuttosto variabile da zona a zona all'interno dei vari settori della pianura padana in conseguenza dell'azione delle acque superficiali che nel corso delle ultime migliaia di anni hanno divagato in questo settore della pianura, rielaborando i materiali più fini, leggermente ribassate rispetto al livello fondamentale della pianura, che frequentemente erano occupate da paludi e da zone torbose.

Più a sud, fuori dal territorio comunale di Flero, sempre all'interno della formazione del Fluvio-glaciale wurm, si distingue per un'ulteriore diminuzione nella granulometria dei depositi, che diventano sabbiosi e limoso-argillosi. Limitate frazioni ghiaiose possono essere presenti nelle immediate vicinanze dell'alveo dei corsi d'acqua principali.

Nella zona compresa tra Poncarale e Capriano del Colle si rinviene il modesto rilievo del Monte Netto. Tale rilievo è completamente impostato nei depositi alluvionali più antichi del Fluvio-glaciale Mindel ricoperti da un potente strato di alterazione argilloso-rossastro (1,5 - 4m) con scarsi ciottoli. Spesso tali depositi sono mascherati da locali coltri di depositi loessici. Il rilievo del Monte Netto, così come quello di Castenedolo e Ciliverghe, secondo le più accreditate interpretazioni, sarebbero da attribuire a locali e blande deformazioni

dei depositi più antichi e sottostanti al Fluvioglaciale wurm, che pertanto sarebbero emersi dal Livello Fondamentale della pianura a formare appunto i rilievi isolati nella pianura.

In corrispondenza delle valli principali corsi d'acqua che attraversano la pianura bresciana (F. Mella, Chiese e Oglio) si rinvengono inoltre alluvioni sabbioso-ghiaiose post-glaciali antiche, separate dal livello fondamentale della pianura da un modesto dislivello, localmente riconoscibile per l'intensa attività antropica.

Il territorio comunale di Flero è attraversato in direzione all'incirca N-S, da tali depositi che si dispongono attorno ad un paleoalveo del Fiume Mella che si estende tra Fornaci e Bagnolo Mella.

Dal punto di vista geomorfologico il territorio di Flero risulta inserito all'interno di una porzione di pianura lombarda caratterizzata da una morfologia piuttosto omogenea. Il tratto di pianura che si estende a sud delle propaggini meridionali delle Prealpi bresciane presenta infatti un andamento sub pianeggiante pressoché costante che mostra una debole pendenza verso sud con un gradiente che si affievolisce verso valle.

Le principali alterazioni all'uniformità di questo paesaggio, si riferiscono alla presenza del modesto rilievo del Monte Netto ed al reticolo idrografico del fiume Mella e ai numerosi corsi d'acqua, naturali o artificiali, presenti nel territorio in esame.

Questi ultimi hanno drenaggio prevalentemente subparallelo ed andamento circa N-S. L'unico corso d'acqua di cui si è resa manifesta l'azione morfogenetica è il Vaso Fiume che specialmente nella porzione a meridione dell'abitato di Flero presenta un tipico andamento meandreggiante con anse localmente molto accentuate. Nel medesimo tratto di corso d'acqua sono ancora riconoscibili, specialmente in sponda destra, ove non cancellati dall'intenso intervento antropico, alcuni dislivelli legati ad erosione fluviale inattiva.

L'altro elemento morfologico che ha pesantemente modificato il paesaggio di Flero è l'intervento antropico, la cui azione ha quasi definitivamente cancellato gli originali segni del paesaggio della pianura bresciana come ad esempio i dislivelli legati all'erosione fluviale. Ulteriori alterazioni sono legate alle attività estrattive con particolare riferimento allo sfruttamento della coltre argillosa superficiale presente nella porzione di territorio comunale che si sviluppa in sponda destra del Vaso Fiume.

Per quanto attiene agli aspetti prettamente idrogeologici è necessario precisare che nel sottosuolo di Flero si rinvengono le seguenti unità idrogeologiche e più precisamente dal basso verso l'alto abbiamo la presenza di:

- *Unità Villafranchiana*: questa unità risulta costituita da depositi continentali formati da limi, limi sabbiosi e argillosi, con intercalazioni di sabbie e rare ghiaie. In queste intercalazioni sono ospitate alcune falde freatiche non sfruttate acquedottisticamente parlando ed il tetto di tale unità è posto ad una profondità di circa 80m dal p.c.
- *Unità a conglomerati*: si tratta di una successione di conglomerati variamente fratturati, sabbie, arenarie e rare ghiaie, con scarse intercalazioni argillose. In queste unità è inoltre ospitata un'ulteriore falda

---

comunemente sfruttata dai pozzi dell'acquedotto comunale. Il tetto di tale unità è posto ad una profondità di circa 50m dal p.c.

- *Unità ghiaioso-sabbiosa*: questa unità è costituita dalle ghiaie e dalle sabbie dei sedimenti alluvionali recenti e di quelli fluvioglaciali wurmiani. Tale unità è inoltre localmente ricoperta da una coltre superficiale di terreni argillosi di spessore di alcuni metri. Lo spessore complessivo dell'unità è di 50m. In questa unità è ospitata la prima falda che risulta in una certa connessione con la falda ospitata nella sottostante unità a conglomerati, poiché all'interno dell'unità ghiaioso-sabbiosa si rinvencono solo discontinui orizzonti a bassa permeabilità limoso-argillosi, che pertanto non sono in grado di separare nettamente le acque sotterranee contenute nelle due unità (a conglomerati e ghiaioso-sabbiosa).



## 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI - MODELLO DEL SOTTOSUOLO - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

### 4.1. Raccolta documentazione e stesura "Carta delle Indagini"

Per fornire un modello geologico plausibile del territorio comunale in questione, da realizzare in funzione della stesura della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)", è stata effettuata un'approfondita ricerca bibliografica presso l'Ufficio Tecnico comunale e presso l'Ufficio Derivazioni Acque della Provincia di Brescia che ha permesso la consultazione e la raccolta della seguente documentazione:

- Dott. Geol. Paolo Cerutti: "Studio geologico sul territorio comunale finalizzato alla prevenzione urbanistica del rischio idrogeologico (L.R. 41/97 e D.G.R. VII/6645/2001)"; Gennaio 2005.
- Dott. Geol. Marco Carraro, Dott. Geol. Cristiano Rodeghiero, Dott. Geol. Massimo Marella: "Aggiornamento dello studio geologico ai sensi della L.R. 12/2015"; Marzo 2010.
- Relazioni geologiche, geotecniche e sismiche realizzate a supporto della progettazione di opere pubbliche e/o di interventi di edilizia privata nell'ambito del territorio comunale (da archivio Ufficio Tecnico Comunale).
- Stratigrafie dei pozzi comunali e stratigrafie dei pozzi privati per uso industriale, agricolo e domestico. (database Tangram, Università Milano Bicocca - Provincia di Brescia).

Nel complesso sono stati raccolti numerosi dati relativi a indagini geognostiche, quali diagrammi ed elaborazioni di prove penetrometriche statiche e dinamiche, stratigrafie di pozzi, indagini geofisiche tipo MASW e ReMi nonché misure di sismica passiva HVSR ed a cui si sono aggiunte le informazioni derivanti dalla campagna di indagini geofisiche realizzate ad hoc dagli scriventi per la realizzazione del presente studio (vedi Allegato A) per un totale di:

- 2 misure di sismica passiva con tecnica a "stazione singola" (HVSR);
- 23 linee sismiche per indagini tipo MASW;
- 9 indagini sismiche del tipo ReMi;
- 23 stratigrafie di pozzi per l'acqua;
- 20 prove penetrometriche dinamiche pesanti;
- 9 prove penetrometriche statiche

La raccolta organica e ragionata dei dati ha permesso, oltre alla loro catalogazione in un opportuno database, di effettuare opportune correlazioni al fine di individuare caratteristiche comuni dei depositi analizzati la

qual cosa è stata tenuta poi in considerazione nella stesura della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)".

La loro ubicazione è stata riportata nella "Carta delle indagini", anch'essa realizzata in scala 1: 5.000 utilizzando la legenda e le simbologie previste dagli "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica" redatti dal DPC (versione 4.0, Ottobre 2015).

#### **4.2. Stesura "Carta Geologico - Tecnica"**

La "Carta geologico-tecnica" è stata redatta sulla base di un'accurata revisione a scala di dettaglio delle cartografie già redatte nell'ambito dello Studio Geologico Comunale, con particolare attenzione per la "Carta geologica, geomorfologica con elementi pedologici (Tav. 1 - scala 1:5.000)" e per la "Carta di Sintesi (Figura 1 - scala 1:5.000)" dello Studio Geologico di Cerutti (2005) che, unitamente all'elaborazione dei dati litologici, stratigrafici, litotecnici derivanti dalle relazioni geologico-tecniche effettuate nel territorio in esame e messe a disposizione dall'Ufficio Tecnico comunale, alle numerose stratigrafie di pozzi individuate e da ultimo ma non meno importante dalle informazioni sulla sismostratigrafia dei terreni investigata, così come risultante dalla campagna di indagini sismiche effettuate dagli scriventi nell'ambito del presente studio (vedi Allegato 2) ha permesso di inquadrare ed accorpare le unità litostratigrafiche descritte nel capitolo precedente così come successivamente indicato; la carta redatta in scala 1:5.000 rappresenta inoltre l'elaborato propedeutico principale per la stesura della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)".

La Carta geologico-tecnica è stata inoltre realizzata utilizzando la simbologia prevista dagli "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica" redatti dal DPC (versione 4.0, Ottobre 2015) e nella trasposizione delle informazioni secondo i predetti standard è stata posta particolare attenzione alla mappatura dei depositi di copertura, alla ricostruzione dettagliata delle sezioni stratigrafiche redatte a supporto della carta stessa e per i depositi individuati, questi sono stati raggruppati in funzione della litologia prevalente e dell'ambiente deposizionale che li ha originati distinguendo quindi i seguenti gruppi:

- Depositi fluvioglaciali: si tratta di depositi assimilabili a ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMfg) presenti sia nel comparto occidentale che orientale del territorio comunale con maggior presenza di depositi fini nel settore occidentale rispetto a quello a est dell'abitato di Flero.
- Depositi di terrazzo fluviale: trattasi di ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie distribuite fondamentalmente in direzione N-S a vallo dell'alveo del Vaso Fiume.

#### **4.3. Stesura della "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)"**

La "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" è stata redatta partendo dalla "Carta geologico-tecnica" del presente studio fatte salve le indicazioni derivanti dalla "Carta della Pericolosità Sismica Locale"

dell'aggiornamento dello studio geologico comunale del 2010. Queste informazioni sono state opportunamente tradotte nelle codifiche degli Standard di archiviazione informatica e successivamente integrate con tutte le informazioni derivanti dalla campagna di indagini geofisiche e dalla raccolta delle informazioni "sismiche" contenute nelle relazioni geologiche fornite dall'Ufficio Tecnico comunale.

La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica.

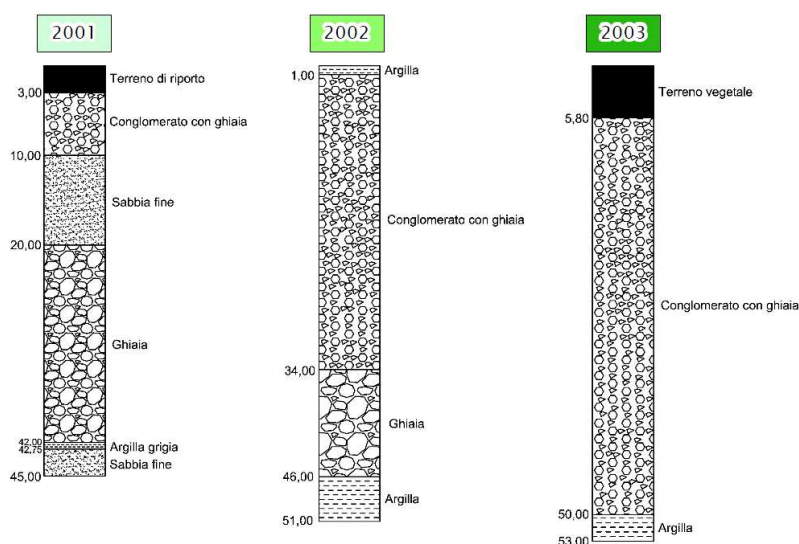
### Zone stabili

All'interno del territorio del Comune di Flero non sono state riscontrate microzone che è possibile definire stabili. Questo è dovuto in particolare al fatto che non è presente in affioramento il bedrock sismico ne quello geologico.

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Rappresentano il risultato derivante dall'interpretazione della mole di dati descritta nei paragrafi precedenti. In carta sono state individuate nello specifico 3 microzone, distinte sulla base delle varie tipologie di depositi individuati nella Carta geologico-tecnica e opportunamente codificate anche alla luce dell'estrema variabilità di spessori e di tipologia degli orizzonti stratigrafici della medesima facies deposizionale. Ad ogni microzona è stata associata una colonnina stratigrafica indicativa appunto di spessori e tipologia di depositi presenti. Di seguito vengono illustrate le colonne litostratigrafiche tipo individuate:

### Colonne litostratigrafiche rappresentative delle microzone



- 2001: entro questa microzona è ricompresa tutta la fascia occidentale del Comune di Flero, nella quale ricade la maggior parte della zona industriale. Come per le altre due zone individuate, i depositi presenti sono costituiti prevalentemente da litotipi granulari. Nello specifico i primi

metri (fino a mediamente -10m rispetto al piano campagna) sono presenti ghiaie cementate con competenze ascrivibili ad un conglomerato. Seguono 10 metri circa di sabbie fini con presenza di rare ghiaie, sovrastanti ad un potente strato di ghiaia fino alla profondità di circa 40m. Al di sotto di tale profondità, fino alle profondità indagate dalle indagini ubicate nella Carta delle indagini, si riscontrano alternanze di argille e sabbie con spessori metrici.

- 2002: è la microzona presente nella parte più occidentale del Comune di Flero. Rispetto alle altre microzone è caratterizzata da uno spessore più potente di coperture di terreno vegetale che possono arrivare fino a 5.6m. La successiva litologia, ghiaie cementate con ghiaie sciolte, caratterizza l'intera colonna stratigrafica fino ad una profondità di circa 50 m, dopo la quale si riscontrano litologie a carattere principalmente argilloso.
- 2003: è la microzona rappresentativa del centro urbano di Flero e si trova ricompresa tra le precedenti due. Come la precedente è caratterizzata dalla presenza di ghiaie conglomeratiche, fino alla profondità di circa 35 metri rispetto al piano campagna, con al tetto uno spessore molto limitato di terreni argillosi. Seguono ghiaie fino alla profondità di circa 45 metri. La parte finale della colonna stratigrafica è costituita, come per le microzone 2001 e 2002 da litotipi di natura argillosa.

#### Zone di attenzione per instabilità

All'interno del territorio del Comune di Flero non sono state riscontrate microzone caratterizzate da instabilità.

#### **4.4. Stesura "Carta di Microzonazione Sismica di livello 2"**

I dati inizialmente a disposizione per la stesura della carta di microzonazione sismica di secondo livello presentavano una dispersione significativa in relazione all'estensione territoriale del territorio comunale. Per tale motivo, a integrazione delle indagini geofisiche raccolte da Studio Geologico Comunale e dalle relazioni geologiche fornite dall'Ufficio tecnico è stata realizzata, come già accennato diverse volte in precedenza, una campagna di indagini geofisiche finalizzata ad infittire l'informazione relativa al fattore di amplificazione sitospecifico e concentrata soprattutto nell'ambito e nelle adiacenze dei principali centri abitati e lungo la rete stradale di connessione degli elementi della CLE.

Data l'estrema variabilità delle condizioni geologico tecniche delle coperture, risulta in genere difficoltoso estendere un dato puntuale in termini di velocità delle onde di taglio, ad un'area molto estesa al di fuori dell'ambito dell'indagini stessa. Per tale motivo, per la caratterizzazione delle microzone in termini di valori di  $F_a$ , sono stati adottati criteri di tipo litologico e morfologico adottando il valore più cautelativo, qualora all'interno della microzona fossero presenti valori con diversità minime sempre in termini di  $F_a$ . Nel caso in



cui all'interno di una microzona (individuata nel livello 1 attraverso la carta delle MOPS) siano stati individuati valori di Fa molto diversi tra loro, si è proceduto alla suddivisione delle microzone stesse.

Risulta pertanto importante sottolineare come la carta di secondo livello realizzata rappresenti un'interpolazione di dati effettuata su base cautelativa, non escludendo però che, data l'estrema variabilità delle condizioni locali del sottosuolo, si possano presentare condizioni (pur localizzate) che differiscano in termini di Fa da quando individuato in carta.

Tutto ciò premesso, per quanto riguarda la valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia la procedura semplificata di 2° livello ha richiesto una valutazione ragionata circa la scelta della schede litologiche che andremo a descrivere nel paragrafo seguente.

#### **4.4.1. Scelta delle schede litologiche per la definizione dei fattori di amplificazione utili alla definizione delle carte di microzonazione sismica di livello 2**

Secondo quanto definito nell'Allegato 5 *"Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico del P.G.T."* della DGR IX/2616/2011 *"Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374"*, la definizione dei fattori di amplificazione del moto sismico basata sul secondo livello di approfondimento avviene attraverso una procedura semplificata. Tale procedura richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle  $V_s$  con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s. La conoscenza degli spessori e delle  $V_s$  può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock ( $V_s \geq 800$  m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di  $V_s$  con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova *SPT*, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle  $V_s$  con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di  $V_s$  inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle  $V_s$  con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle  $V_s$  con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle  $V_s$  con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.

In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle  $V_s$  con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di  $V_s$  escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità  $V_s$  dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di  $F_a$  nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito  $T_2$ .

Il valore di  $V_s$  dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di  $V_s$  dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 220 m/s si sceglierà il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione).

Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità  $V_s$  calcolata come media pesata del valore di  $V_s$  degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore.

#### **4.4.2. Campagna di indagini geofisiche e andamenti della velocità delle onde di taglio con la profondità**

Per la definizione dell'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità, è stata impostata un'estesa campagna di indagini geofisiche finalizzata alla definizione dei fattori di amplificazione a scala comunale. Nello specifico, sono state realizzate 20 indagini tipo MASW e 9 indagini tipo ReMi, accoppiate a

9 delle 20 MASW realizzate e le risultanze delle stesse con le indicazioni circa le metodologie di indagine sono riportate nell'Allegato A "Campagna di indagini geofisiche tipo MASW e ReMi nel Comune Flero".

A conferma della sostanziale uniformità litologica riscontrata nei primi metri di profondità su quasi tutto il territorio comunale (si faccia riferimento alla Carta Geologico Tecnica), l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità riscontrato dalle indagini tipo MASW non ha mostrato, in molti casi, sostanziali differenze in corrispondenza delle diverse prove realizzate.

In figura 12 è riportato a titolo esemplificativo l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità rilevato in corrispondenza dello stendimento n. 16 (si faccia riferimento alla Carta delle Indagini).

L'osservazione congiunta del dato delle indagini MASW con le indagini ReMi, ha permesso tuttavia l'identificazione di due tipologie di andamento di velocità con la profondità delle onde di taglio. Un primo andamento è caratterizzato da un incremento regolare della velocità con la profondità, mentre il secondo si differenzia per la presenza di un'importante inversione di velocità a profondità superiori di 30m.

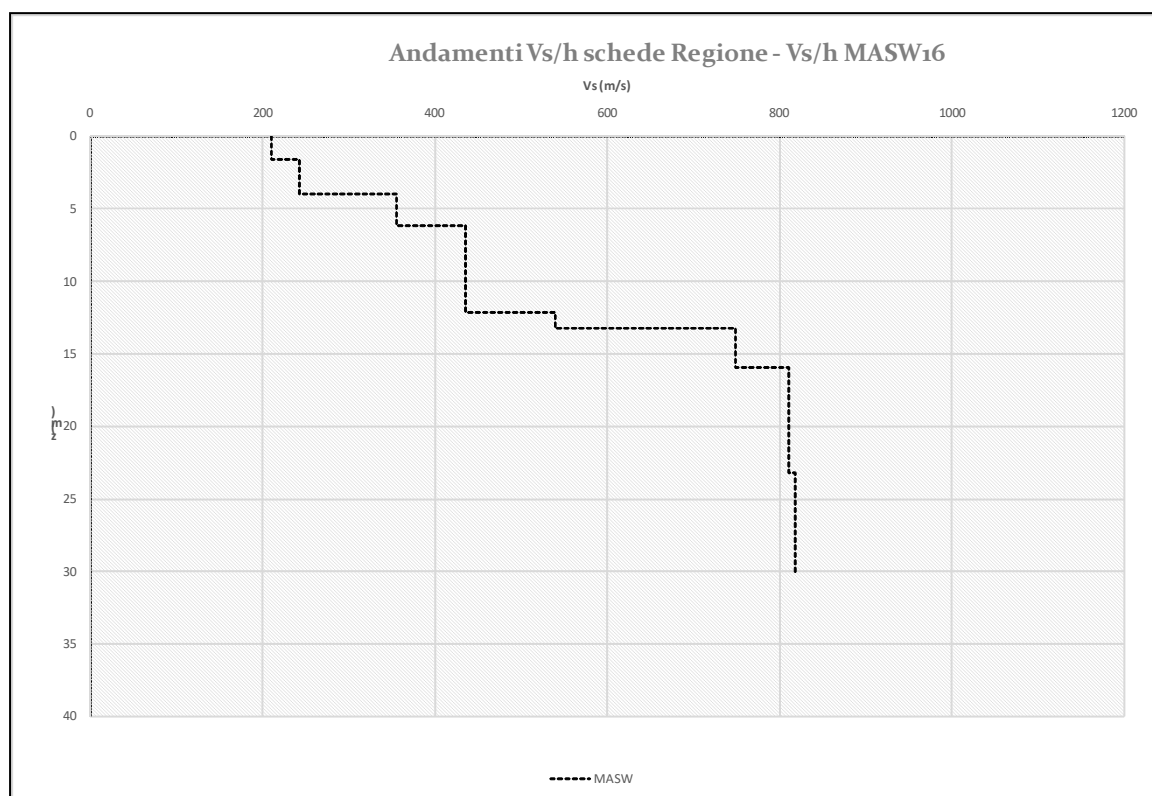
Tali andamenti sono riportati rispettivamente nelle figure 13 e 14 nelle quali sono riportati gli andamenti della velocità con la profondità rilevati in corrispondenza del medesimo stendimento, ma acquisiti rispettivamente con tecnica MASW e ReMi

Si noti come in figura 13 il gradiente di velocità con la profondità sia regolare, mentre il gradiente di figura 14 mostra un'importante inversione di velocità ad una profondità superiore a 30m.

Tale inversione non sarebbe stata individuata se le velocità fossero state indagate solamente con la tecnica MASW.

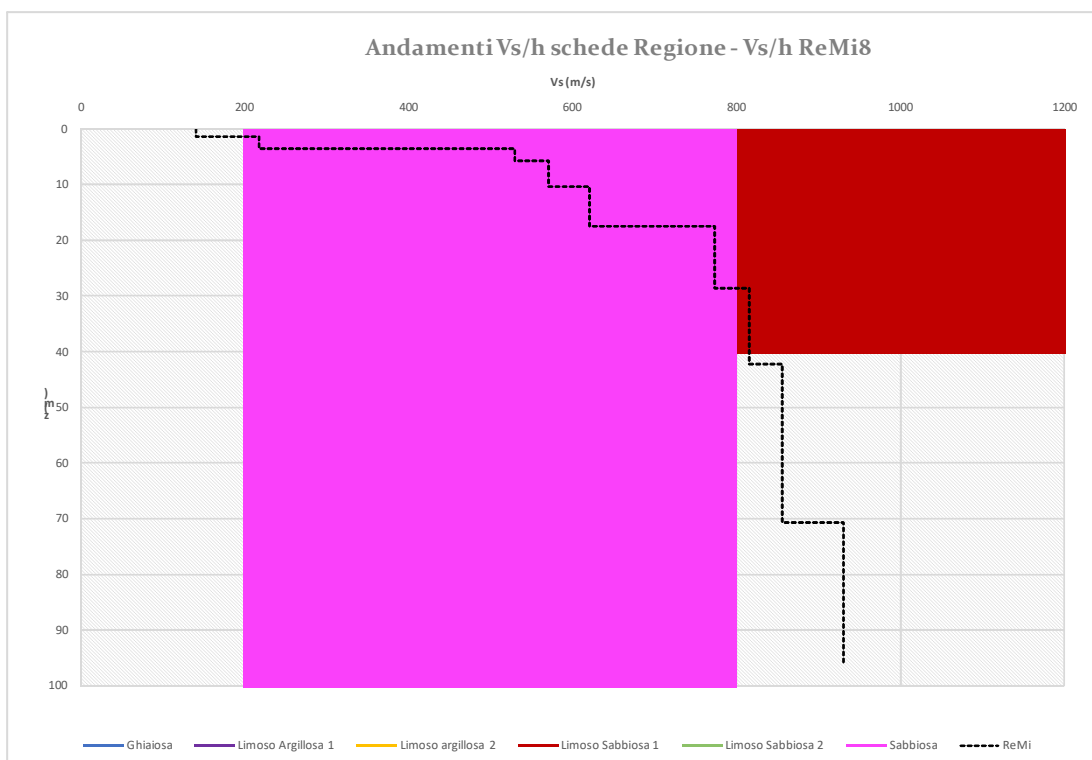
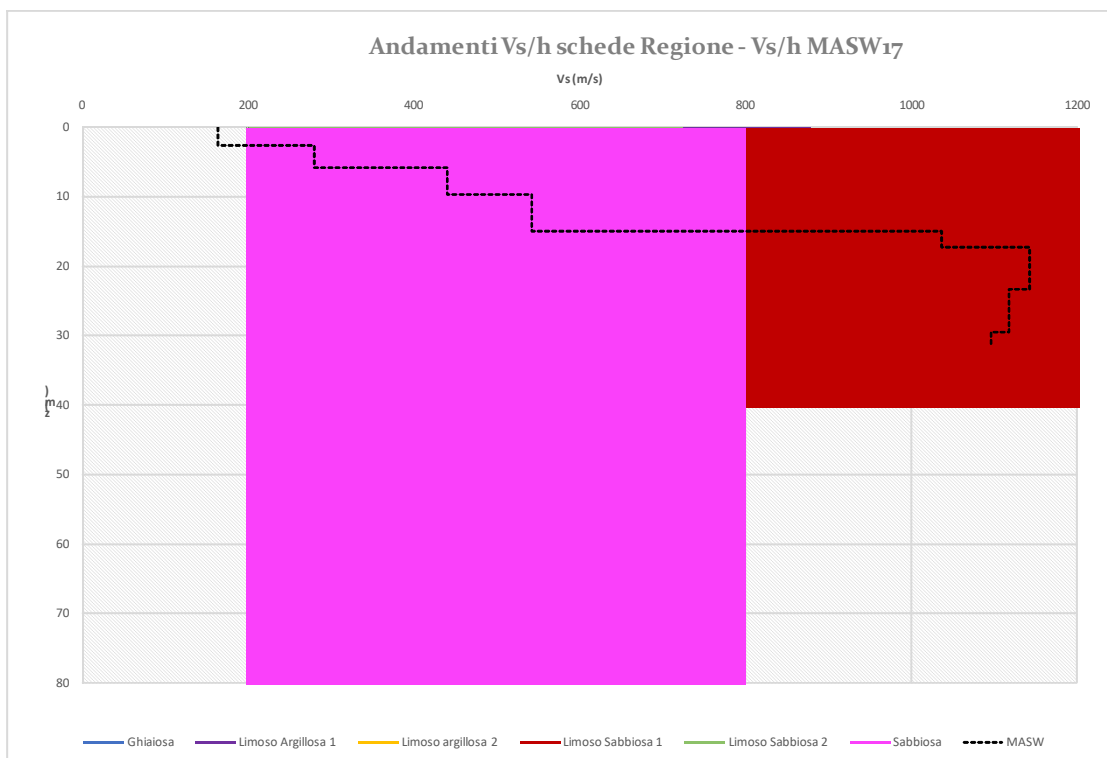
L'osservazione congiunta delle Vs rilevate attraverso tecnica MASW e ReMi ha dunque permesso di individuare due caratteri peculiari in termini di caratteristiche dinamiche per i terreni del comune di Flero, riportati nelle figure 13 e 14.

L'analisi delle stratigrafie dei pozzi per acqua ha mostrato come la probabile causa delle inversioni di velocità rilevate, sia da ascrivere alla locale presenza in alcune zone del territorio comunale di orizzonti di spessore decametrico o pluridecamentrico di ghiaie cementate.

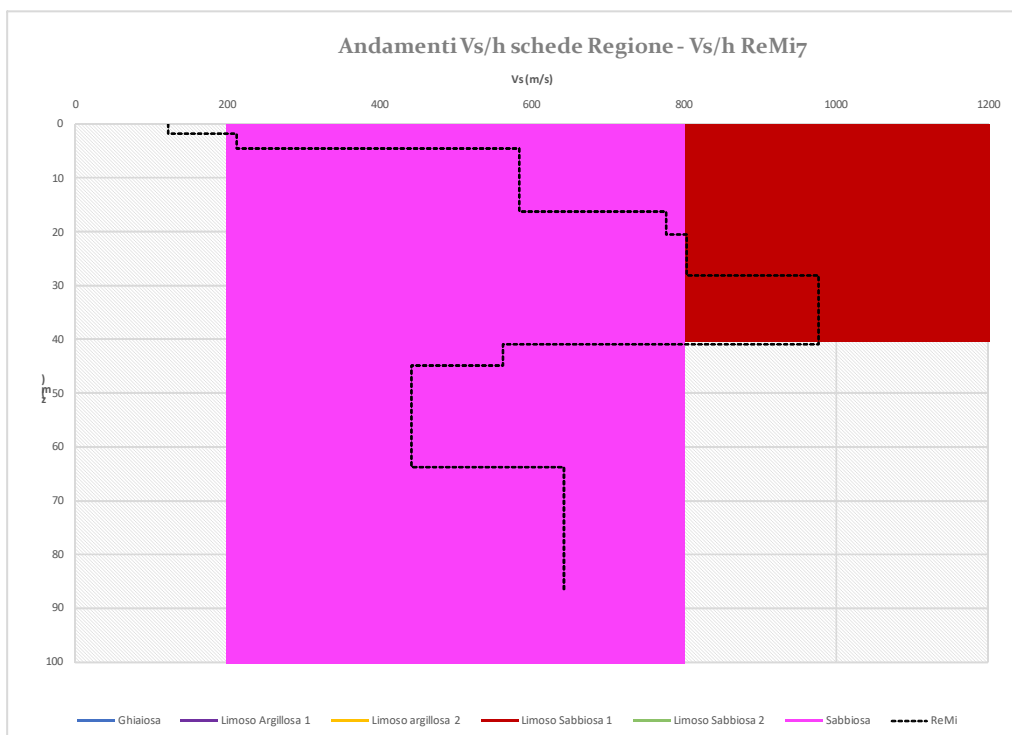
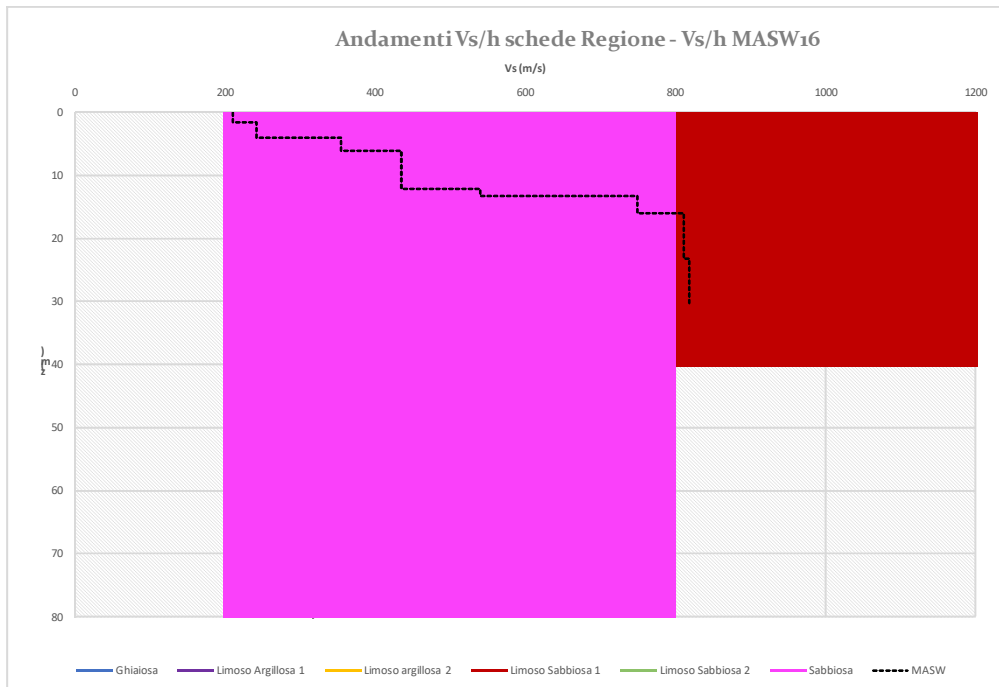


**Fig. 12:** tipico andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità rilevato nei primi metri di profondità della maggior parte del territorio comunale attraverso le indagini tipo MASW.





**Fig. 13:** in tratteggio nero: andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità rilevato attraverso tecnica MASW (in alto) e ReMi (in basso). Si noti la crescita regolare della velocità con la profondità. Le linee colorate rappresentano gli andamenti delle Vs con la profondità secondo le schede litologiche predisposte da Regione Lombardia per la definizione degli Fa con metodo di livello 2.



**Fig. 14:** in tratteggio nero: andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità rilevato attraverso tecnica MASW (in alto) e ReMi (in basso). Si noti la presenza oltre i 40m di un'importante inversione di velocità rilevata grazie alle indagini profonde. Le linee colorate rappresentano gli andamenti delle Vs con la profondità secondo le schede litologiche predisposte da Regione Lombardia per la definizione degli Fa con metodo di livello 2.

#### 4.4.3. Individuazione della scheda litologica per la definizione dei fattori di amplificazione

Come definito nella premessa, sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova *SPT*, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento per la successiva individuazione dei valori di *Fa*.

Dall'osservazione dei dati delle stratigrafie dei pozzi, oltre che dall'analisi delle numerose indagini geotecniche in sito raccolte, è possibile notare come il sottosuolo del comune di Flero sia caratterizzato, ad eccezione di alcuni metri in superficie, da terreni principalmente ghiaiosi in matrice sabbioso limosa o sabbioso argillosa.

Gli andamenti della velocità delle onde di taglio con la profondità delle indagini tipo MASW riportati all'interno delle schede litologiche predisposte da Regione Lombardia seguono un andamento molto simile a quello individuato per la litologia "Limoso Argillosa Tipo 2" (si veda la figura 12 e 13, immagine in alto).

Tuttavia, considerando anche l'andamento delle velocità rilevato attraverso le indagini tipo ReMi, si nota come il gradiente individuato dalla scheda "Limoso Argillosa Tipo 2", non risulti sufficiente a contenere l'intero gradiente di velocità misurato in campagna. Inoltre, dal punto di vista litologico, la descrizione delle litologie per le quali utilizzare la scheda "Limoso Argillosa Tipo 2" non sembra in linea con quanto osservato dalle indagini reperite sul territorio comunale di Flero.

Per i motivi sopra esposti si è quindi valutato anche l'utilizzo della scheda tipo "Sabbiosa" per la definizione dei fattori di amplificazione, dato l'andamento del gradiente e le caratteristiche litologiche.

Dal punto di vista procedurale, è stato calcolato il fattore di amplificazione in corrispondenza di ciascuna indagine eseguita, sia utilizzando la scheda "Limoso Argillosa Tipo 2" sia utilizzando la scheda "Sabbiosa" per i periodi 0.1-0.5s e 0.5-1.0s.

Dal momento che i valori dei fattori di amplificazione sono risultati significativamente diversi a seconda che fossero calcolati con una scheda piuttosto che un'altra, è stata condotta un'analisi di risposta sismica locale in corrispondenza delle indagini ReMi 1 e 7.

Come parametri di input sono stati utilizzati: le litologie rilevate in corrispondenza dei pozzi per acqua più vicini agli stendimenti e le rispettive curve di degrado definite da Regione Lombardia; l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità rilevate in corrispondenza dei due stendimenti; i 5 accelerogrammi per la fascia 7 all'interno della quale ricade il Comune di Flero. Per ciascun accelerogramma è stato individuato lo spettro in input e in output sul quale è stato calcolato il fattore di amplificazione in

termini di intensità di Housner per gli intervalli di integrazione 0.1-0.5s e 0.5-1.0s. Dei 5 risultati ottenuti per ciascuno dei periodi di integrazione è stata poi effettuata la media.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori di Fa ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale, dalla scheda tipo "Limoso Argillosa Tipo 2" e dalla scheda tipo "Sabbiosa". Come è possibile notare, il valore di Fa ottenuto dall'analisi di risposta sismica locale in corrispondenza della ReMi 7 è notevolmente inferiore rispetto ai valori ottenuti dagli abachi. Tale differenza è dovuta alla presenza dell'inversione di velocità dovuta ad uno strato significativamente rigido che assorbe un importante quantitativo di energia soprattutto per i bassi periodi.

	RSL		Abaco litologia "Limoso Argillosa Tipo 2		Abaco litologia "Sabbiosa "	
	Fa0.1-0.5	Fa0.5-1.0	Fa0.1-0.5	Fa0.5-1.0	Fa0.5-1.0	Fa0.1-0.5
<b>Remi 1</b>	<b>1,79</b>	<b>1.03</b>	<b>2.15</b>	<b>1.17</b>	<b>1.7</b>	<b>1.45</b>
<b>Remi 7</b>	<b>1.13</b>	<b>1.04</b>	<b>1.49</b>	<b>1.08</b>	<b>1.64</b>	<b>1.64</b>

Il fatto che esista tale differenza è prevedibile in quanto l'abaco non tiene in considerazione (come riportato in premessa) i casi per i quali sono presenti significative inversioni di velocità, per i quali si rendono necessarie specifiche analisi.

Il risultato mostra come nelle aree nelle quali sia presente tale inversione, l'abaco tenda a sovrastimare i significativamente valori di Fa ed è pertanto fortemente consigliata, in fase di progettazione, una specifica analisi di risposta sismica locale che tenga in considerazione tale circostanza.

Per i casi in cui il gradiente di velocità con la profondità è regolare, è stato scelto di utilizzare la scheda tipo "Sabbiosa" in quanto permette di ottenere dei valori più confrontabili con quelli ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale. I valori di Fa ottenuti tramite la scheda "Limoso Argillosa Tipo 2" tendono a sovrastimare i risultati ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale soprattutto per i periodi 0.1-0.5s che alla luce delle tipologie edilizie presenti sul territorio comunale in esame risulta essere quella di maggior interesse per lo stesso.

#### 4.4.4. Sintesi dei dati e stesura delle carte di microzonazione sismica di livello 2

Alla luce delle indicazioni fornite nei paragrafi precedenti e tenuto conto sia delle risultanze delle indagini pregresse che soprattutto delle informazioni raccolte durante la campagna di indagini geofisiche di cui all'Allegato A è stata preparata la "Carta di Microzonazione sismica - livello 2" (scala 1:5.000) estesa a tutto il territorio comunale e realizzata per il periodo di riferimento ( $T = 0,1 - 0,5$ ) che risulta essere quello più rappresentativo per le tipologie edilizie presenti nel contesto territoriale in esame.

Vista la situazione delle condizioni geologico tecniche delle coperture e tenuto conto della sintesi prodotta con la stesura della carta delle MOPS, per la caratterizzazione delle microzone in termini di valori di Fa, in base alla dispersione del dato di fattore di amplificazione, si è sempre optato per l'adozione del valore più cautelativo, qualora all'interno della medesima microzona di livello 1 fossero presenti valori con diversità minime sempre in termini di Fa. Nel caso in cui all'interno di una microzona di livello 1 siano stati individuati valori di Fa molto diversi tra loro, si è proceduto alla suddivisione delle microzone stesse. Inoltre alla luce del fatto che in certe situazioni di passaggio fra una microzona e l'altra non corrispondevano cambiamenti di Fa significativi si è optato per un accorpamento in direzione dell'una o dell'altra microzona in funzione di un ragionamento dettato da criterio precauzionali e di maggior sicurezza

Risulta pertanto importante sottolineare come la carta di secondo livello realizzata rappresenti un'interpolazione di dati effettuata su base cautelativa, non escludendo però che, alla luce della variabilità delle condizioni locali del sottosuolo, si possano presentare situazioni (pur localizzate) che differiscano in termini di Fa da quando individuato in carta.

Le porzioni del territorio comunale che presentano i valori di Fa più elevati (Fa 1,9 / 2,0) coincidono con la parte centro settentrionale dell'abitato di Flero nell'ambito della quale sono ubicate buona parte degli edifici strategici e rilevanti del tessuto urbano in esame e con la porzione centro-meridionale dell'area industriale posta ad ovest al confine con Castel Mella. La restante parte del territorio comunale, ad eccezione di un lembo sud-orientale al confine con Poncarale che presenta valori di "Fa 1,3 / 1,4", si suddivide fra le due sottoclassi di "Fa 1,7 / 1,8" e di "Fa 1,6 / 1,7".

In estrema sintesi nell'ambito dello studio in oggetto è stato possibile caratterizzare tutto il territorio comunale in esame. Dall'analisi della carta in oggetto è possibile notare come la variabilità, in termini di Fa, risulti piuttosto variegata e questo in ultima istanza dipende oltre che dalle interdigitazioni e dalle chiusure delle varie sequenze deposizionali e dei loro relativi spessori anche dalle variazioni di profondità del substrato roccioso sismico. Evidente è comunque la situazione dell'abitato di Flero nell'ambito del quale si sono riscontrate le maggiori variazioni fra i valori del fattore di amplificazione oltre che i picchi massimi raggiunti a livello comunale.



## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Su incarico (determina dirigenziale n. 389 del 07/11/2016 del Responsabile Area della Programmazione del Territorio) dell'Amministrazione Comunale di Flero (BS) è stato realizzato il presente studio di "Microzonazione Sismica di livello 1 e 2" del territorio comunale che è ha previsto, a completamento dell'incarico affidato, anche la realizzazione dell'"Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)" dell'urbanizzato di Flero e di cui si renderà conto nella specifica relazione illustrativa.

In una prima fase si è quindi proceduto alla raccolta e alla consultazione di tutta la documentazione bibliografica disponibile e rappresentata dall'"Aggiornamento dello studio geologico ai sensi della L.R. 12/05" del Dicembre 2010 (geologi Marco Carraro, Cristiano Rodeghiero e Massimo Marella) e dal precedente "Studio geologico comunale ai sensi della L.R. 41/97 e D.G.R. VII/6645/2001" dell'Agosto 2005 (geologo Paolo Cerutti); a questi si sono aggiunte le informazioni derivanti dalle relazioni geologiche, geotecniche e sismiche messe a disposizione dell'Ufficio Tecnico Comunale di Flero, oltre a quanto indicato nel "database Tangram" dell'Università Milano - Bicocca (Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio) e del IDPA - CNR (Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali) di Milano, in merito alle numerose stratigrafie relative ai pozzi pubblici e privati presenti sul territorio comunale in esame.

A seguire si è proceduto con la realizzazione di una campagna d'indagine geofisiche tipo MASW (20 stendimenti realizzati su tutto il territorio in esame) e ReMi (9 stendimenti realizzati prevalentemente nell'ambito dell'urbanizzato del centro abitato di Flero) finalizzate alla verifica ed all'implementazione del dato sismico disponibile dalle informazioni pregresse, di modo che si potesse procedere ad investigare adeguatamente il contesto territoriale in esame per la stesura della "Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2" e per procedere ad una corretta disamina delle risultanze dei rilievi dell'"Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza".

Nel frattempo tutte le indagini pregresse (da studio geologico comunale e da relazioni geologiche da UT) oltre alle indagini della campagna di cui al punto precedente sono state quindi digitalizzate, validate ed implementate in un opportuno database strutturato secondo le indicazioni dell'OCDPC 344/2016 e dei relativi Standard metodologici, sono state successivamente inserite con opportuni simbolismi nella "Carta delle Indagini" realizzata alla scala 1: 5.000 in contemporanea con la "Carta Geologico Tecnica" del territorio comunale, anch'essa realizzata alla scala 1: 5.000 e corredata da due sezioni stratigrafiche significative per il contesto geologico in esame, la prima orientata E-W e la seconda N - S.

Successivamente è stata redatta la "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" (scala 1: 5.000), sulla quale sono state individuate 3 "zone stabili suscettibili di amplificazione sismica" mentre l'atto conclusivo è stato rappresentato dalla stesura della "Carta di Microzonazione sismica - livello 2" (scala 1: 5.000) estesa a tutto il territorio comunale in esame e realizzata per il periodo di riferimento ( $T = 0,1 - 0,5$ )

che risulta essere quello più rappresentativo per le tipologie edilizie presenti nel contesto territoriale in esame. Da una prima disamina della medesima si evince che le aree presentanti i valori di Fa maggiori (Fa 1,9 / 2,00) coincidono con la porzione del centro abitato di Flero nell'ambito del quale si trovano la quasi totalità degli edifici strategici e rilevanti del Comune in esame e con la porzione centro-meridionale della zona industriale posta ad ovest al confine con il Comune di Castel Mella.

Ad eccezione di una piccola porzione sud-orientale al confine con il Comune di Poncarale con valori di "Fa 1,3 / 1,4" la restante parte del territorio si suddivide quasi esattamente fra un'area con valori di "Fa 1,7 / 1,8" e un'altra con "Fa 1,5 / 1,6"

In estrema sintesi nell'ambito dello studio in oggetto è stato possibile caratterizzare tutte le principali aree urbanizzate del Comune. Dall'analisi della carta in oggetto è possibile notare come la variabilità, in termini di Fa, risulti piuttosto variegata e questo in ultima istanza dipende oltre che dalle interdigtazioni e dalle chiusure delle varie sequenze deposizionali e dei loro relativi spessori anche dalla profondità del substrato roccioso sismico. Evidente è comunque la situazione del centro abitato di Flero nell'ambito del quale si sono riscontrate le maggiori variazioni fra i valori del fattore di amplificazione oltre che i picchi massimi raggiunti a livello comunale.

Pisogne, ottobre 2017

Dott. Geol. Alessandro Schiepatti



Dott. Geol. Bruno Quadrio



Dott. Geol. Fabio Fenaroli



Ha collaborato: Dott. Alberto Savini.

---

---

***ALLEGATO A:***  
***Campagna di indagini geofisiche tipo MASW e ReMi***  
***nel Comune di Flero***

---

---

## 1. INDAGINI SISMICHE

### 1.1. Cenni teorici

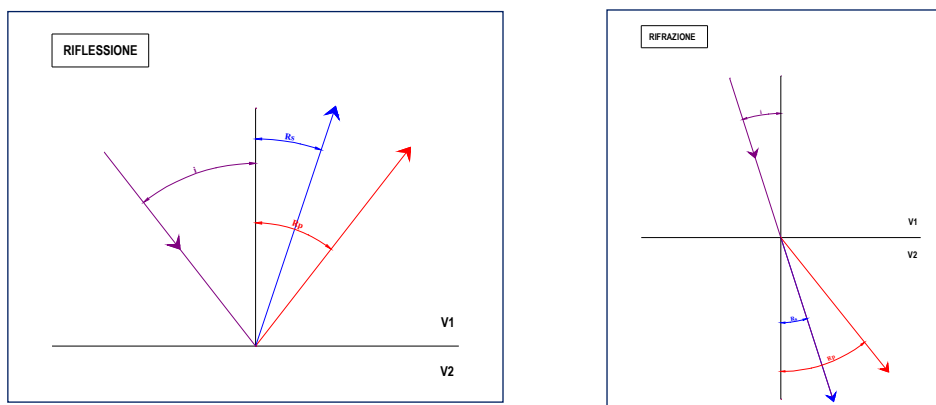
La prospezione sismica si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso metodi di studio di tipo indiretto, dove per metodi di tipo indiretto si intendono quelle metodologie di studio in grado di definire la presenza e la tipologia di una determinata anomalia nel sottosuolo, identificandone indirettamente le caratteristiche salienti, analizzando i parametri fisico meccanici dedotti dal metodo di prospezione utilizzato.

I metodi sismici, in generale, permettono di effettuare un'analisi dettagliata di differenti tipologie di materiale, sfruttando le proprietà di questi ultimi quando sono attraversati da un'onda di tipo sismico. Le varie metodologie di indagine si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori (geofoni). Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Le onde di tipo sismico possono essere in generale classificate come:

- onde di volume
  - P: onde primarie o di compressione
  - S: onde secondarie o di taglio
- onde di superficie
  - L: onde di Love (caratterizzate da un movimento longitudinale e trasversale)
  - R: onde di Rayleigh (caratterizzate da un movimento ellittico retrogrado)

Quando un'onda sismica che si propaga nel sottosuolo incontra un limite tra materiali con differenti proprietà fisico meccaniche, subisce delle modificazioni salienti sia nel suo percorso, sia nelle intrinseche caratteristiche energetiche. Le caratteristiche del mezzo e l'angolo di incidenza dei raggi sismici determineranno la traiettoria dell'onda sismica. Quando un'onda longitudinale piana incontra una superficie di separazione tra due mezzi isotropi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia si riflette nello stesso mezzo in cui l'onda incidente si propaga, mentre una parte si rifrange nell'altro.



**Fig. 1-** Schematizzazione grafica dei principi di riflessione e rifrazione di un 'onda

**Riflessione:** l'angolo di incidenza ( $i$ ) è uguale all'angolo di riflessione dell'onda compressionale P ( $R_p$ ), mentre l'angolo di riflessione dell'onda di taglio S ( $R_s$ ) è legato all'angolo di incidenza dall'equazione:

$$\sin(R_s) = \frac{V_s}{V_p} \cdot \sin(i)$$

**Rifrazione:** l'angolo di riflessione dell'onda compressionale P ( $R_p$ ) è legato all'angolo di incidenza dall'equazione:

$$\frac{\sin(i)}{\sin(R_p)} = \frac{V_{p1}}{V_{p2}}$$

L'angolo di riflessione dell'onda di taglio S ( $R_s$ ) è legato all'angolo di incidenza dall'equazione:

$$\frac{\sin(i)}{\sin(R_s)} = \frac{V_{p1}}{V_{s2}}$$

Quando  $\sin(i) = \frac{V_{p1}}{V_{p2}}$  il valore di  $\sin(R_p)$  risulta pari a 1 e l'angolo pari a  $90^\circ$ ; pertanto le onde compressionali rifratte non attraversano il mezzo ma si propagano lungo l'interfaccia. In questo caso si parla di angolo critico e di riflessione totale.

La presenza di discontinuità o anisotropie nel mezzo modifica ampiezza e periodo delle onde sismiche. La velocità delle onde dipende dalle caratteristiche meccaniche del materiale attraversato, in particolare da: densità ( $\gamma$ ), coefficiente di Poisson ( $\rho$ ), modulo di Young (E) e modulo di taglio (G).

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

$$E = V_p^2 \cdot \gamma \cdot \frac{(1 + \rho) \cdot (1 - 2\rho)}{1 - \rho}$$

$$G = \frac{\gamma \cdot V_s^2}{g}$$

$V_p$  = velocità delle onde P

$V_s$  = velocità delle onde S

$g$  = accelerazione di gravità

Nella tabella di seguito vengono indicati valori di riferimento della velocità P per alcuni materiali



Litotipi		Velocità onde P $V_p$ (m/s)		Velocità onde S $V_s$ (m/s)	
		Valore minimo	Valore massimo	Valore minimo	Valore massimo
Rocce ignee	Andesite	6100	6400	3300	3500
	Basalto	6500	7200	1600	3500
	Basalto fratturato*	950	1350	480	700
	Diorite	5800	6600	–	–
	Dunite	6700	7100	3800	4100
	Gabbro	6200	7200	3300	3900
	Granito	5500	6100	900	3300
	Granito fratturato*	1000	1750	500	900
	Latite	5400	5750	3100	3250
	Riolite	5000	5500	2800	3200
Rocce metamorfiche	Anfibolite	5800	7100	3400	4000
	Argilloscisto	3500	5400	–	–
	Gneiss	3500	7000	2700	3500
	Marmo	3700	6900	2500	390
	Quarzite	5100	6000	3500	4000
	Scisto	3500	5700	–	–
	Serpentinite	5500	6500	2200	3000
Rocce sedimentarie	Anidrite	4500	6500	–	–
	Argillite	2100	4400	550	2100
	Calccare	2000	7000	1000	3300
	Calccare fratturato*	750	1500	330	650
	Calcarenite	1400	4400	800	2500
	Arenaria	2000	6000	900	3100
	Arenaria fratturata*	800	2100	360	950
	Dolomia	2500	6500	1200	3800
	Duomo salino	4500	5000	–	–
	Gesso	2000	3500	–	–
	Marna	1500	2000	300	500
Terreni	Alluvioni	300	600	–	–
	Argilla	1000	2500	300	600
	Argilla sabbiosa	600	2600	200	450
	Ghiaia	750	1000	200	500
	Limo	650	1250	240	480
	Permafrost	3500	4000	–	–
	Sabbia asciutta	200	1000	–	–
	Sabbia satura	600	2300	250	450
	Sabbia siltosa	600	1900	200	600
	Sabbia e ghiaia	300	1800	300	600
	Tillite	1500	2500	–	–

## 1.1. Sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità. La condizione indispensabile perché la tecnica sia utilizzata con profitto e le risposte siano corrette e interpretabili, è che, in un ipotetico sottosuolo dominato dalla presenza di più strati, la velocità dell'onda sismica nello strato superiore sia sempre minore della velocità dell'onda sismica nello strato inferiore ( $V_1 < V_2$ )

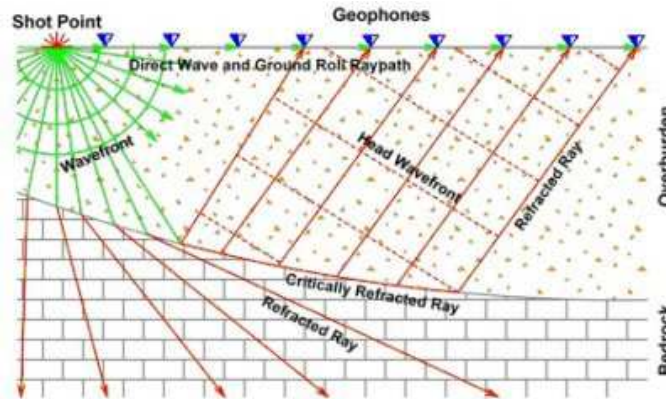


Fig. 2 - Schema tipico di un'indagine sismica a rifrazione

Misurando i tempi di primo arrivo (FBP First Break Point) degli impulsi ai geofoni e le distanze tra gli stessi viene costruito un diagramma (dromocrona) nel quale in ascisse vengono rappresentate le distanze e in ordinate i tempi.

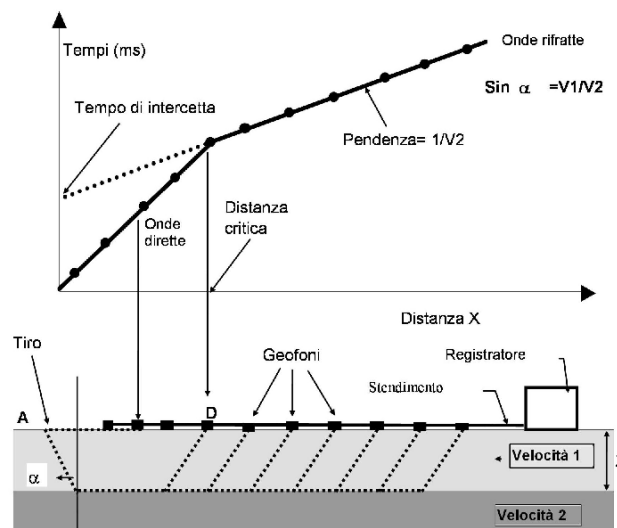


Fig. 3 - Sismica a rifrazione: dromocrona su diagramma tempo/distanza

Le onde dirette viaggiano dalla sorgente al ricevitore con velocità  $V_1$  (nella dromocrona sono rappresentate dalla linea che dall'origine ha una pendenza pari a  $1/V_1$ ) e raggiungono i ricevitori in un tempo:

$$t = \frac{x}{V_1}$$

Le onde rifratte viaggiano lungo l'interfaccia a una profondità  $z$  (nella dromocrona sono rappresentate dalla linea retta con pendenza  $1/V_2$  che intercetta l'asse dei tempi a  $x=0$ ) e raggiungono i ricevitori in un tempo (tempo di intercetta):

$$T_i = \frac{x}{V_2} + \frac{2z\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 * V_1}$$

Il punto di intersezione tra le due rette, definito come punto di ginocchio, permette di calcolare la profondità del rifratte.

## 1.2. Classificazione sismica dei suoli mediante metodologia MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi.

Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002): (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$  e le velocità delle onde di taglio, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

### **1.3. Classificazione sismica dei suoli mediante metodologia REMI**

L'analisi ReMi rientra nei metodi di sismica passiva che consistono nel registrare microtremiti, cioè rumori ambientali dovuti a sorgenti naturali "lontane" (vento, mare, attività antropica), auspicabilmente contenenti frequenze più basse rispetto quelle generate da acquisizioni in sismica attiva. Non si conosce né l'ubicazione né il momento in cui si verificherà l'evento di interesse e per questo è necessario che la registrazione sia lunga almeno qualche minuto al fine di riuscire a captare un segnale utile. L'acquisizione prevede disposizioni multi-geofoniche come per la sismica a rifrazione e per il metodo MASW. Durante l'analisi vengono determinati gli spettri di velocità per varie finestre temporali della registrazione effettuata di cui se ne sceglie il più chiaro per l'individuazione della curva di dispersione da invertire in modo simile all'analisi MASW.

Il metodo REMI in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale analizzando anche frequenze dell'ordine di 2 Hz e 10Hz, quindi restituendo informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m e fino a circa 100m di profondità in funzione della rigidità del suolo.

Le fasi di elaborazione del dato acquisito sono simili a quelle del metodo MASW, essendo infatti divise in tre fasi principali: (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$  e le velocità delle onde di taglio, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

## **2. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Le prove sono state effettuate con la strumentazione di seguito riportata.

### **2.1. Acquisizione dei dati**

I dati sono stati acquisiti con sismografo PASI Gea24 dotato di 24 canali a 24 bit, possibilità di stacking, filtri analogici e digitali. Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche del sismografo.

SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31,25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2M $\Omega$ // 22nF
Rapporto S/N	117db @1ksps
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps
Largh.Banda +/- 0.1dB	3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

## 2.2. Sorgenti di energizzazione

Per le indagini di tipo MASW e a rifrazione in fase d'acquisizione è stata utilizzata come sorgente di energia la massa battente; essa è costituita da un martello avente massa da 10 kg utilizzato da un operatore: l'impulso viene generato attraverso il colpo del martello su una piastra in alluminio appoggiata al terreno. Tale sorgente energizzante, leggera e facilmente manovrabile, consente la ripetizione delle energizzazioni per un singolo punto, permettendo di adottare tecniche di stacking e migliorando il rapporto tra segnale e rumore: a tal fine, per ogni punto di energizzazione, sono state eseguite in sommatoria dalle 2 alle 10 energizzazioni. L'istante di trigger è fornito da un geofono starter o da collegamento elettrico in chiusura all'istante dell'energizzazione.

## 2.3. Ricevitori

Per le indagini di sismica di tipo MASW sono stati utilizzati geofoni con asse verticale con frequenza pari a 4,5 Hz, collegati un cavo sismico, per trasferimento del segnale al sismografo, take out massimo di 10 m.



### 3. ACQUISIZIONE DATI E MODALITA' OPERATIVE DI CAMPAGNA

#### 3.2. Indagine sismica di tipo MASW e ReMi

L'indagine ha previsto l'esecuzione di 20 profili realizzati con tecnica sismica a rifrazione metodologia MASW e di 9 profili realizzati con tecnica ReMi. I profili sono stati realizzati in posizioni ritenute vincolanti per la definizione delle caratteristiche sismostratigrafiche locali, quindi dimensionati e posizionati in maniera tale da ottenere un ottimo dettaglio del segnale in corrispondenza dell'area di maggiore interesse. Nella tabella si riporta l'area di lavoro, la codifica della linea la lunghezza di ciascuna sezione di rilievo, l'interdistanza geofonica.

Stendimento	Latitudine	Longitudine	Località / Via	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw 1-10-12-16	5048240	122582	Via Aldo Moro	4	+/- 4-8	92	Ca.35
	5048140	122554					
Masw 2-10-12-16	5048580	121526	Via Volta	4	+/- 4-8	92	Ca.32
	5048580	121632					
Masw 3-10-12-16	5047490	124033	Per Cascina Paradiso	4	+/- 4-8	92	Ca.39
	5047580	124073					
Masw 4-10-12-16	5046130	123451	Lungo strada vicinale del Frate Stella	4	+/- 4-8	92	Ca.32
	5046070	123616					
Masw 5-10-12-16	5046430	122388	Deviazione Via Coler	4	+/- 4-8	92	Ca.32
	5046290	122357					
Masw 6-15-12-16	5049130	122648	Via Giacomo Leopardi	4	+/- 4-8	92	Ca.36
	5049240	122680					
Masw 7-15-12-16	5048770	122294	Via Luigi Pirandello	4	+/- 4-8	92	Ca.32
	5048740	122413					
Masw 8-15-12-16	5047760	121233	Via B. Castelli	4	+/- 4-8	92	Ca.31
	5047770	121058					
Masw 9-15-12-16	5047270	121962	Via dei Terrani Freddi	4	+/- 4-8	92	Ca.37
	5047140	121922					
Masw 10-23-12-16	5047850	122689	Parco delle Oche - lato Via S. Martino	4	+/- 4-8	92	Ca.30
Remi 1-23-12-16	5047960	122770					Ca.82

Stendimento	Latitudine	Longitudine	Località / Via	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw 11-23-12-16	5048560	123288	Via Colomberino / Parco pubblico	3	+/- 3-6	92	Ca.30
Remi 2-23-12-16	5048390	123235					Ca.90
Masw 12-04-01-17	5048590	123028	Via Fornaci	4	+/- 4-8	92	Ca.30
Remi 3-04-01-17	5048740	122969					Ca.75
Masw 13-04-01-17	5048610	123668	Via Baia del Re	4	+/- 4-8	92	Ca.38
Remi 4-04-01-17	5048510	23640					Ca.111
Masw 14-04-01-17	5047740	123275	Via Rinaldini / Parco pubblico	3	+/- 3-6	69	Ca.38
Remi 5-04-01-17	5047880	123336					Ca.96
Masw 15-04-01-17	5047340	123503	Lungo Via Caselle	3	+/- 3-6	69	Ca.33
Remi 6-04-01-17	5047300	123600					Ca.105
Masw 16-04-01-17	5047480	122974	Via Giuseppe Mazzini	3	+/- 3-6	69	Ca.31
Remi 7-04-01-17	5047450	123076					Ca.87
Masw 17-04-01-17	5046910	122837	Vicino Italmark Flero	4	+/- 4-8	92	Ca.40
Remi 8-04-01-17	5046870	122936					Ca.97
Masw 18-04-01-17	5046390	121651	Via Don Maestrini	4	+/- 4-8	92	Ca.32
Remi 9-04-01-17	5036290	121787					Ca.137
Masw 19-04-01-17	5047990	121651	Via Breda	4	+/- 4-8	92	Ca.34
	5047960	121787					
Masw 20-04-01-17	5046900	121839	Vicino Cascina Ortigara	4	+/- 4-8	92	Ca.33
	5047020	121882					

L'indagine è stata eseguita infiggendo a terra i geofoni e collegandoli alla strumentazione di acquisizione: in seguito si è provveduto a energizzare mediante mazza battente.

## 4. ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI

### 4.2. Indagini sismica a rifrazione tipo MASW-REMI

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello  $\rho$  e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2002, Roma, 2001, Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresenta una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico. Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30m di profondità  $V_{s30}$  e quindi individuare la categoria sismica del suolo.

Le fasi di elaborazione del dato acquisito sono simili a quelle del metodo MASW, essendo infatti divise in tre fasi principali: (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$  e le velocità delle onde di taglio, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'elaborazione dei dati sismici con metodo MASW e REMI

è stata effettuata per mezzo del software SWAN che, mediante la trasformata di Fourier, è in grado di fornire indicazioni sulla suddivisione delle unità litologiche del sottosuolo mediante l'individuazione delle onde  $V_s$ .

## 5. APPLICAZIONE DELLE NTC08: DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

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

La suddetta nuova norma sulle costruzioni (D.M. LL.PP. 14/01/2008) fornisce le nuove classificazioni sismiche individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale". In particolare, l'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro livelli: da 1, più pericoloso, a 4 meno sensibile.

Nello specifico il territorio comunale di **Flero** ricade in **zona 3**.

Per quanto riguarda le normative precedenti si ha:

- Codice ISTAT 2001 **03017072**
- Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti sino al 1998) **NC**
- Categoria secondo la proposta del G.d.L. del 1998 **3**
- Zona ai sensi dell'O.P.C.M. 2003 **3**
- Zona ai sensi della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129- Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia **3**

I suoli di fondazione sono suddivisi in cinque classi (A, B, C, D, E) più due speciali (S1 e S2), in base alle loro caratteristiche stratigrafiche ed alla velocità media delle onde sismiche di taglio (trasversali) entro 30 metri di profondità, ovvero alle  $V_{s30}$ :

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

$$i = 1, N$$

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

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

$N$  = Numero di strati

Mediante le analisi condotte è stato possibile calcolare per ogni stendimento il valore delle  $V_{s30}$ , e di conseguenza, in base alla classificazione attuale imposta dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008), risalire per ogni terreno indagato alla relativa classe di suolo.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_g > 800$ m/s).

**Tab. III :Categorie di sottosuolo (tratta da Tab. 3.2.II delle NTC 2008)**

## 6. VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA DELL'AREA

### 6.1. Effetti litologici

Al fine di determinare i valori di  $F_a$  dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione degli stendimenti geofisici eseguiti con metodo MASW i quali hanno permesso la compilazione di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia. Con tale indagine si è calcolato il valore di  $F_a$  (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto  $F_a$  è necessario ricavare il valore di  $V_{s30}$  (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità  $V_s$  degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata. In questo modo si risale al tipo di suolo relativa per la specifica area di indagine.

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

tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2)



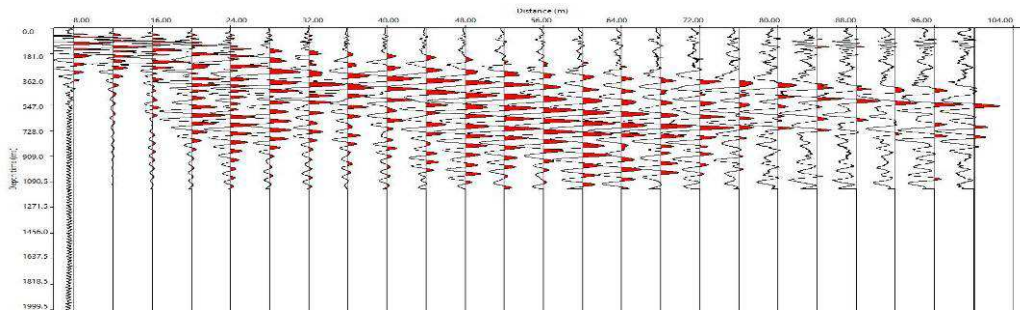
- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura)

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento. Successivamente, calcolando i valori delle Vs del primo strato, sarà possibile, mediante abachi forniti dalla D.G.R. IX/2616/11, risalire alle curve più appropriate per la determinazione del fattore di amplificazione, riferito a una data classe di suolo e a un valore determinato del periodo "T". Il valore di (Fa) verrà quindi confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0,1-0,5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0,5-1,5 s - riferito a strutture più alte e flessibili.

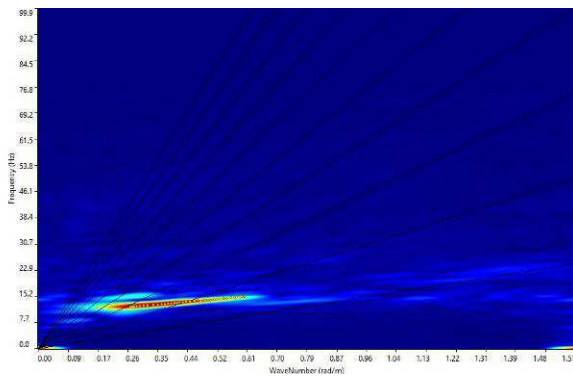
La "taratura" delle indagini geofisiche di tipo MASW e REMI, utili per una corretta interpretazione sismostratigrafica e necessaria per l'assegnazione delle relative schede litologiche, quindi per il calcolo di FA, è stata ottenuta per confronto mediante le stratigrafie e i dati di bibliografia disponibili; il calcolo del valore di Fa è stato ottenuto per ogni singola stazione elaborando i dati ricavati attraverso la metodologia MASW, utilizzando ad integrazione e conguaglio il profilo di velocità delle onde Vs ottenuto dalle indagini ReMi laddove mediante indagini MASW non si fosse raggiunto il valore di 800m/s identificabile con la presenza da normativa del substrato sismico. Di seguito le risultanze delle indagini di tipo geofisico eseguite.

**MASW\_1-10-12-16**

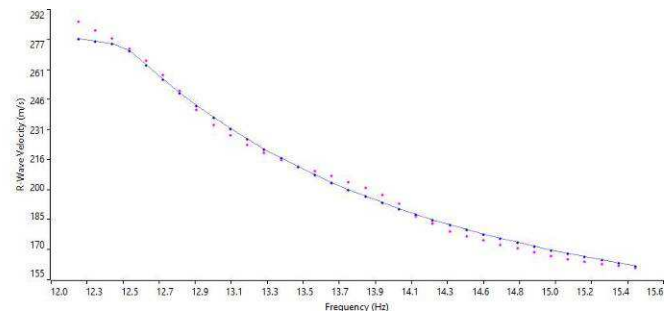
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_1_10/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.35



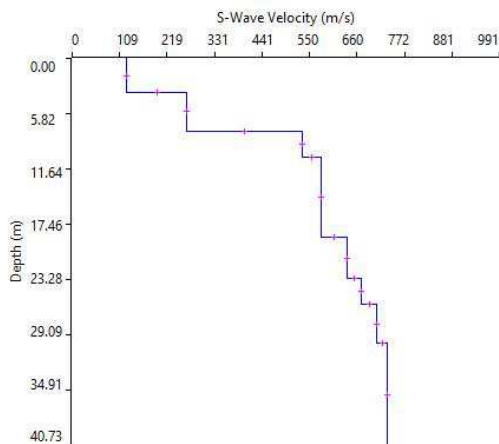
**Sismogramma MASW\_1-10-12-16**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
375	B

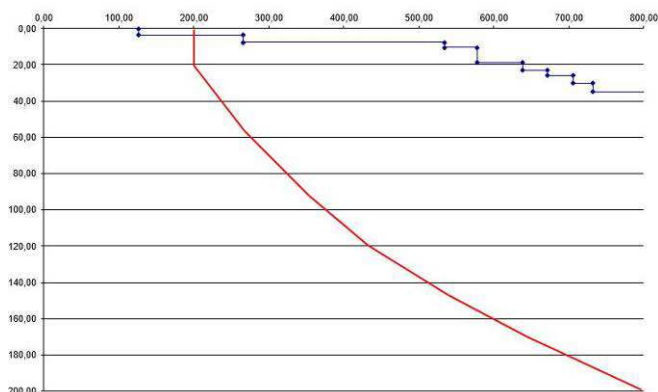
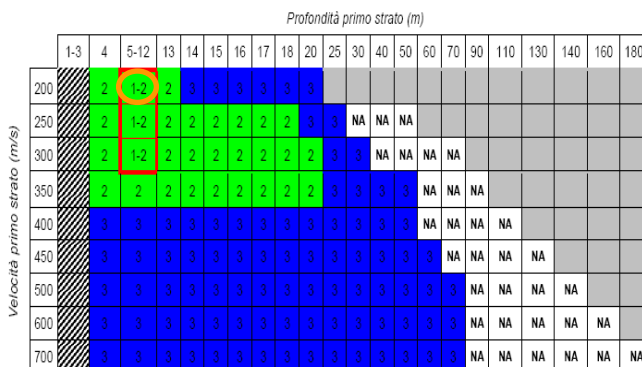
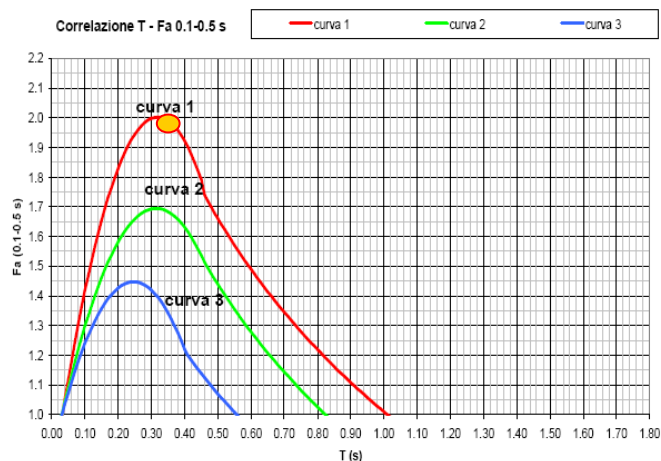


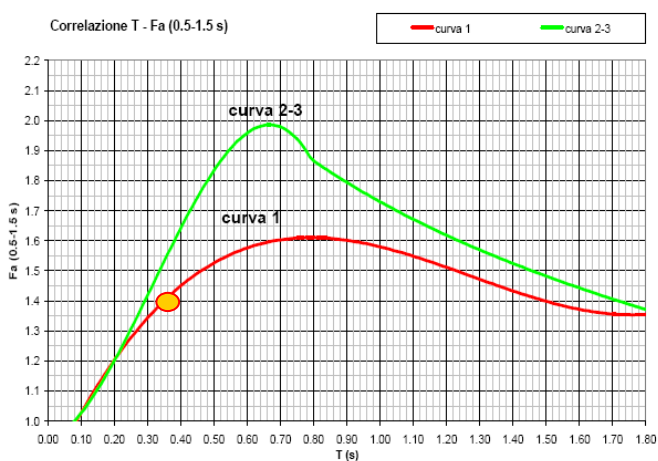
Gráfico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



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

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.341	1.99	1.4

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



MASW 1\_10-12-16-Panoramica verso S

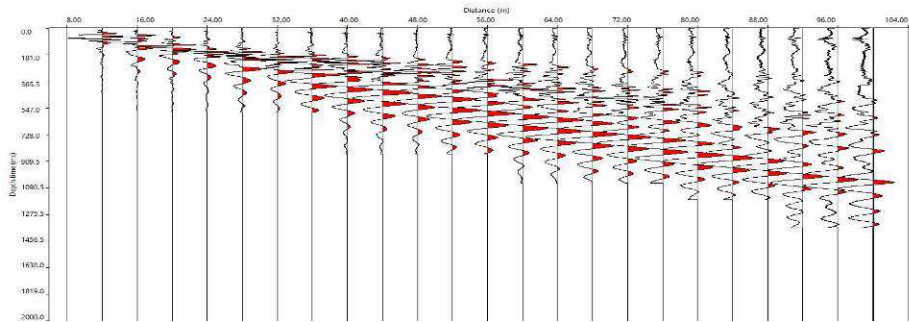


MASW 1\_10-12-16-Panoramica verso N

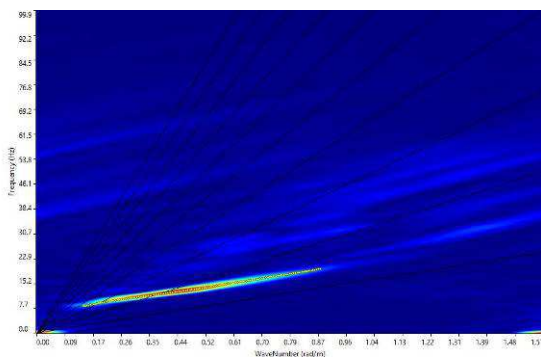


**MASW\_2-10-12-16**

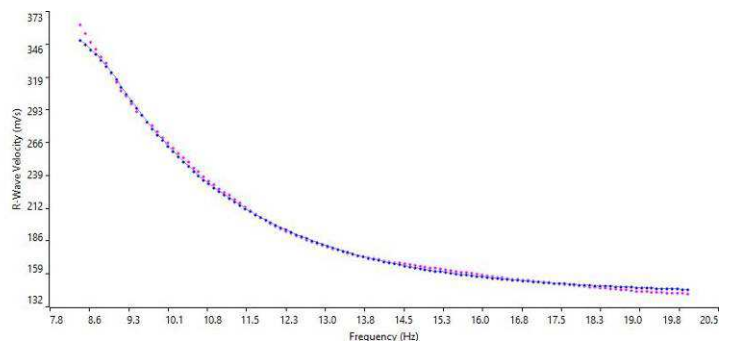
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_2_10/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.32



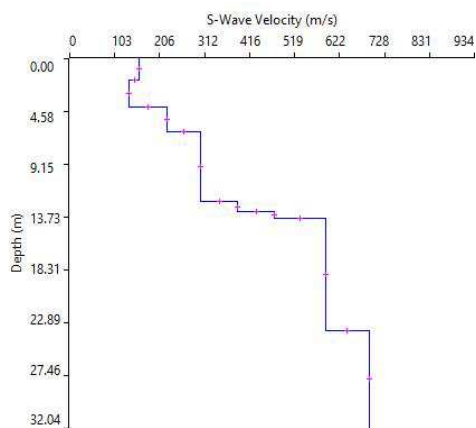
**Sismogramma MASW\_2-10-12-16**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
343	C



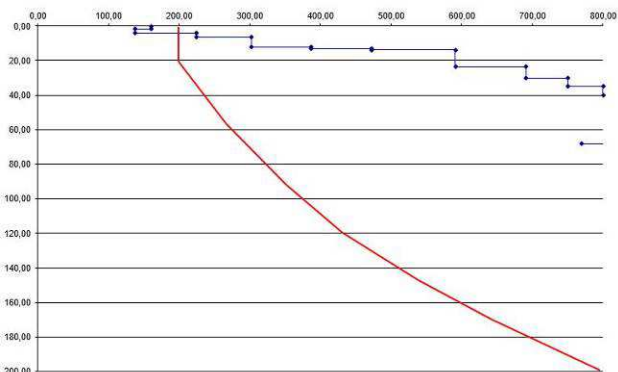
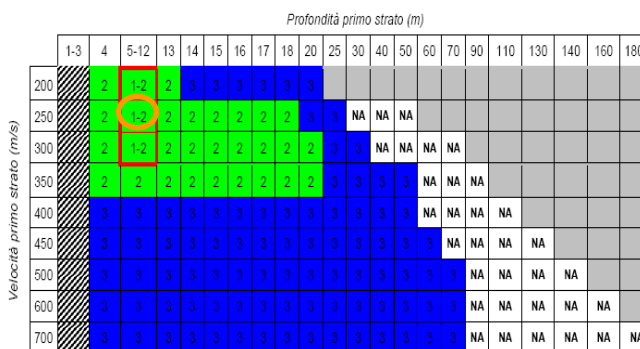
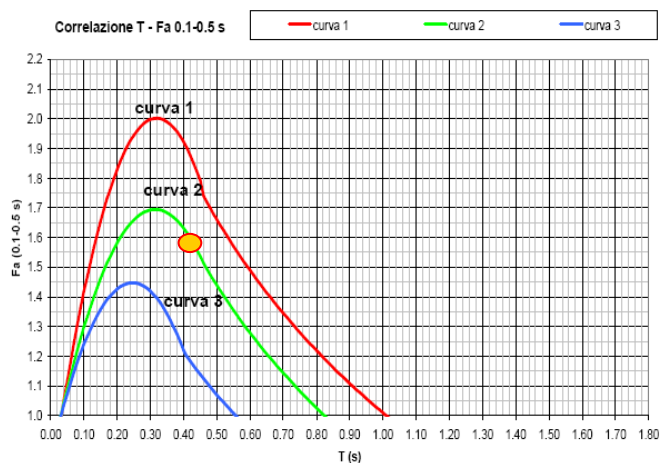


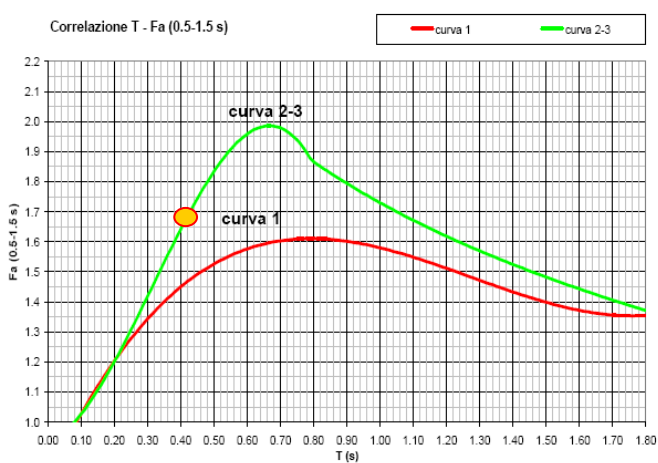
Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



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

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.426	1.58	1.69

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



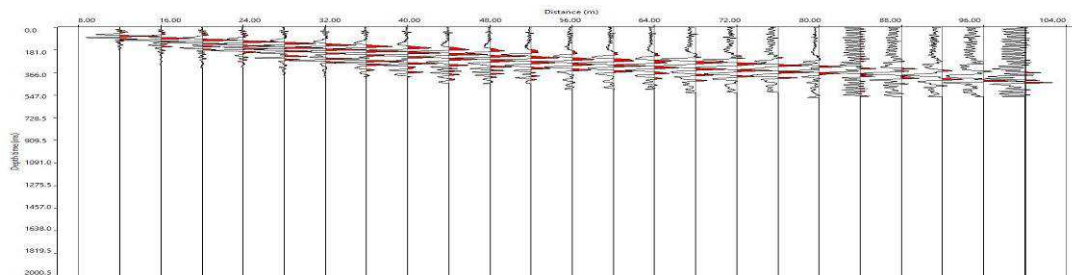
MASW 2\_10-12-16-Panoramica verso W



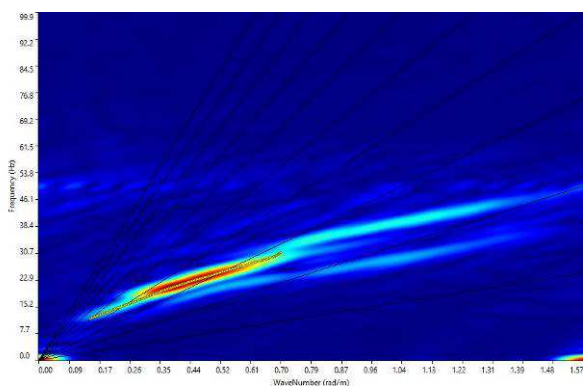
MASW 2\_10-12-16-Panoramica verso E

**MASW\_3-10-12-16**

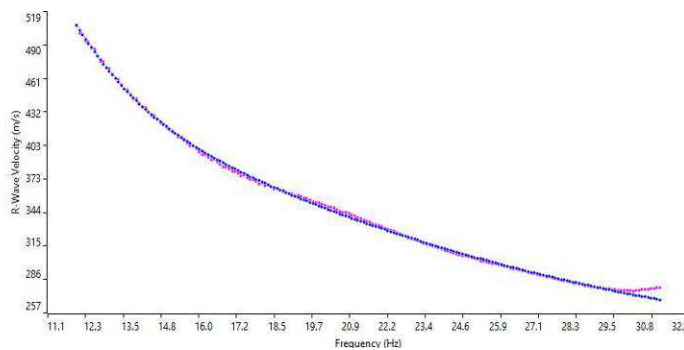
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_3_10/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.39



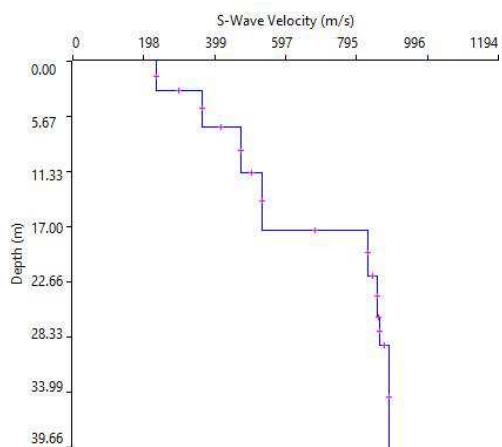
**Sismogramma MASW\_3-10-12-16**



**Spettro F/K**

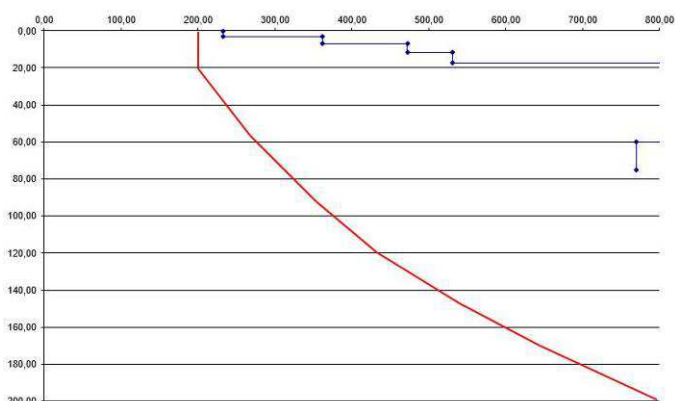


**Curva di dispersione**

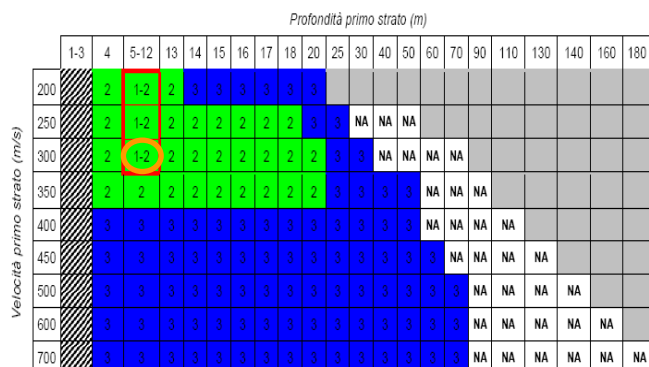


**Profilo di Velocità**

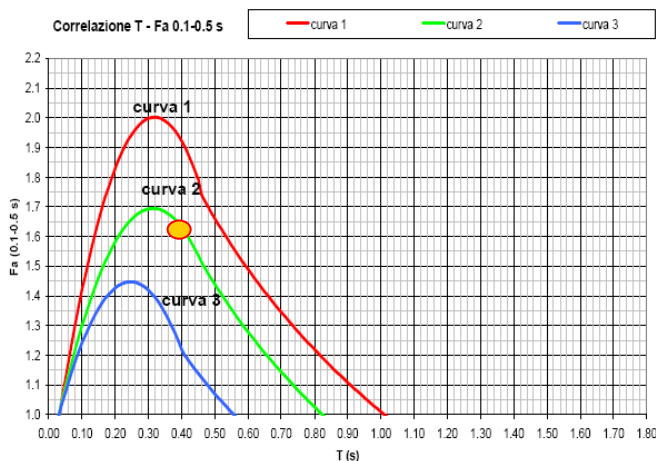
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
506	B



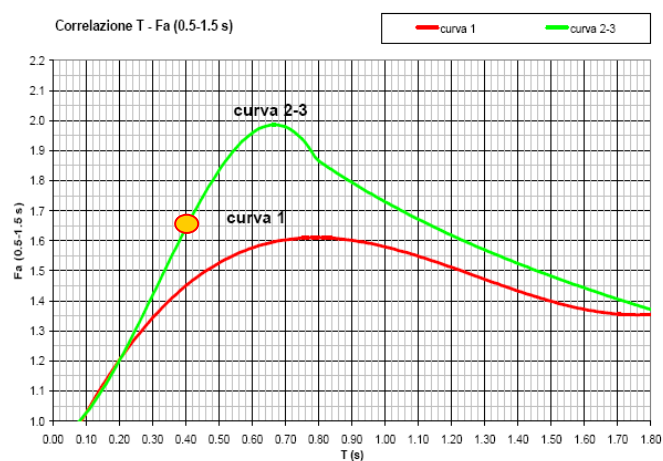
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.409	1.61	1.65

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1





MASW 3\_10-12-16-Panoramica verso S

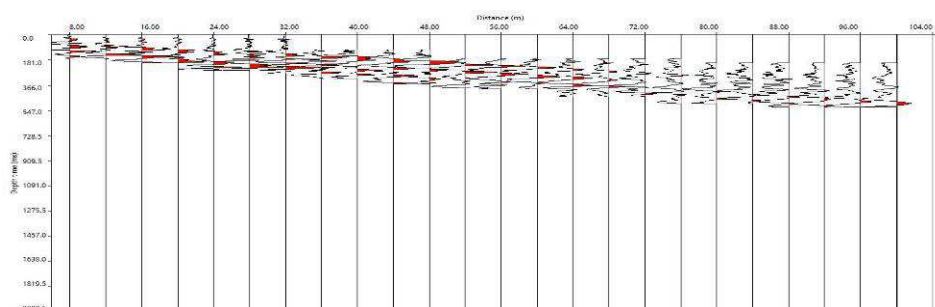


MASW 3\_10-12-16-Panoramica verso N

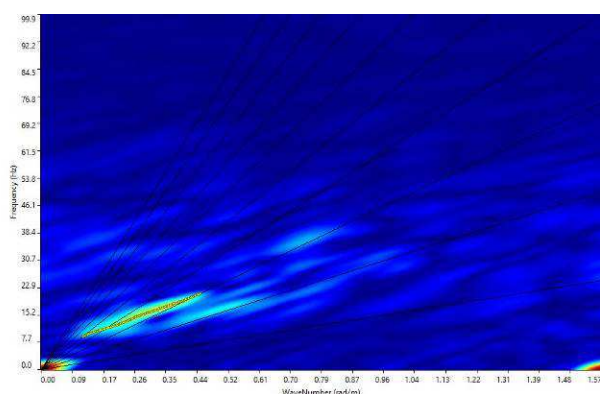


**MASW\_4-10-12-16**

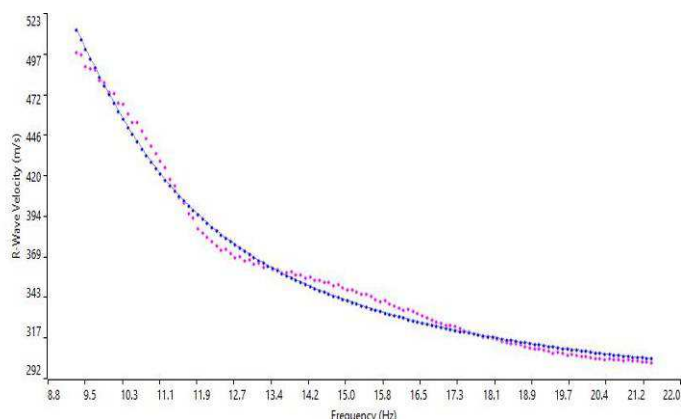
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_4_10/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.32



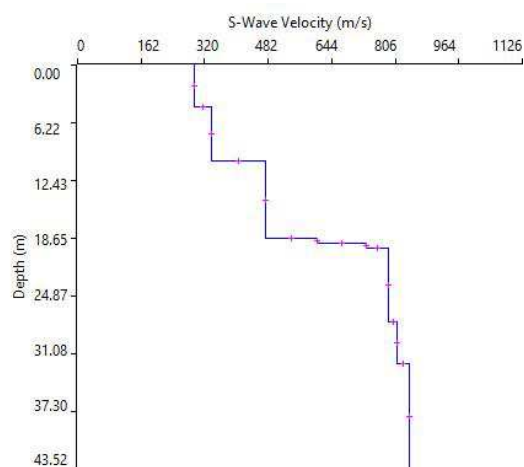
**Sismogramma MASW\_4-10-12-16**



**Spettro F/K**

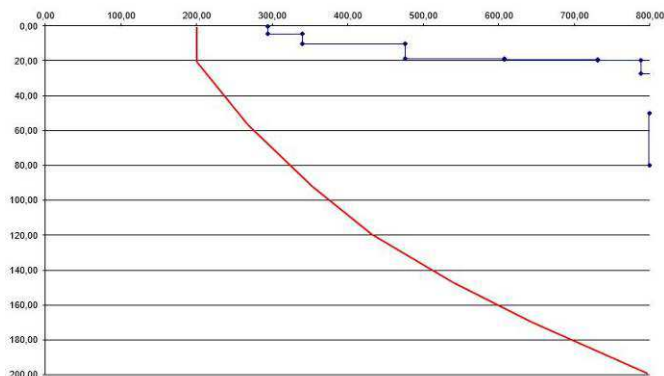


**Curva di dispersione**

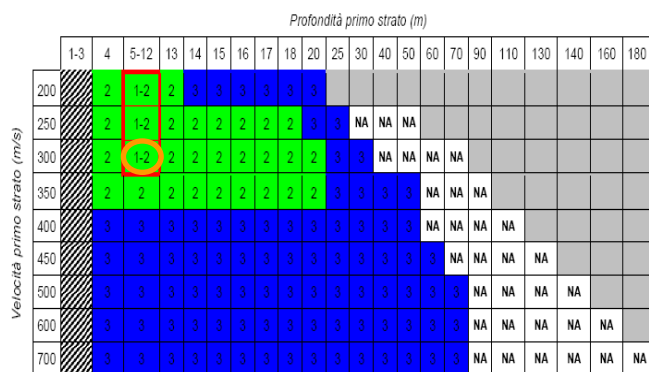


**Profilo di Velocità**

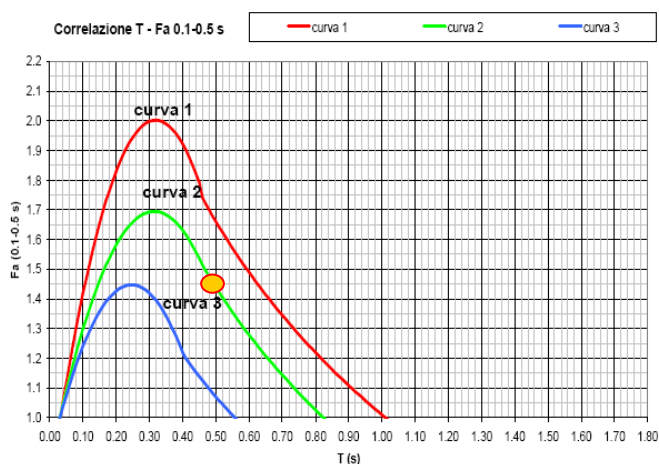
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
465	B



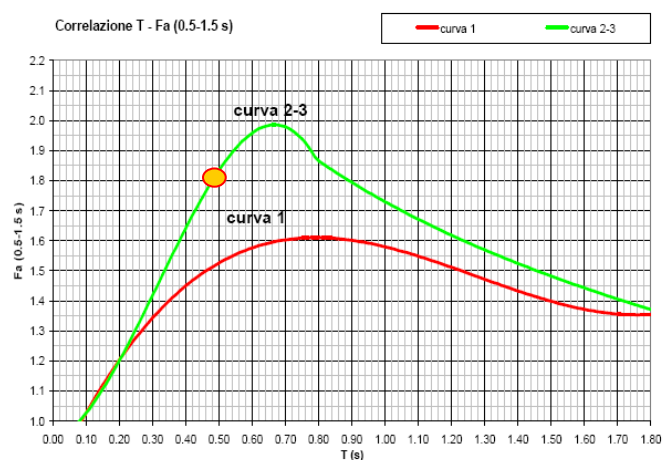
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.496	1.44	1.82

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



MASW 4\_10-12-16-Panoramica verso W

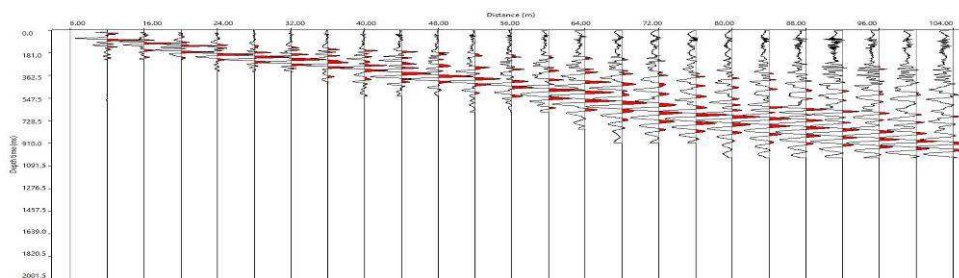


MASW 4\_10-12-16-Panoramica verso E

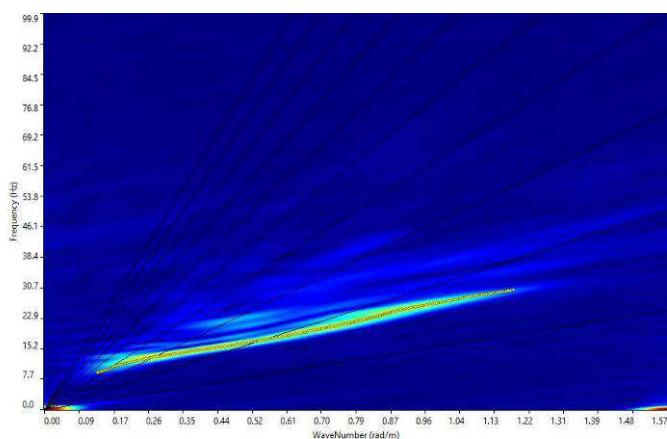


**MASW\_5-10-12-16**

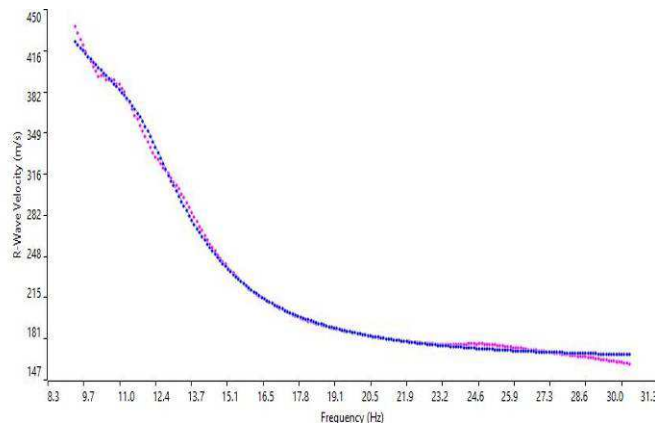
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_5_10/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.32



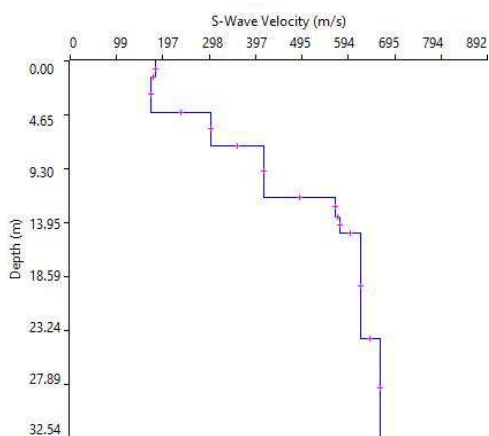
**Sismogramma MASW\_5-10-12-16**



**Spettro F/K**

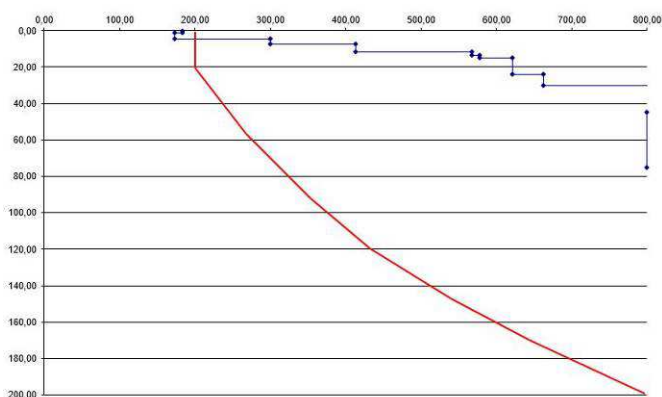


**Curva di dispersione**

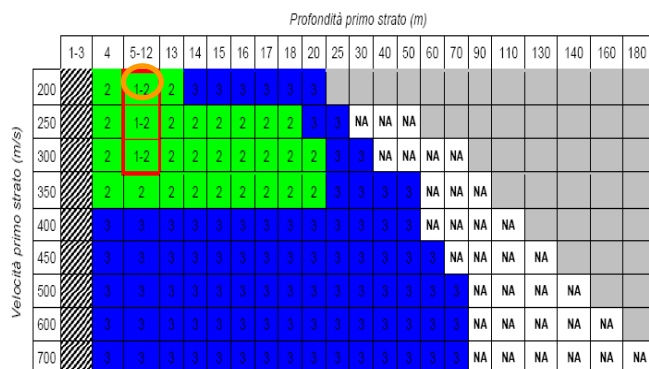


**Profilo di Velocità**

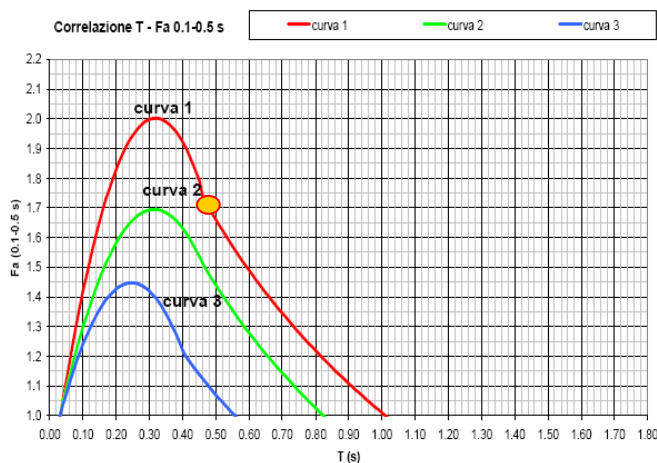
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
401	B



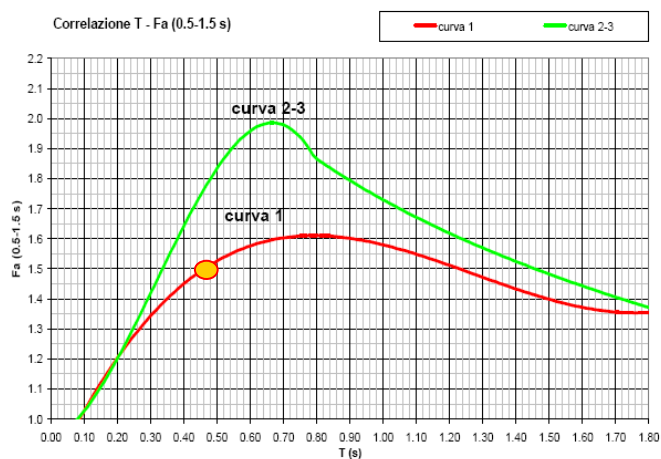
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.473	1.71	1.50

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1





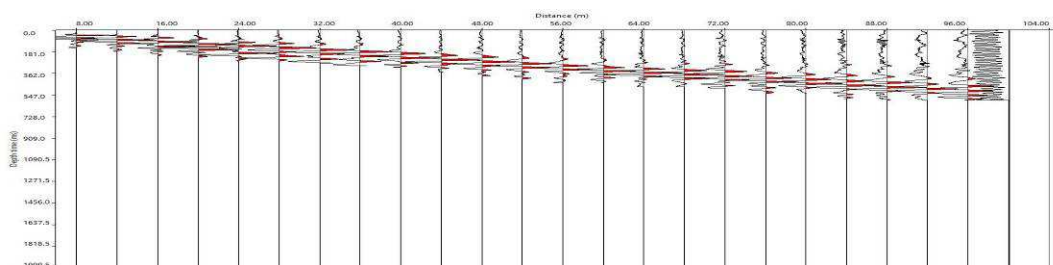
MASW 5\_10-12-16-Panoramica verso N



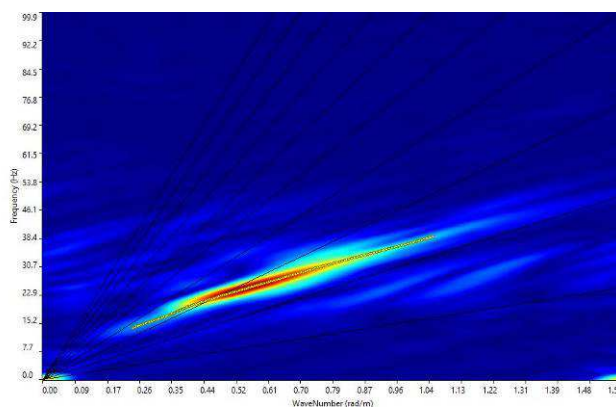
MASW 5\_10-12-16-Panoramica verso S

**MASW\_6-15-12-16**

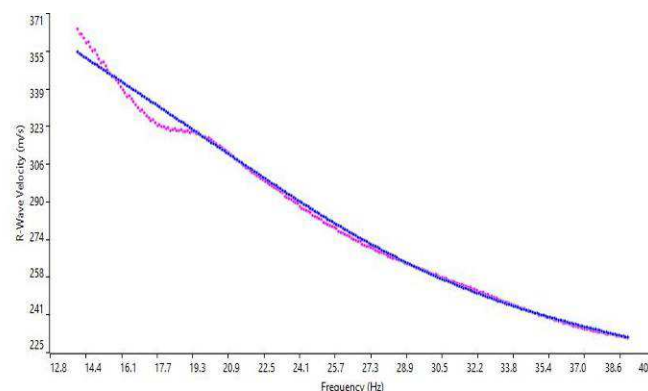
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_6_15/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.36



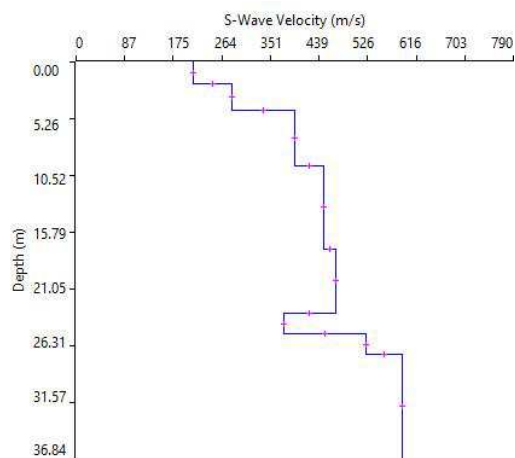
Sismogramma MASW\_6-15-12-16



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
401	B

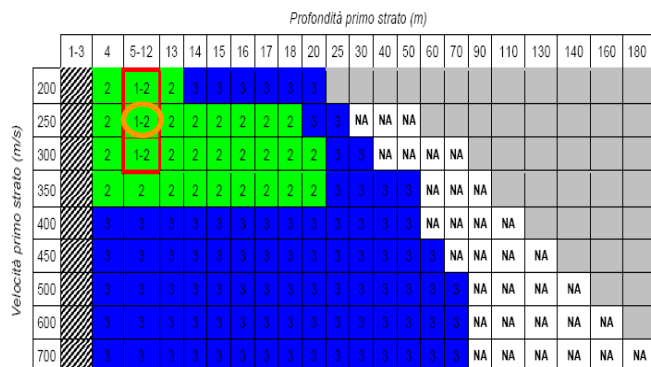
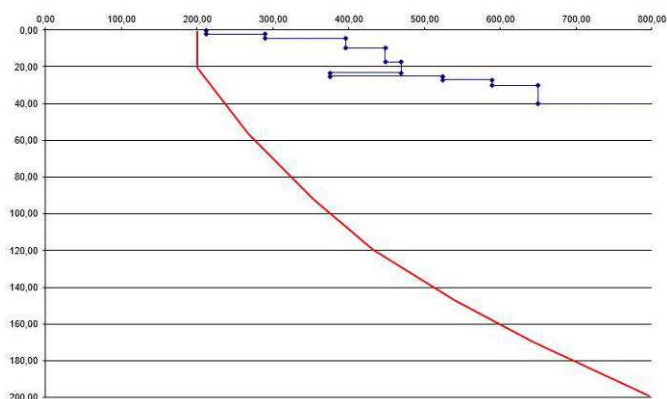
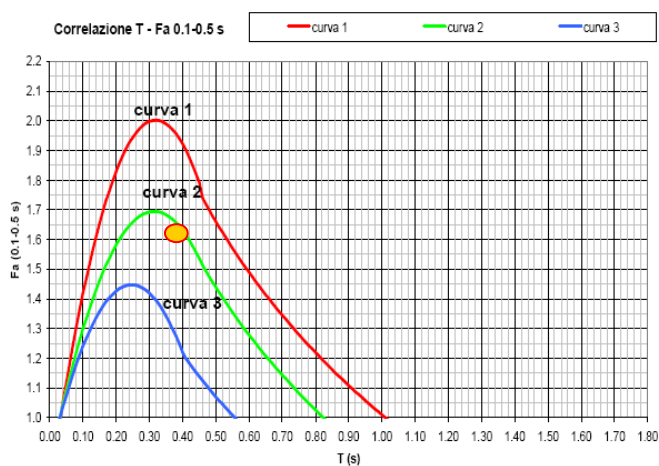
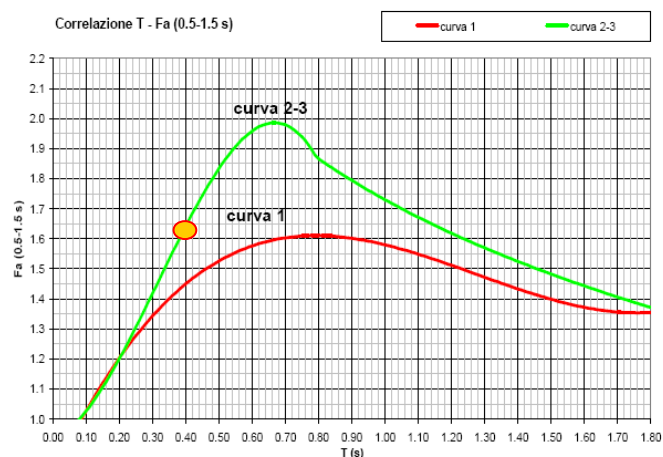


Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"

Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



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

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.396	1.63	1.63

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1





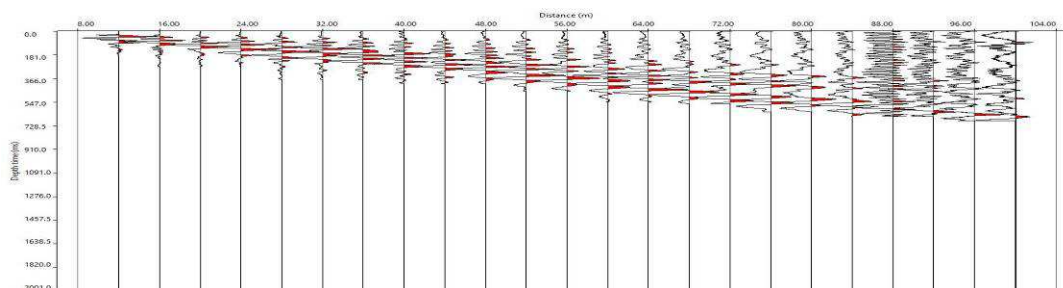
MASW 6\_15-12-16-Panoramica verso S



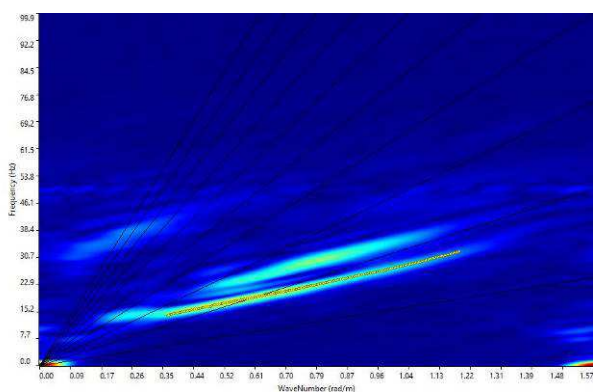
MASW 6\_15-12-16-Panoramica verso S-Dettaglio

**MASW\_7-15-12-16**

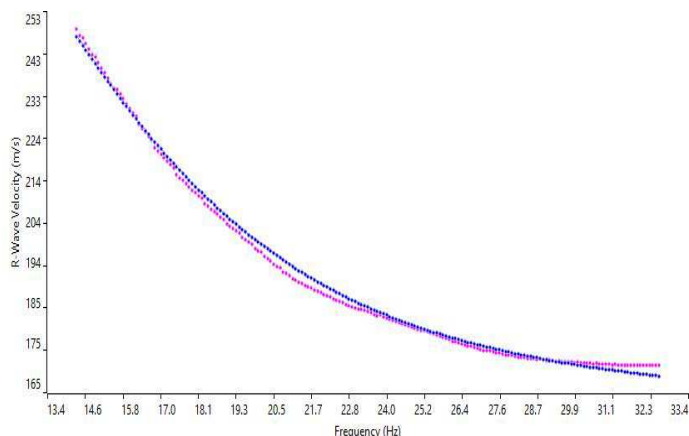
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_7_15/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.32



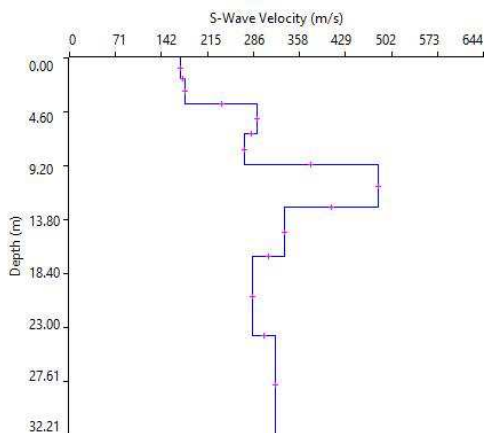
**Sismogramma MASW\_7-15-12-16**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
288	C



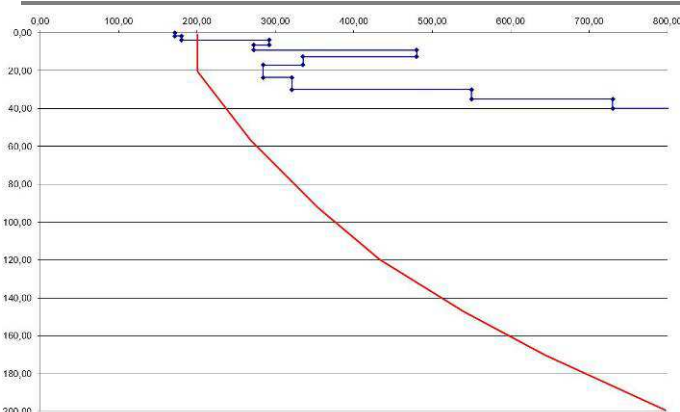
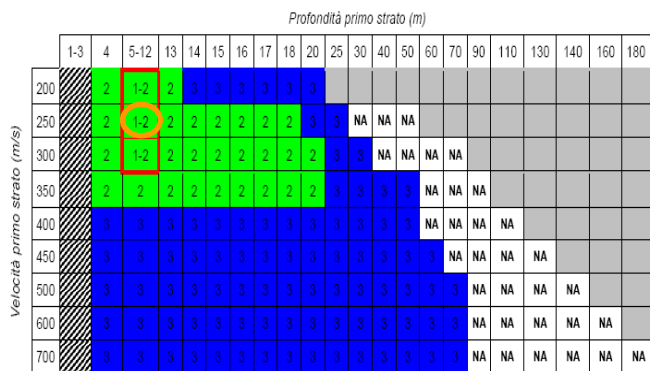
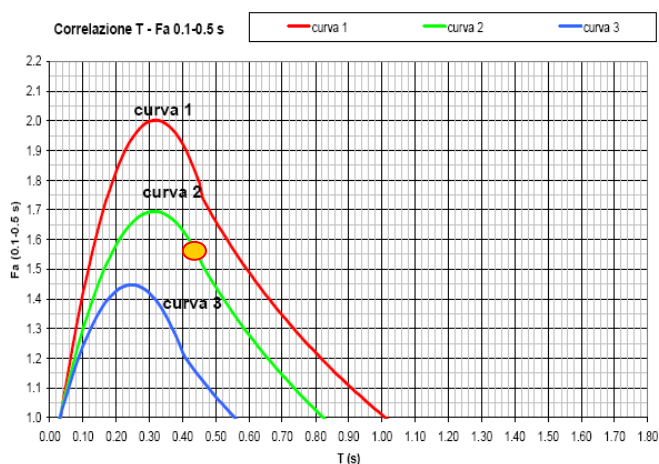


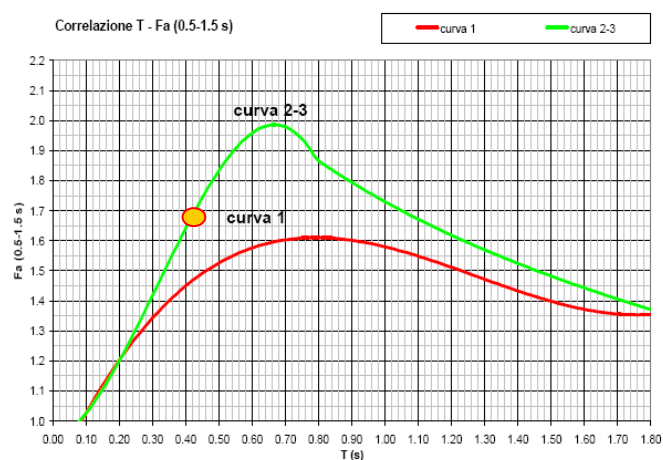
Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



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

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.424	1.59	1.69

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

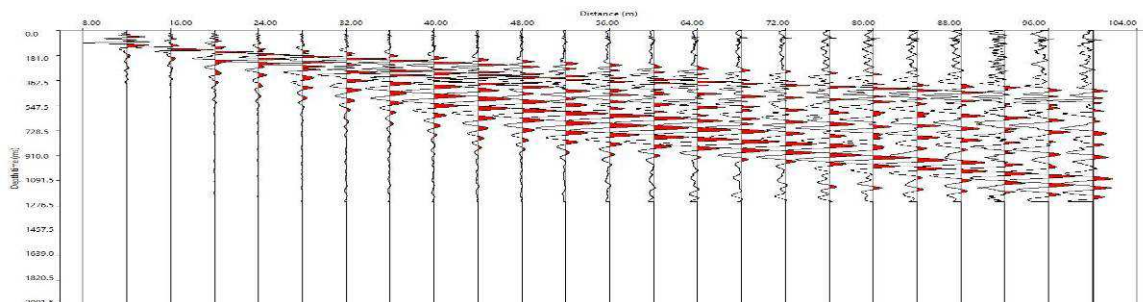
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



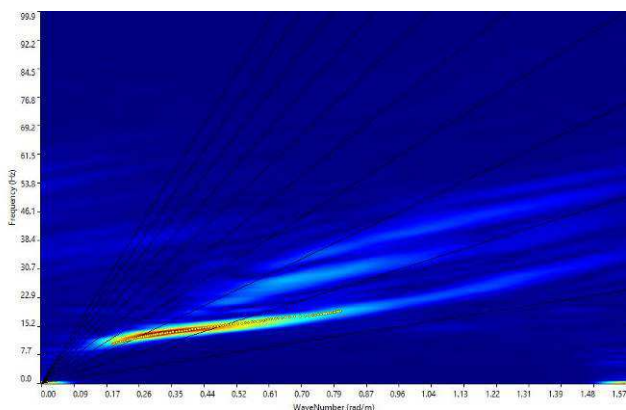
MASW 7\_15-12-16-Panoramica verso NW

**MASW\_8-15-12-16**

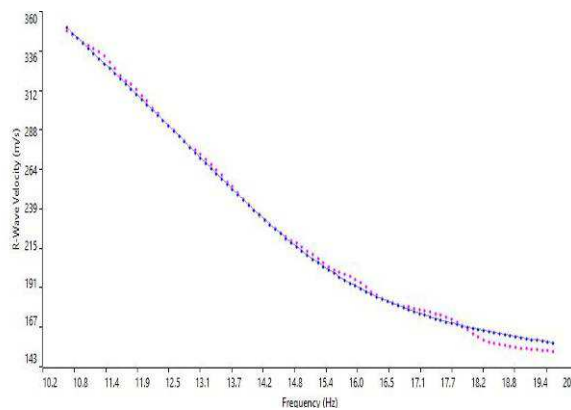
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_8_15/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.31



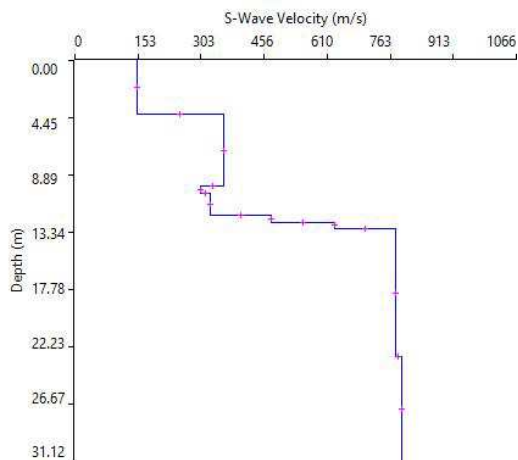
**Sismogramma MASW\_8-15-12-16**



**Spettro F/K**

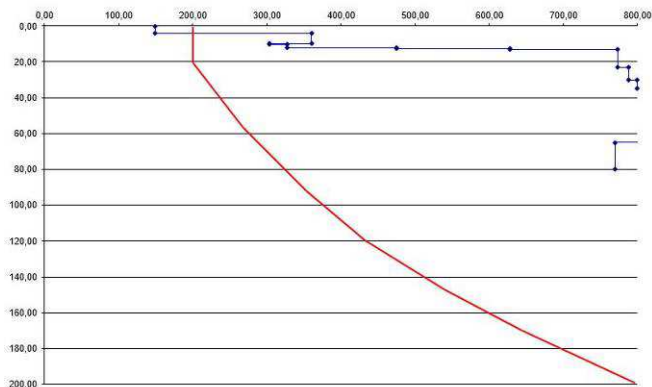


**Curva di dispersione**

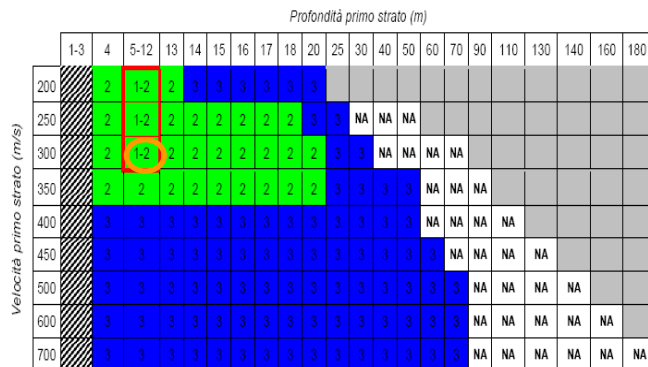


**Profilo di Velocità**

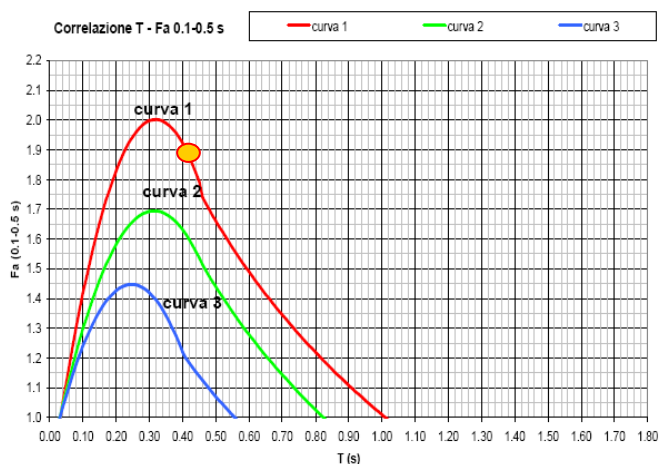
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
404	B



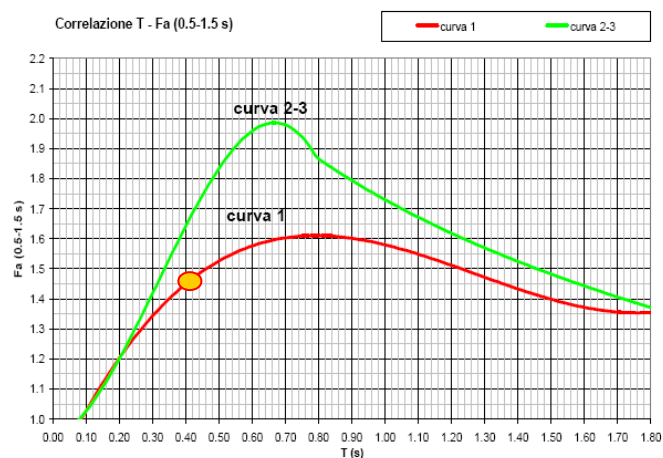
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.411	1.89	1.45

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



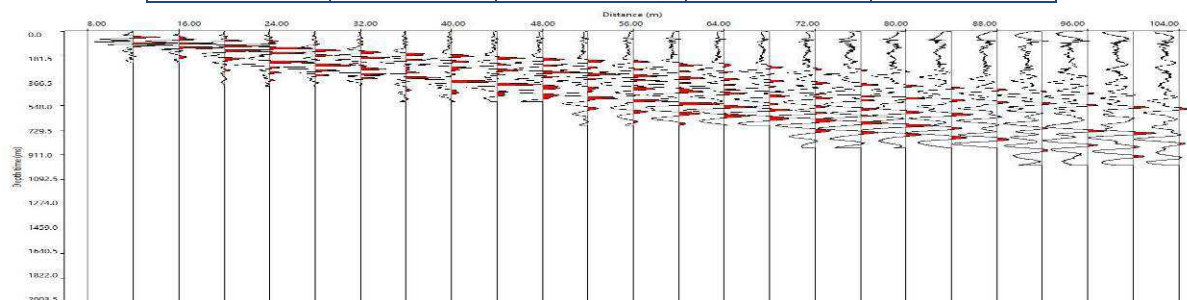


MASW 8\_15-12-16-Panoramica verso W

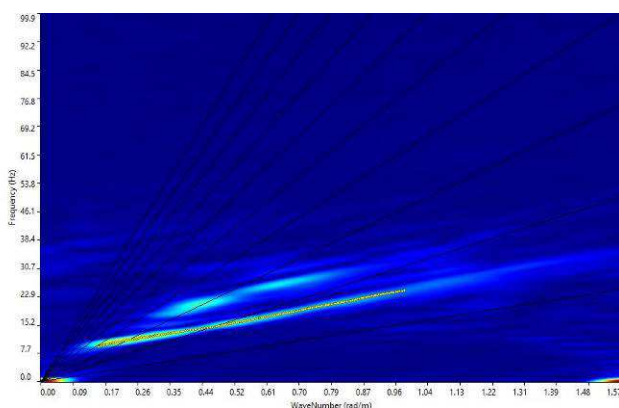


**MASW\_9-15-12-16**

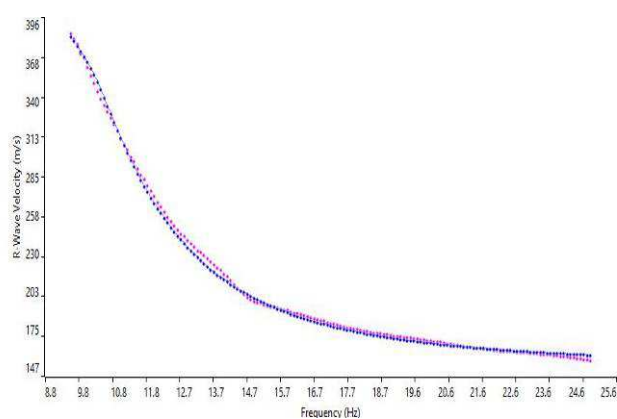
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_9_15/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.37



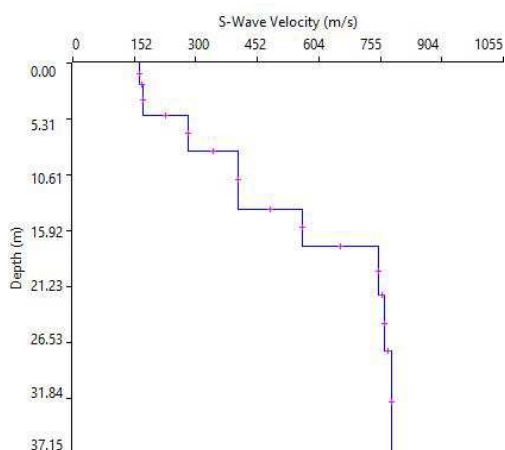
**Sismogramma MASW\_9-15-12-16**



**Spettro F/K**

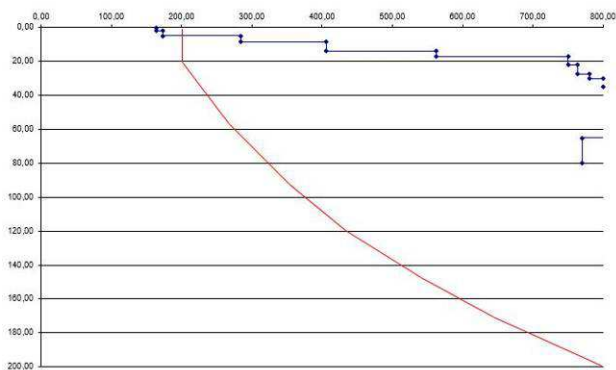


**Curva di dispersione**

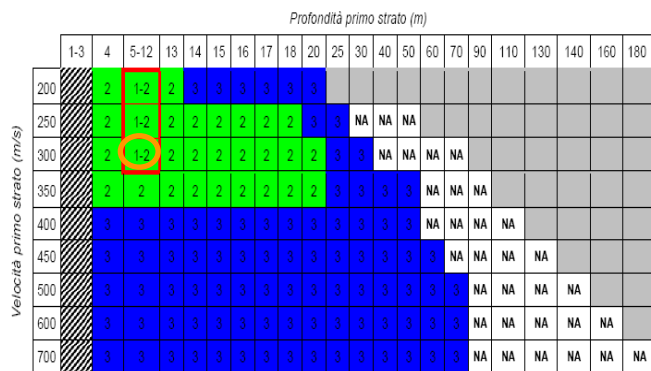


**Profilo di Velocità**

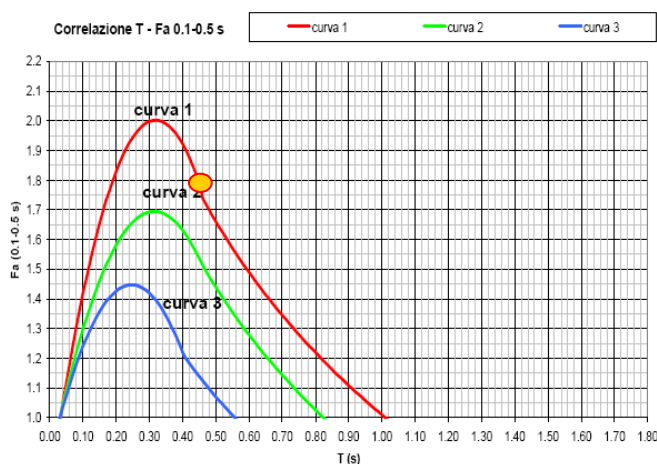
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
387	B



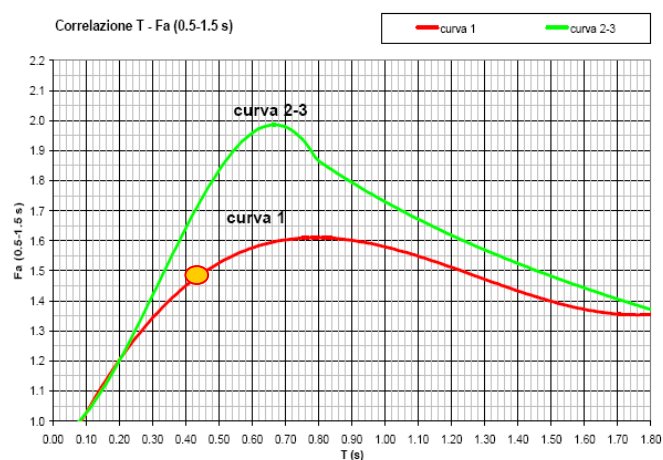
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.444	1.81	1.48

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

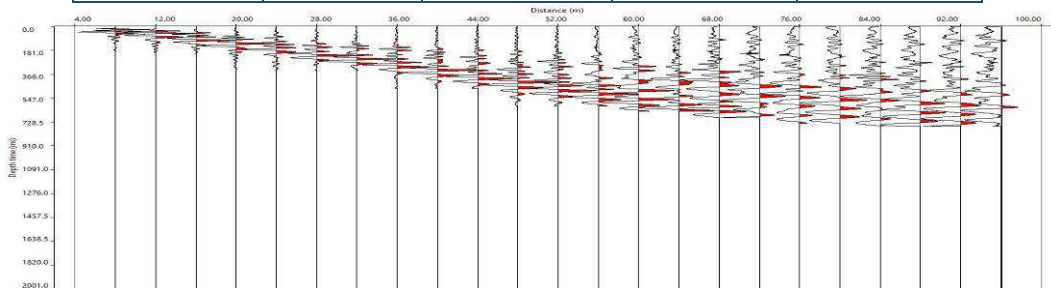
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



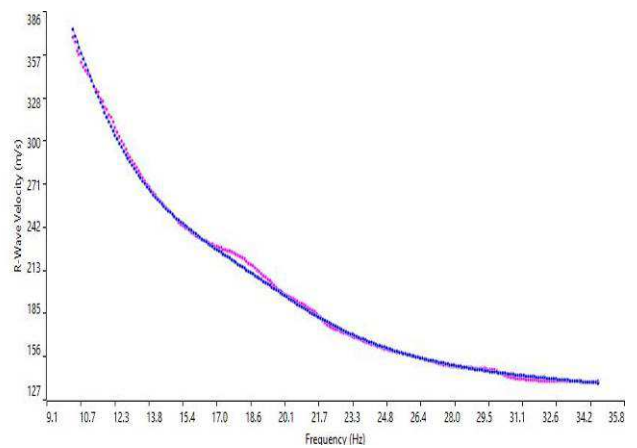
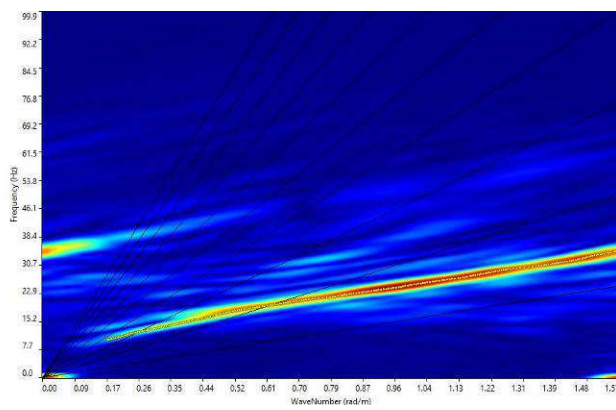
MASW 9\_15-12-16-Panoramica verso S

**MASW\_10/ REMI\_1-23-12-16**

Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_10_23/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.30

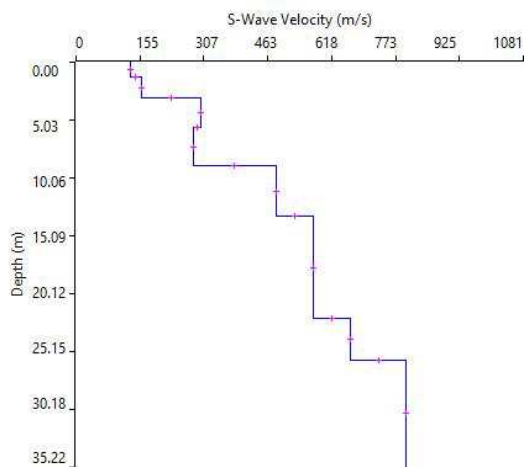


**Sismogramma MASW\_10-23-12-16**



**Spettro F/K**

**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
391	B

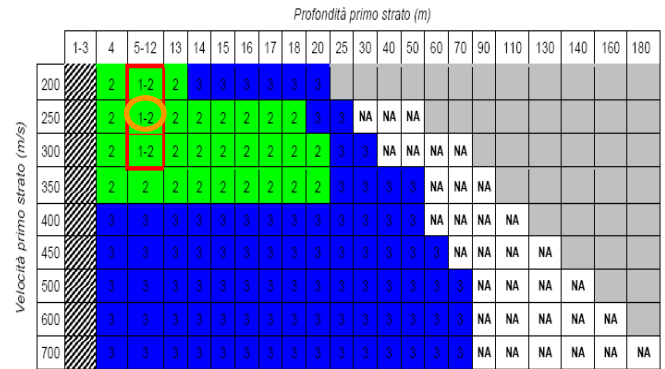
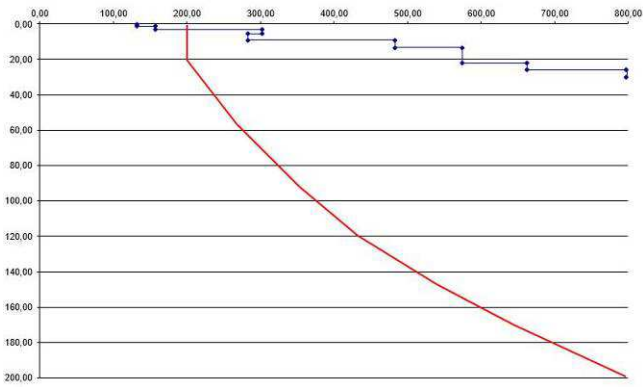
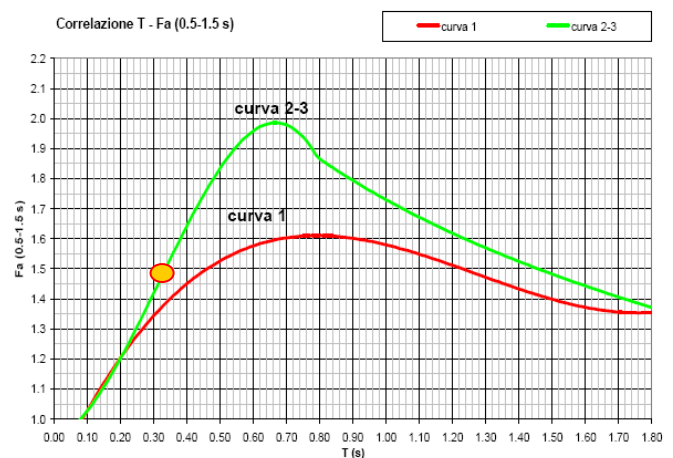
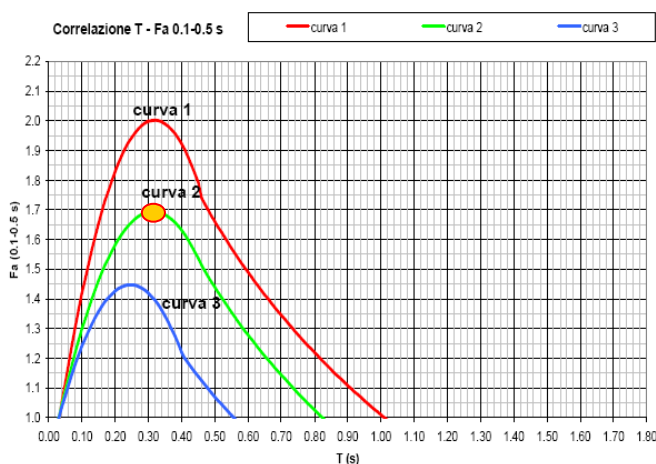


Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"

Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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

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

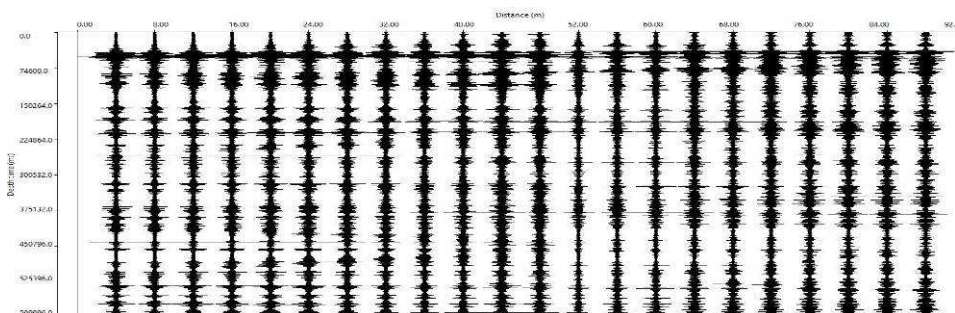
Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.323	1.69	1.47

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

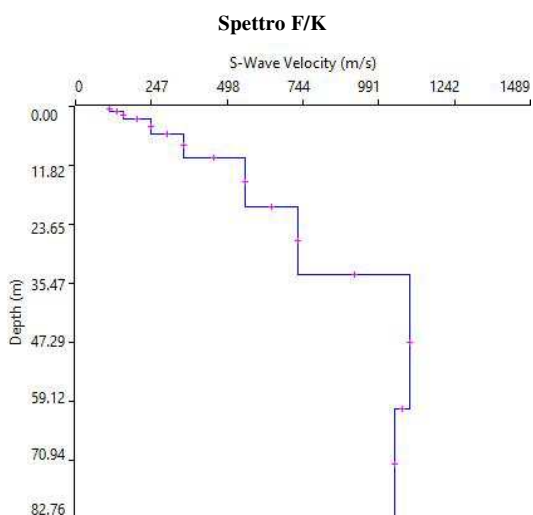
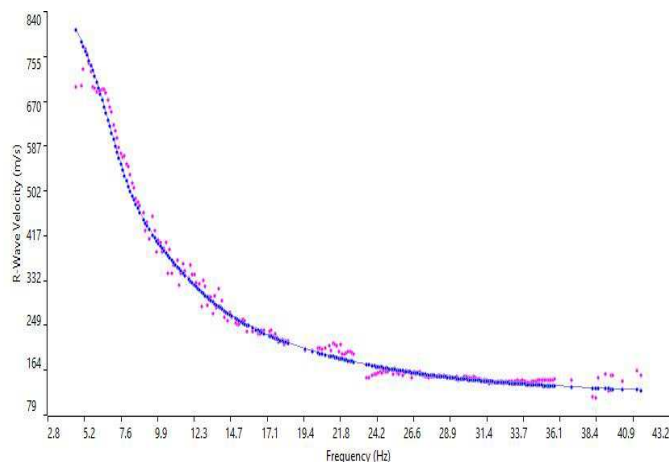
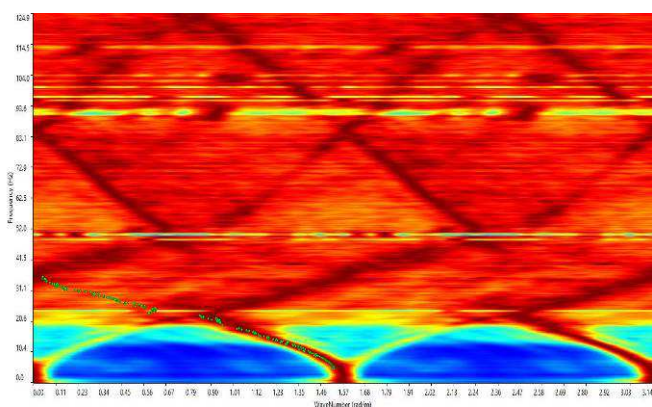
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_1_23/12/16	4	-	92	Ca.82



Sismogramma REMI\_1-23-12-16



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
397	B



MASW 10/ REMI 1\_13-09-16-Panoramica verso NE

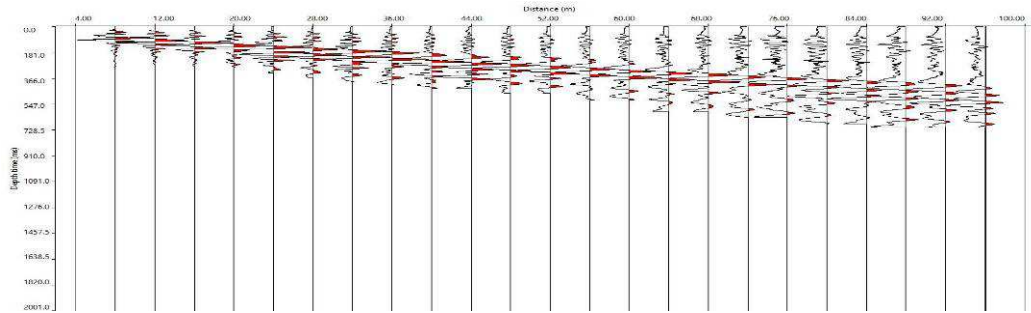


MASW 10/ REMI 1\_13-09-16-Panoramica verso SW

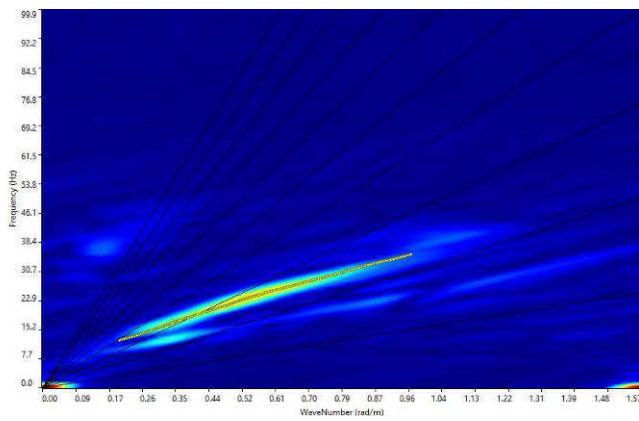


**MASW\_11/ REMI\_2-23-12-16**

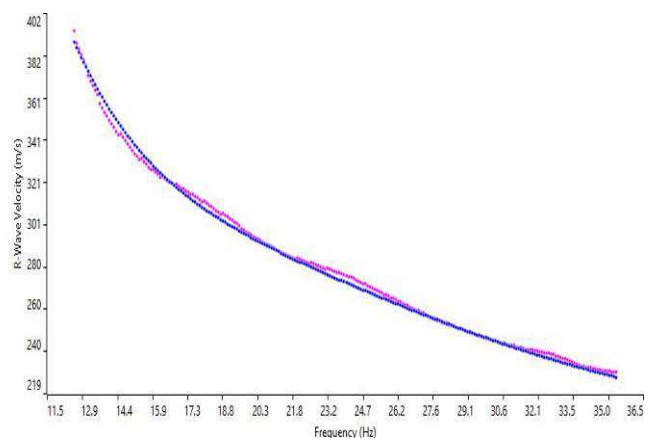
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_11_23/12/16	4	+/- 4-8	92	Ca.30



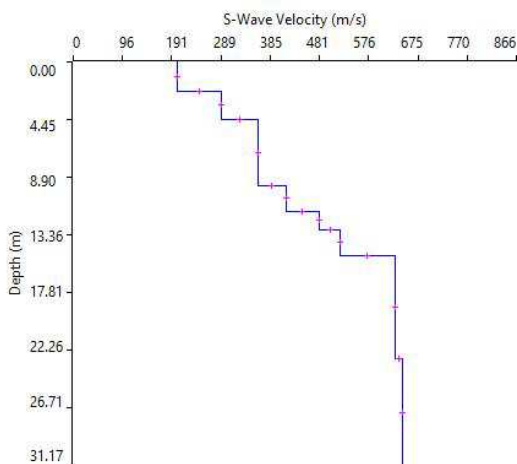
**Sismogramma MASW\_11-23-12-16**



**Spettro F/K**

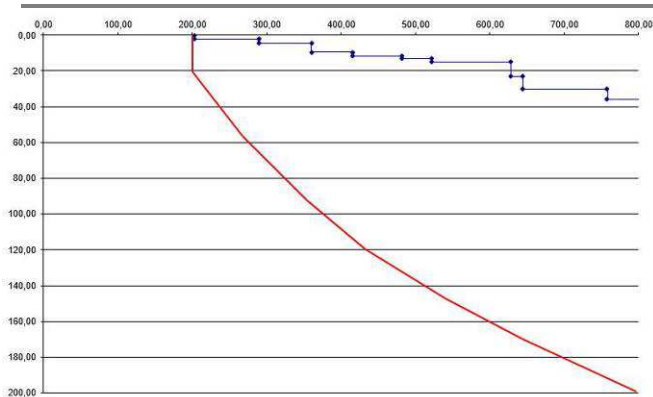


**Curva di dispersione**

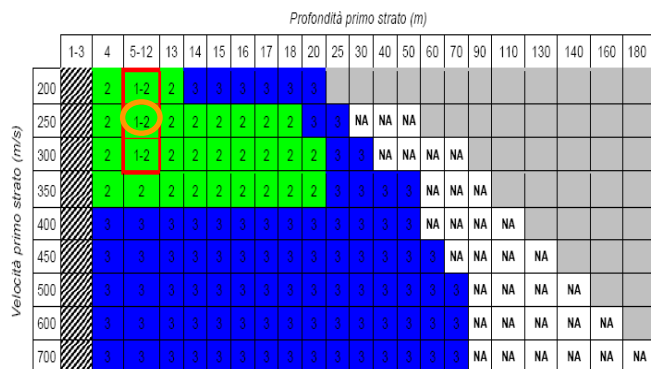


**Profilo di Velocità**

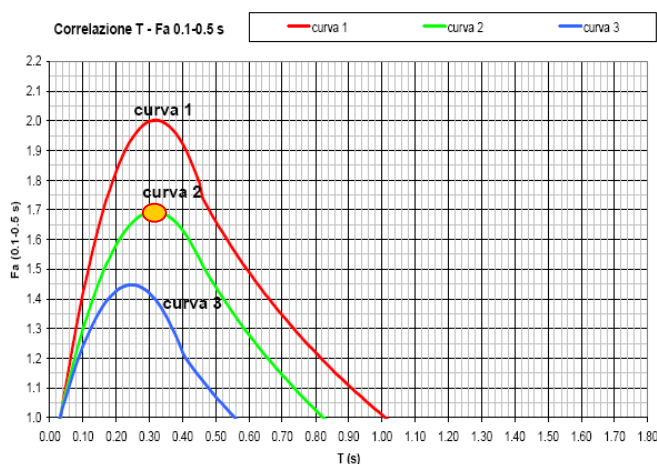
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
442	B



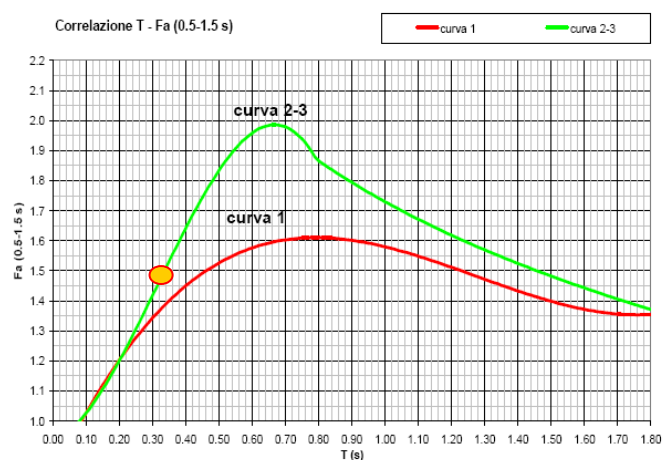
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



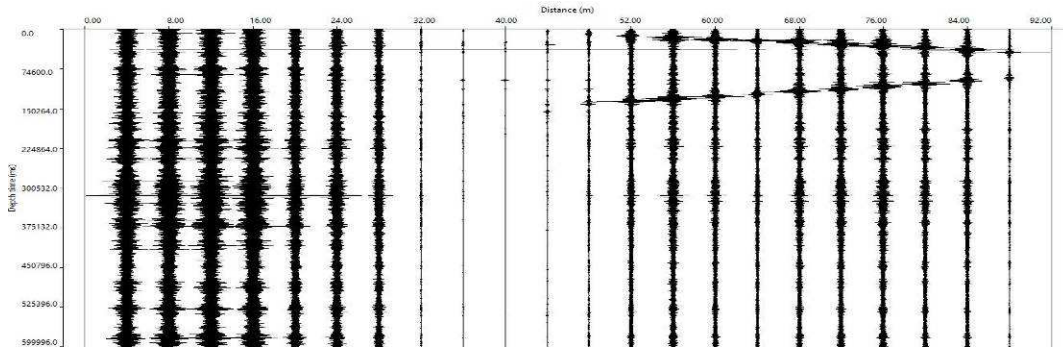
**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.337	1.69	1.5

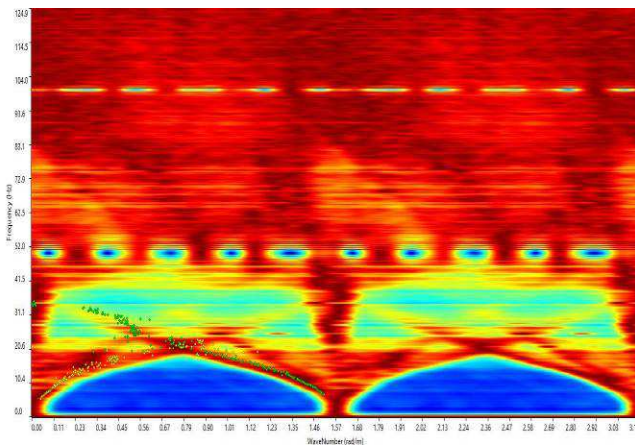
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

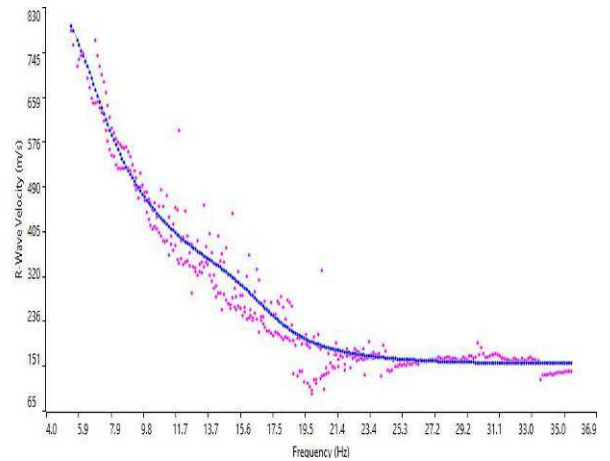
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_2_23/12/16	4	-	92	Ca.90



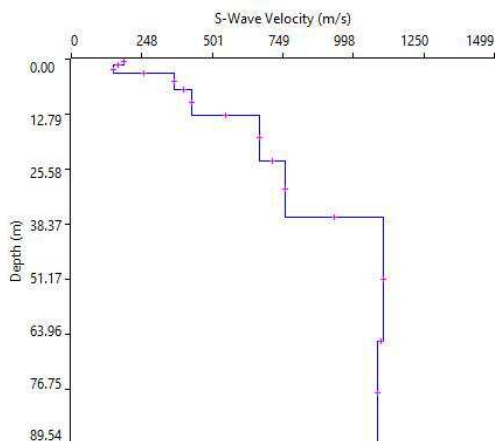
Sismogramma REMI\_2-23-12-16



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
431	B





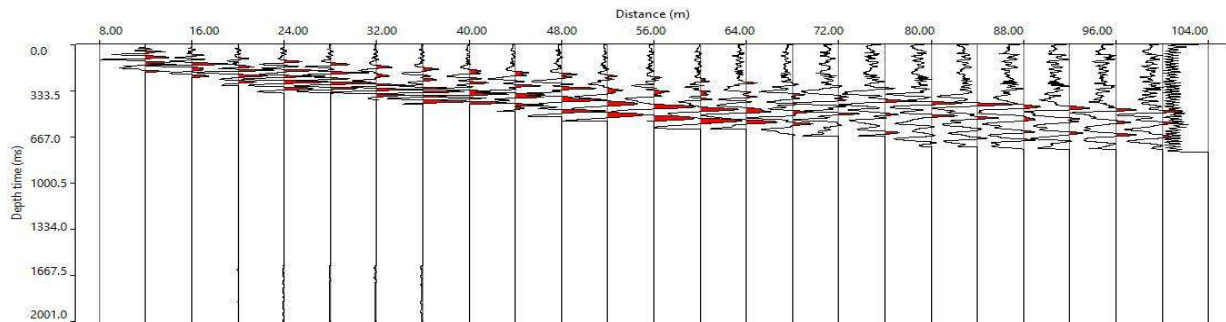
MASW 11/REMI 2\_23-12-16-Panoramica verso S



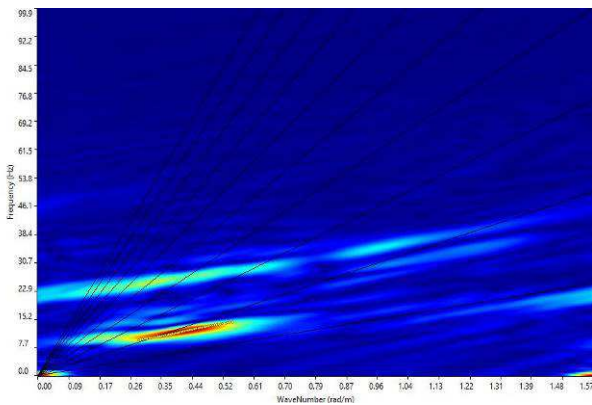
MASW 11/REMI 2\_23-12-16-Panoramica verso N

**MASW\_12/REMI 3\_04-01-17**

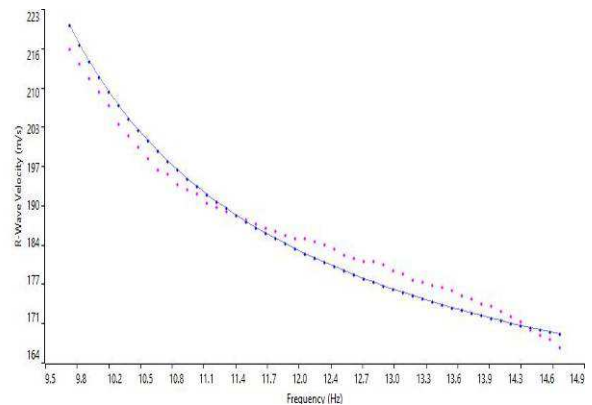
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_12_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.30



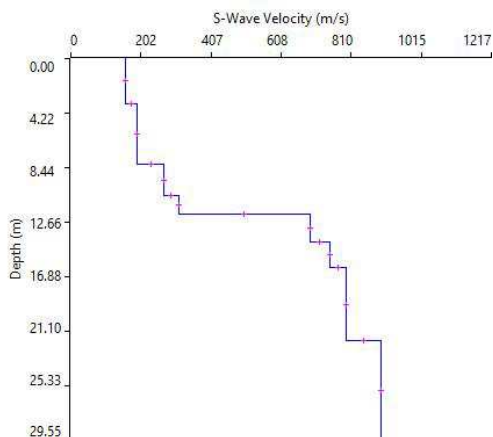
**Sismogramma MASW\_12-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
365	B



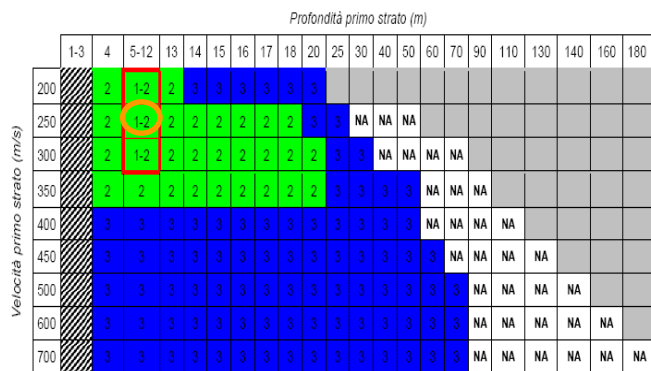
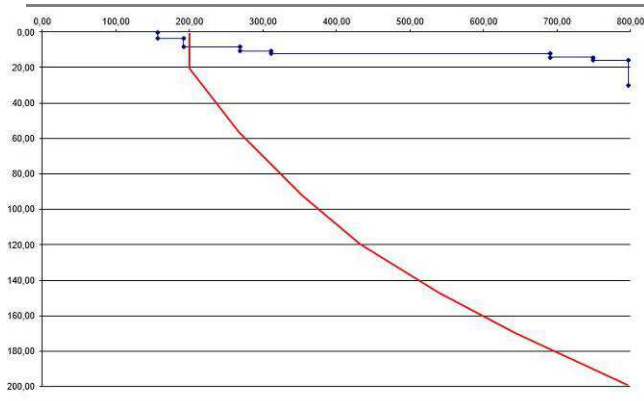
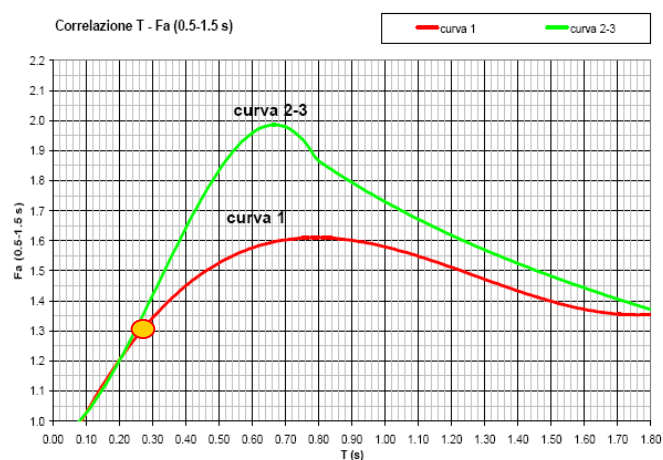
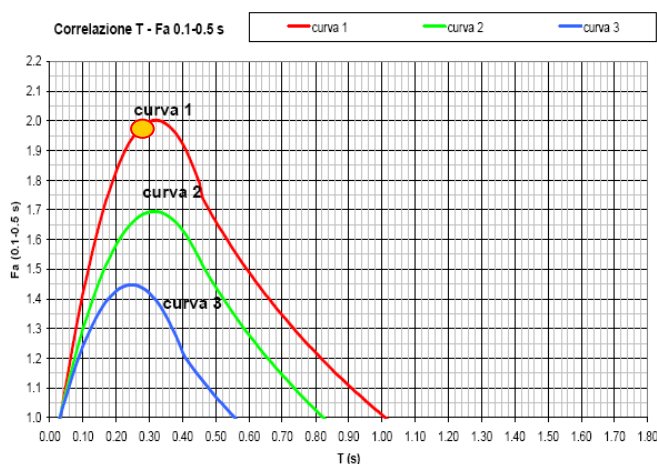


Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"

Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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

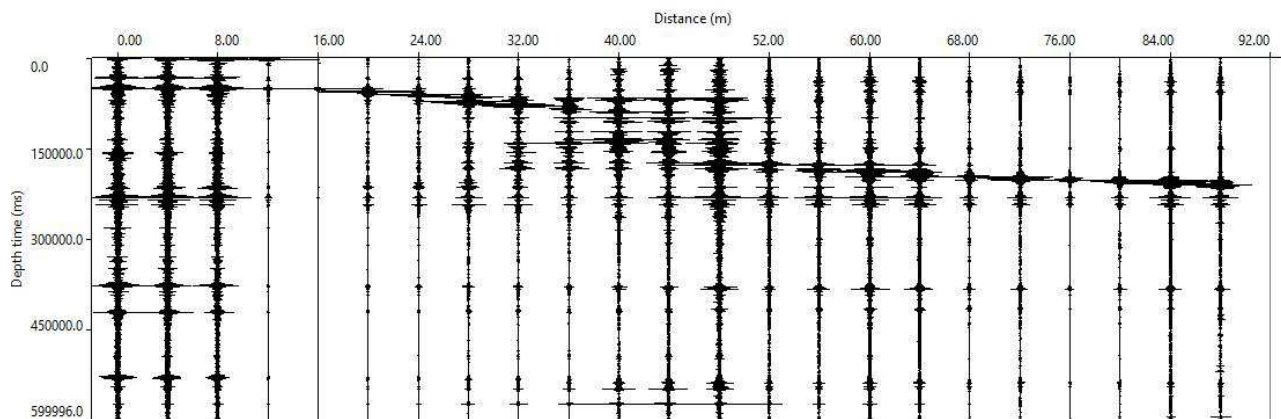
Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.281	1.98	1.31

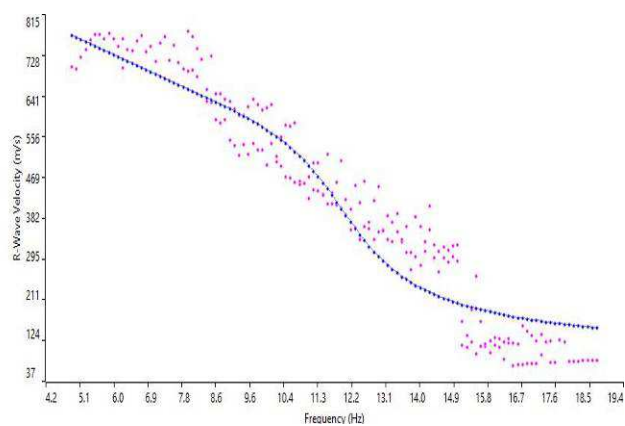
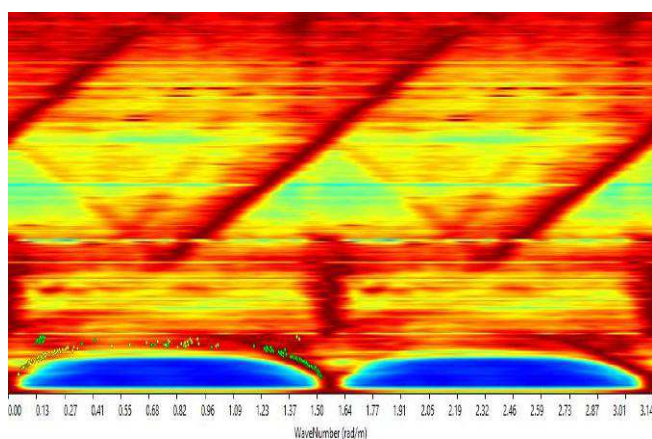
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_3_04/01/17	4	-	92	Ca.75

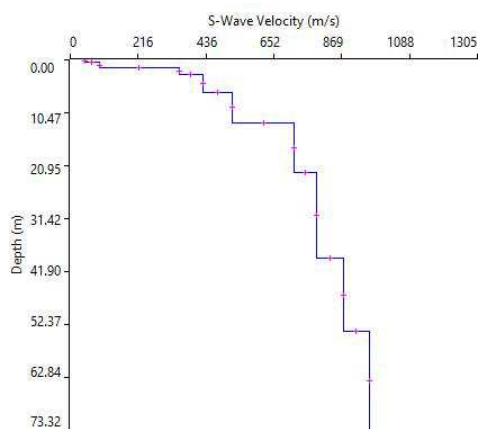


Sismogramma REMI\_3-04-01-17



Spettro F/K

Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
427	B



MASW 12/REMI 4\_04-01-17-Panoramica verso SE

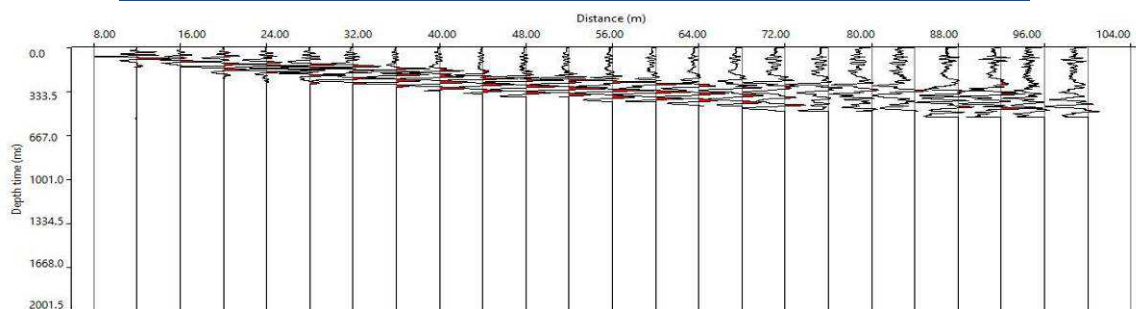


MASW 12/REMI 4\_04-01-17-Panoramica verso NW

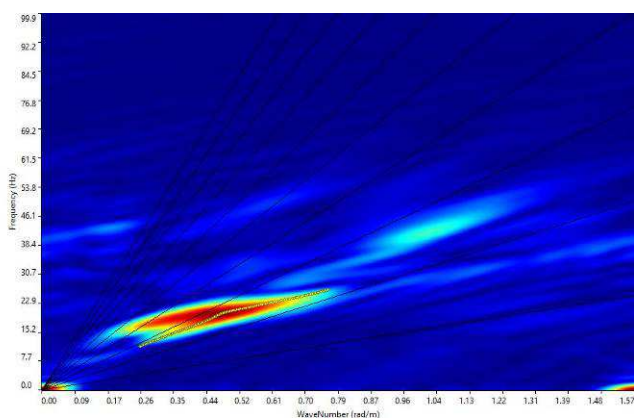


**MASW\_13/REMI\_4-04-01-17**

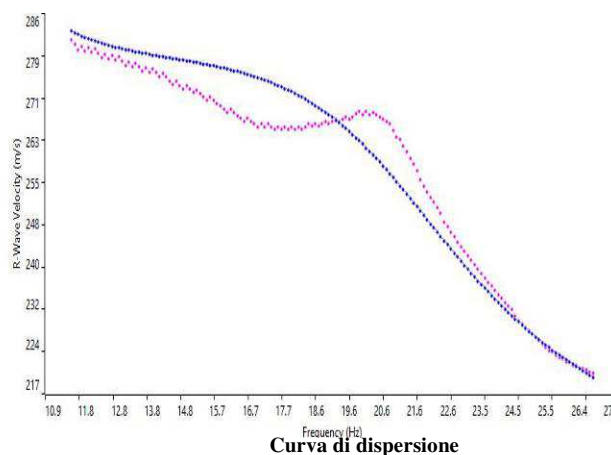
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_13_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.38



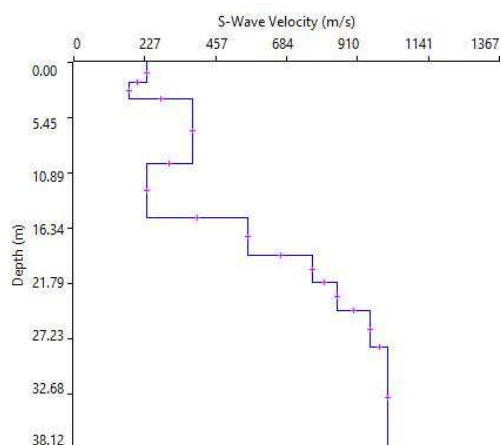
**Sismogramma MASW\_13-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
395	B

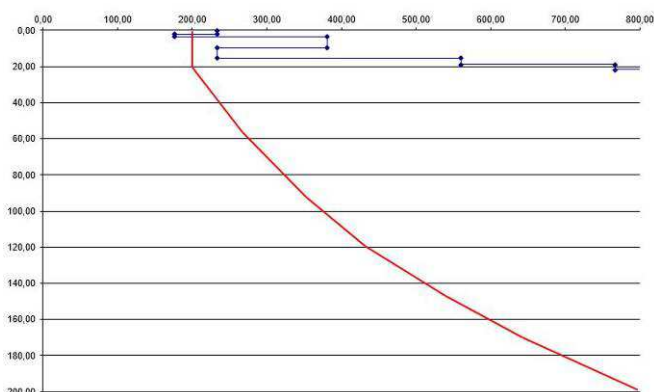
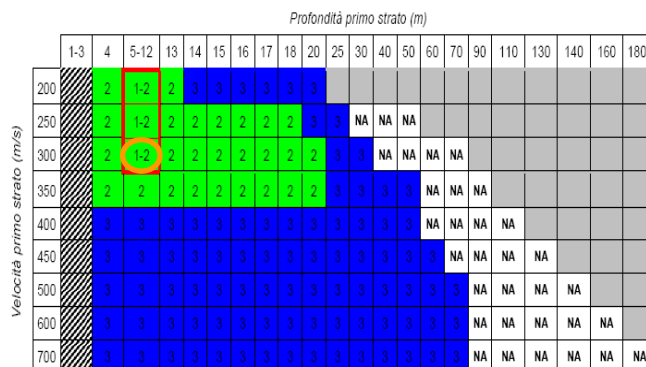
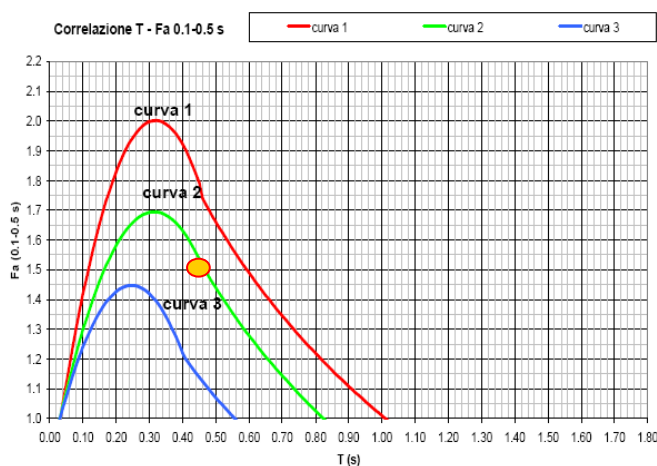


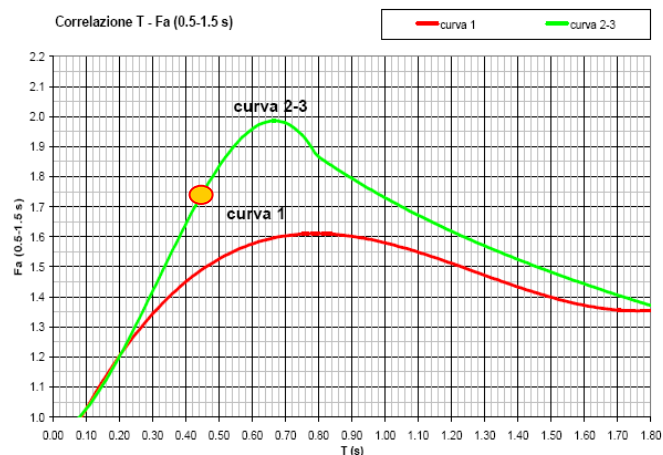
Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



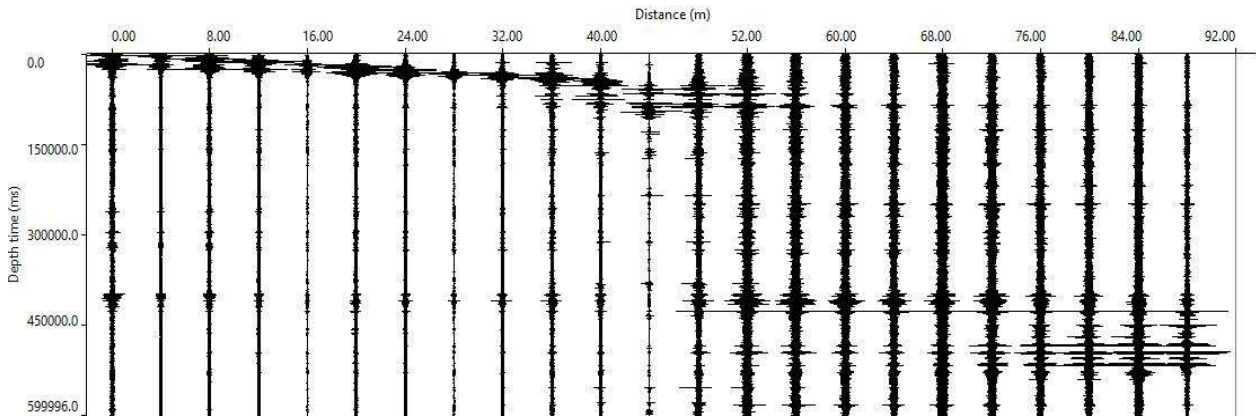
Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.452	1.52	1.74

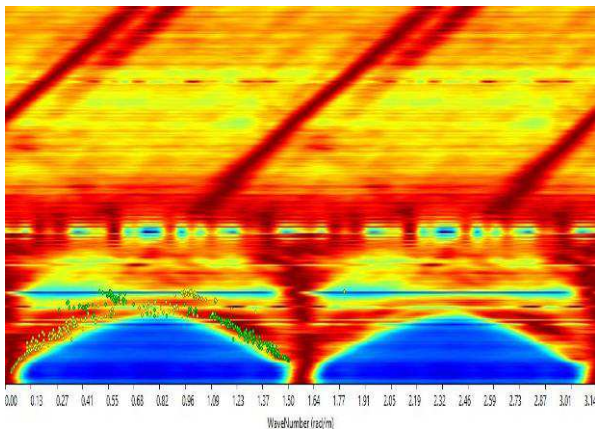
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

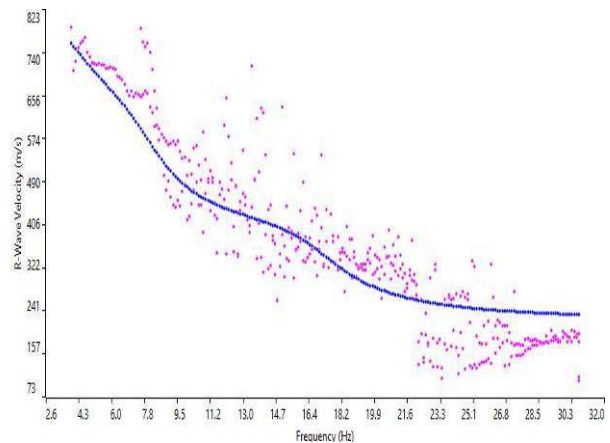
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_4_04/01/17	4	-	92	Ca.111



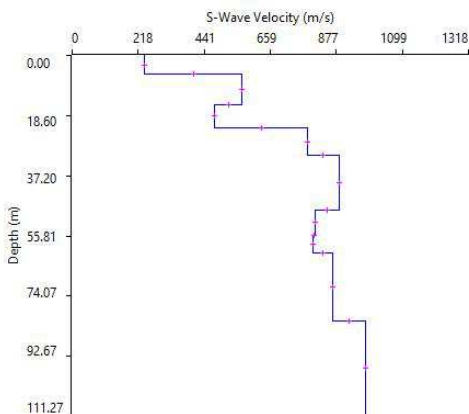
Sismogramma REMI\_4-04-01-17



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
459	B





MASW 13/ REMI 4\_04-01-16-Panoramica verso N

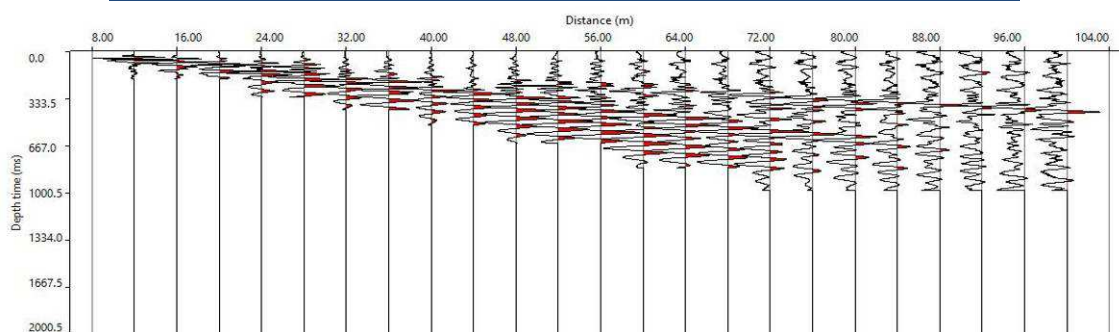


MASW 13/ REMI 4\_04-01-16-Panoramica verso S

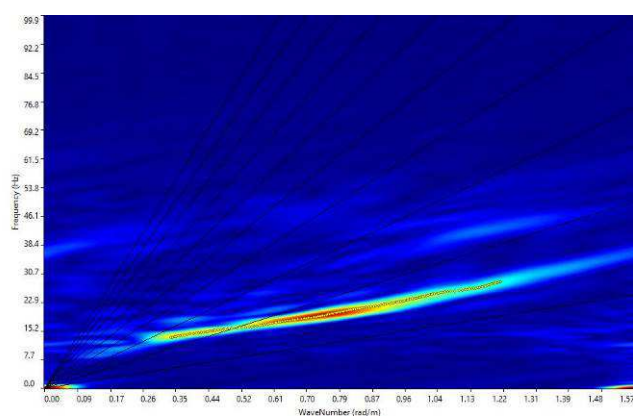


**MASW\_14/REMI\_5-04-01-17**

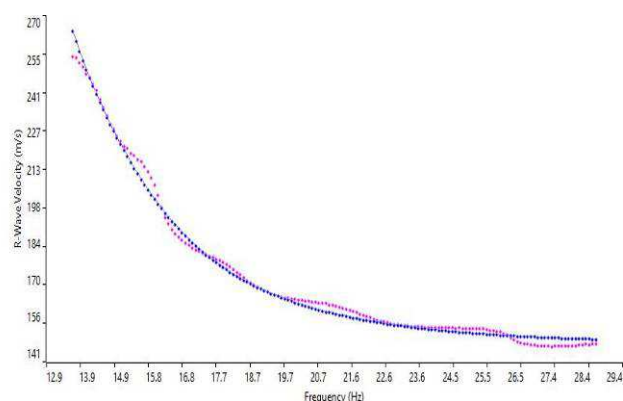
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_14_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.39



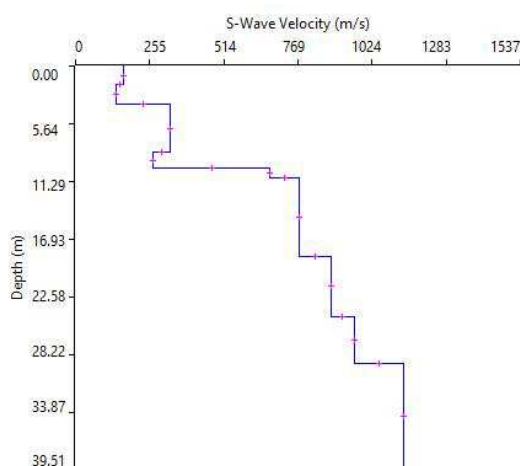
**Sismogramma MASW\_14-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
439	B

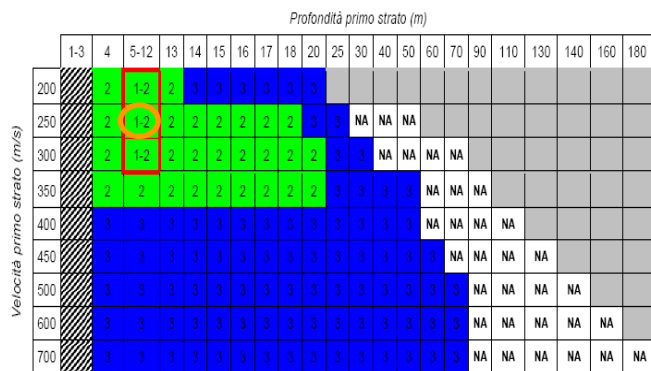
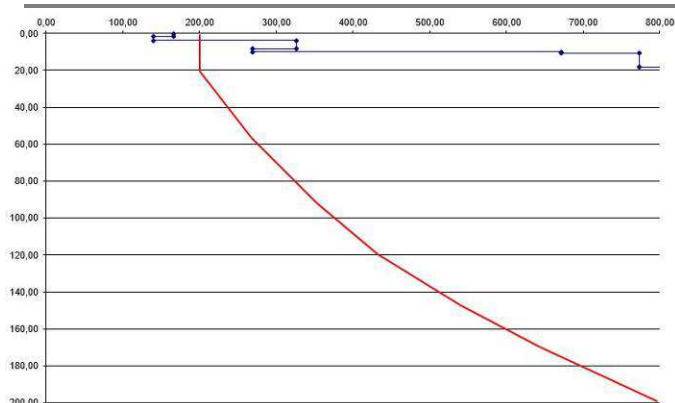
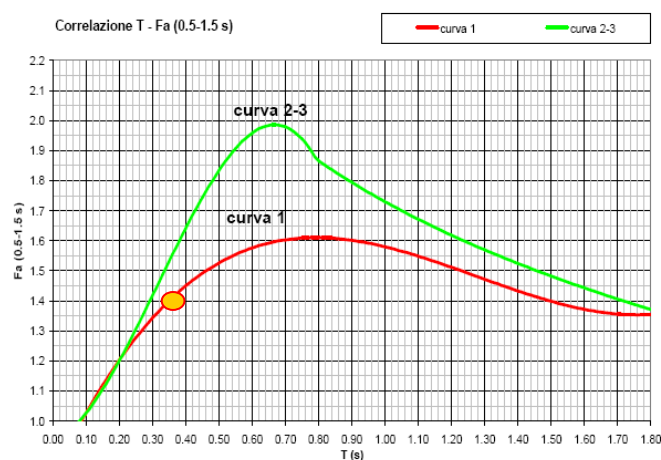
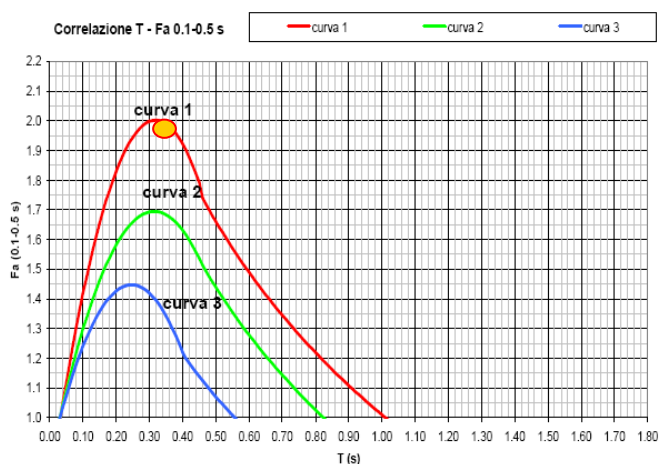


Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"

Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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

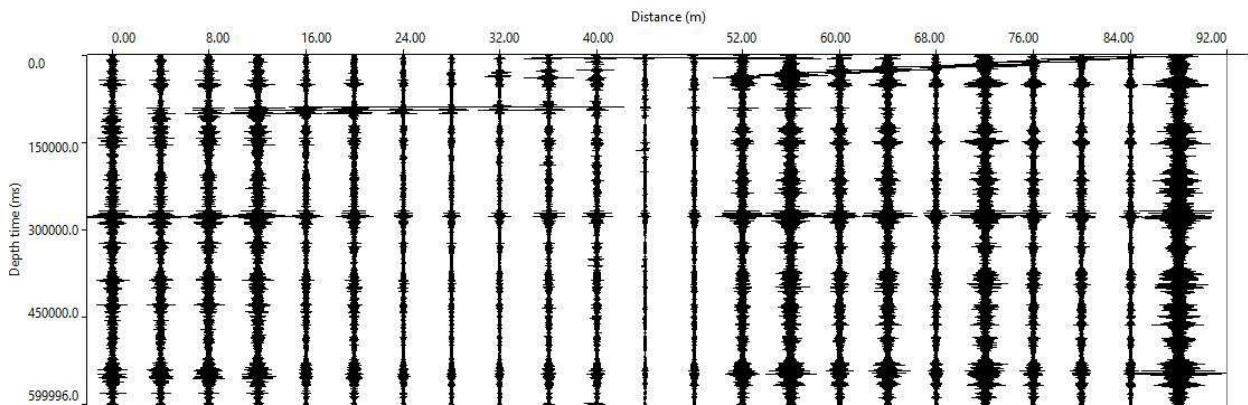
Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.351	1.99	1.40

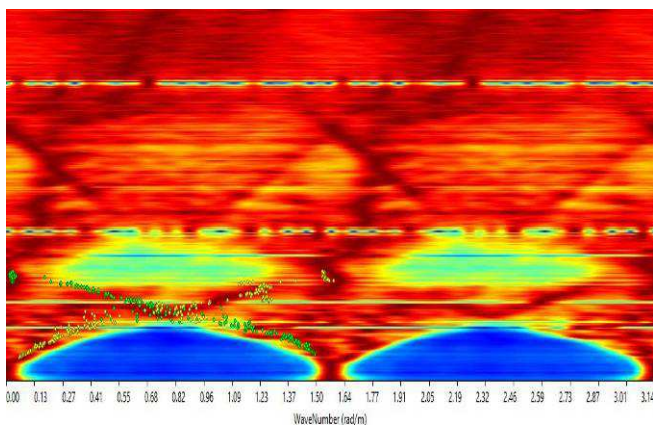
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

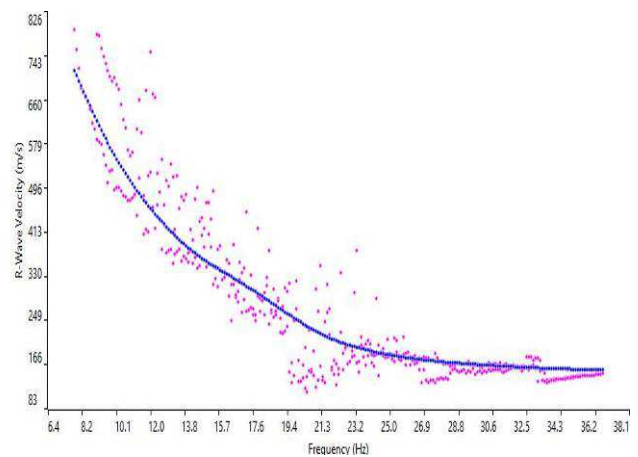
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_5_04/01/17	4	-	92	Ca.96



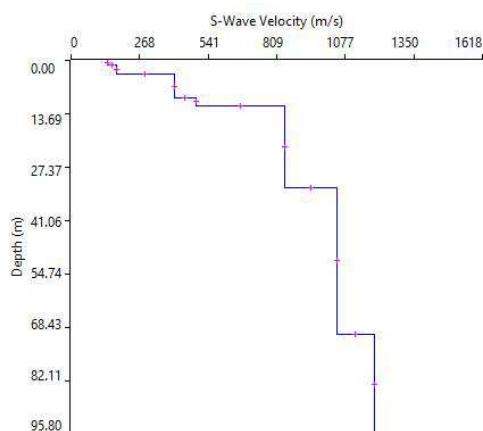
Sismogramma REMI\_5-04-01-17



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
479	B





MASW 14/REMI 5\_04-01-17-Panoramica verso NE

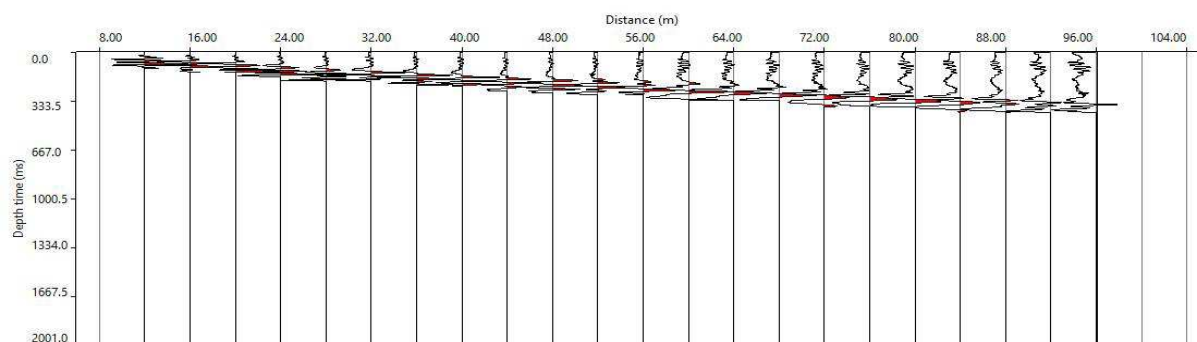


MASW 14/REMI 5\_04-01-17-Panoramica verso SW

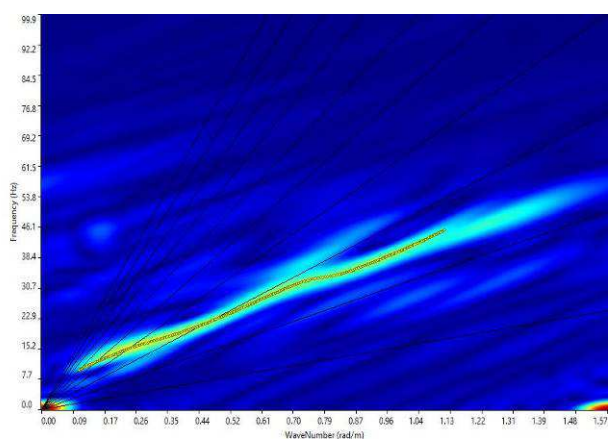


**MASW\_15-04-01-17**

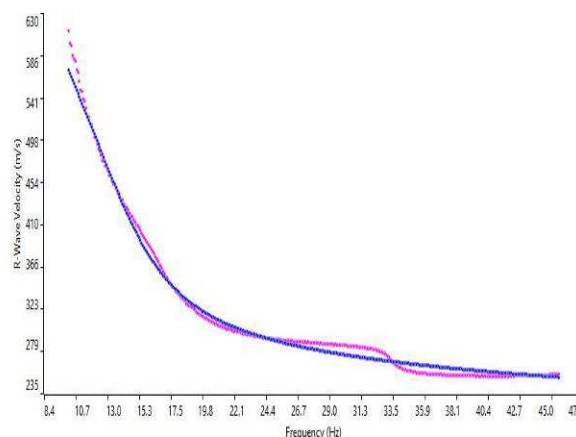
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_15_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.33



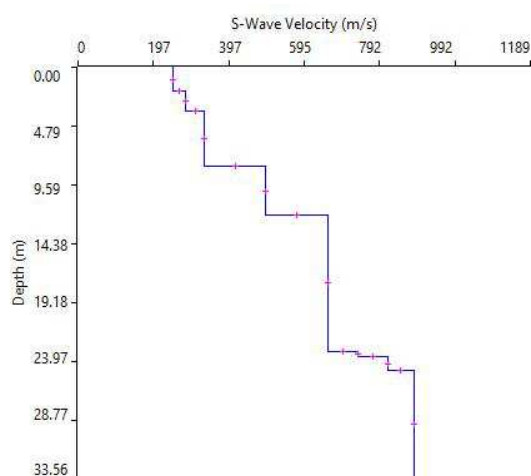
Sismogramma MASW\_15-04-01-17



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
499	B

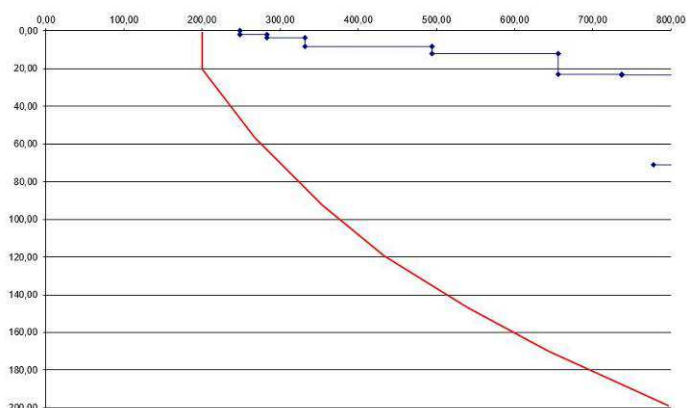
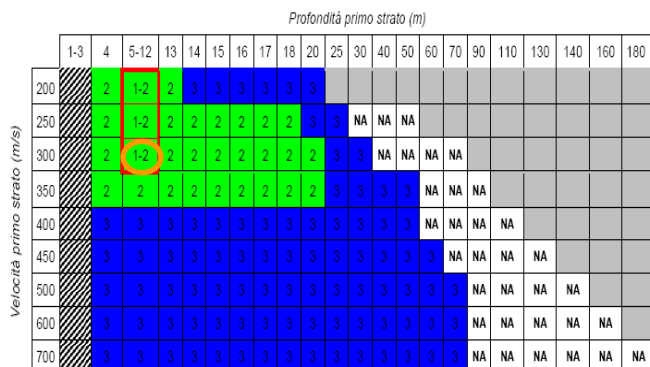
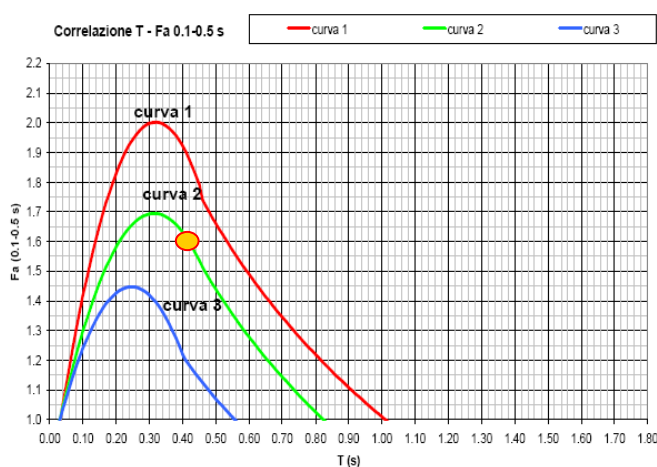


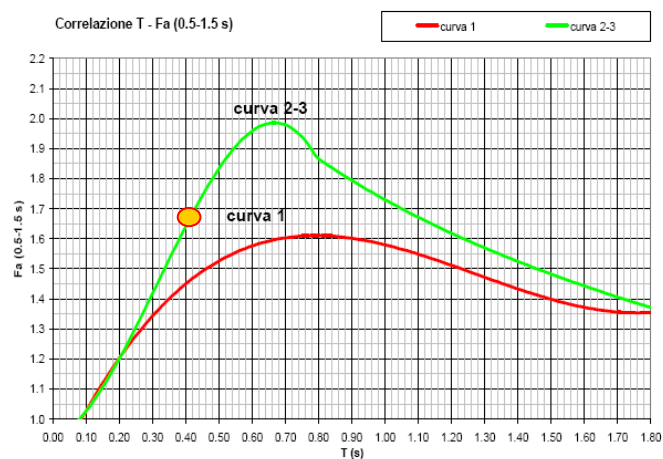
Gráfico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



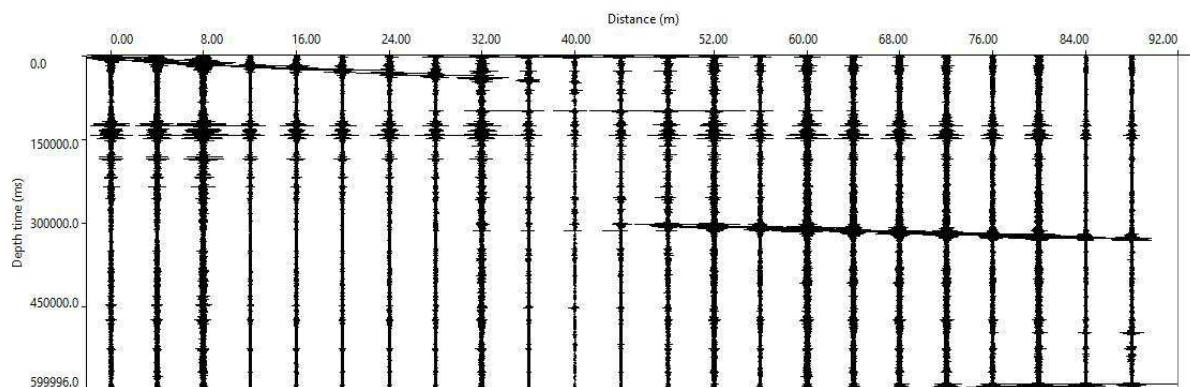
Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.409	1.61	1.66

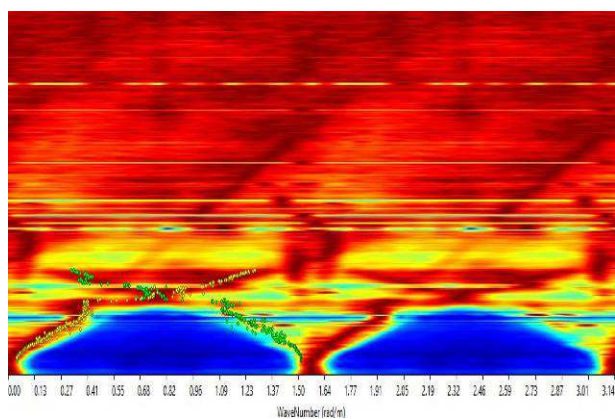
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

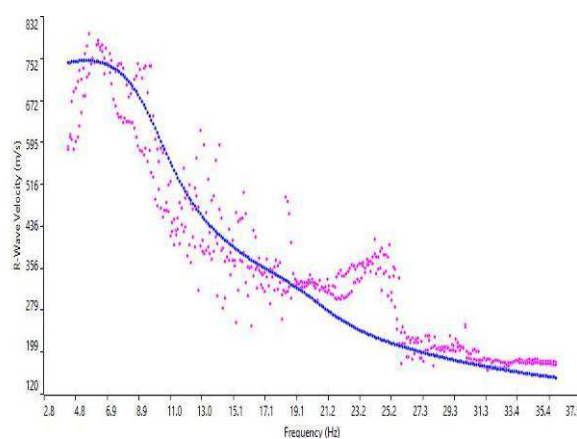
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_6_04/01/17	4	-	92	Ca.105



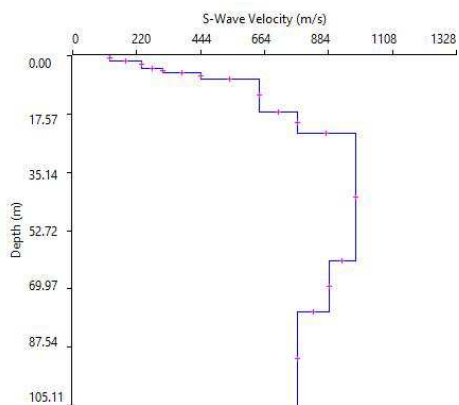
Sismogramma REMI\_6-04-01-17



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
496	B





MASW 15/REMI 6\_04-01-17-Panoramica verso E

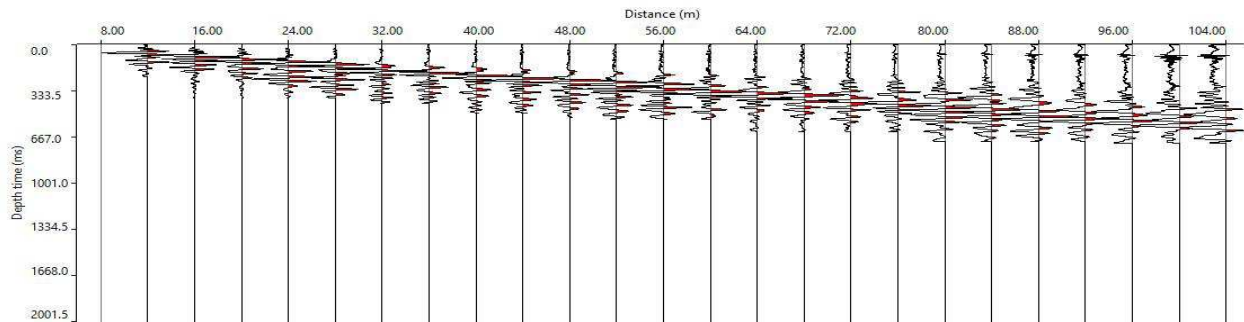


MASW 15/REMI 6\_04-01-17-Panoramica verso W

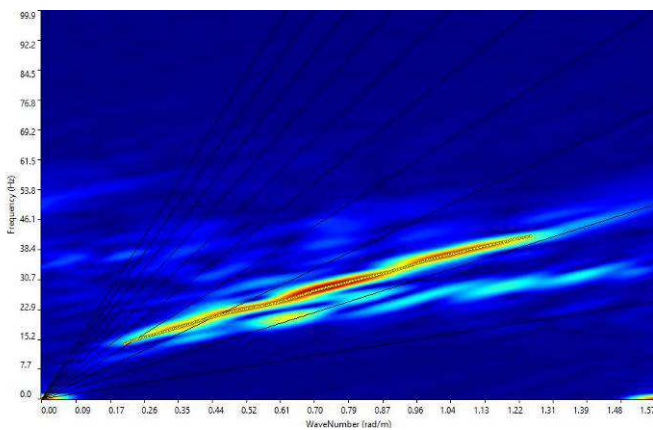


**MASW\_16/REMI\_7-04-01-17**

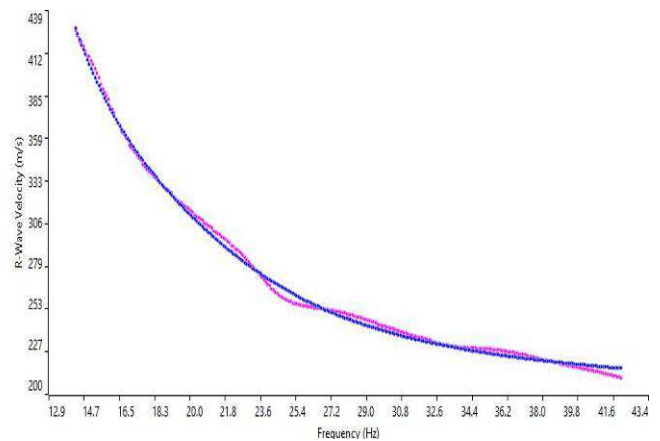
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_16_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.31



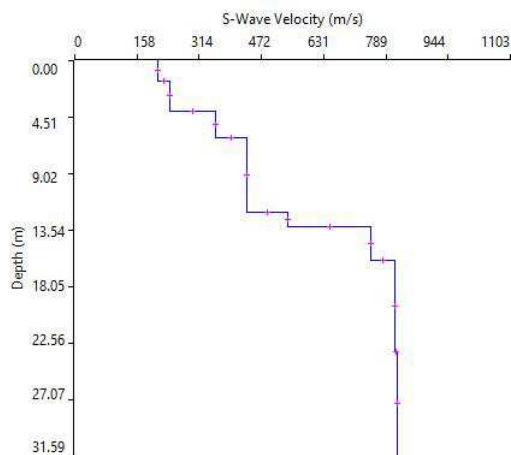
**Sismogramma MASW\_16-04-01-17**



**Spettro F/K**

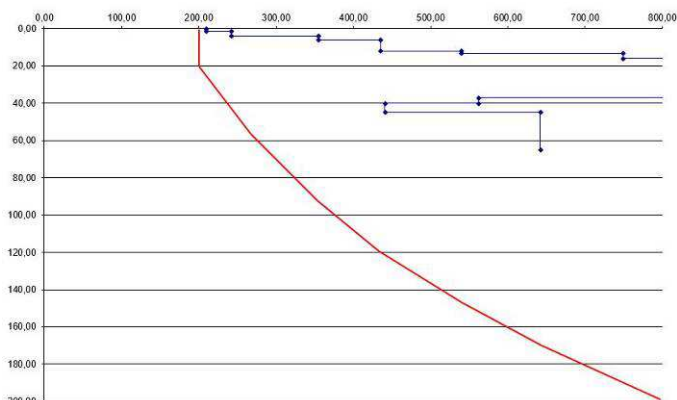


**Curva di dispersione**

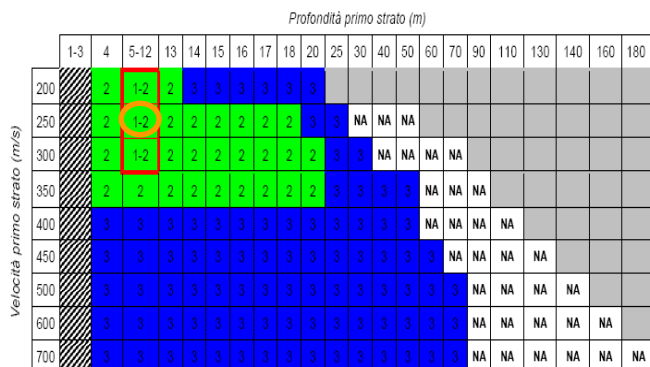


**Profilo di Velocità**

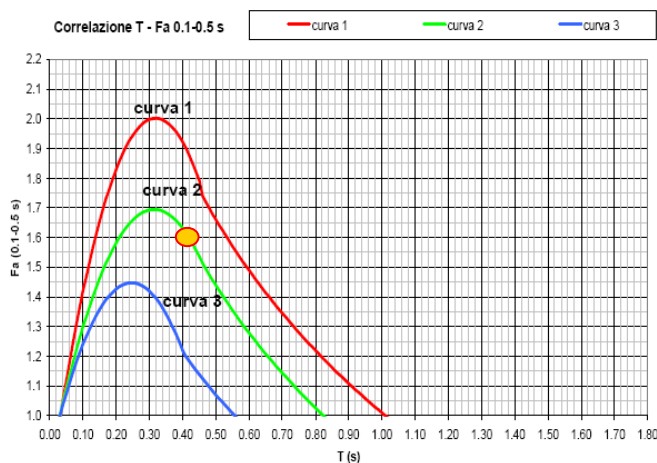
Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
498	B



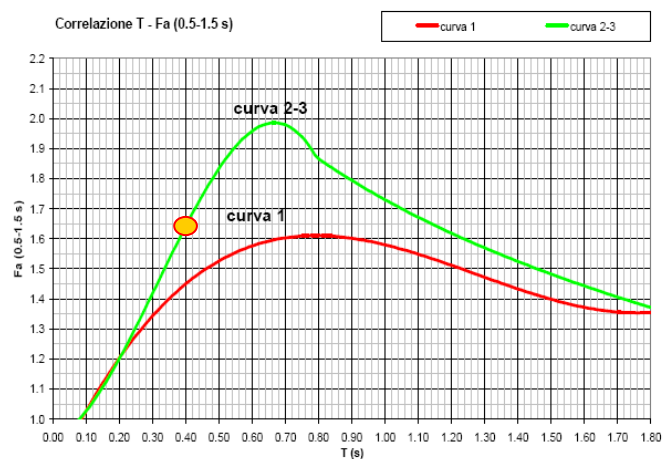
**Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"**



**Abaco per l'individuazione della curva di riferimento**



**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



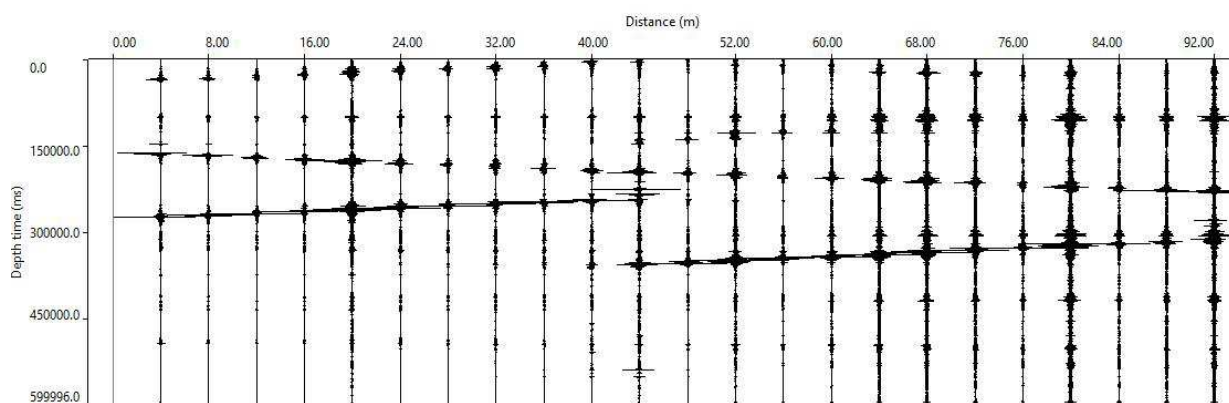
**Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"**  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.402	1.62	1.64

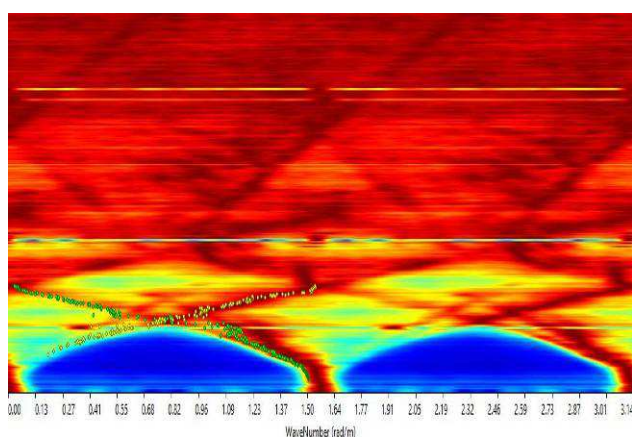
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

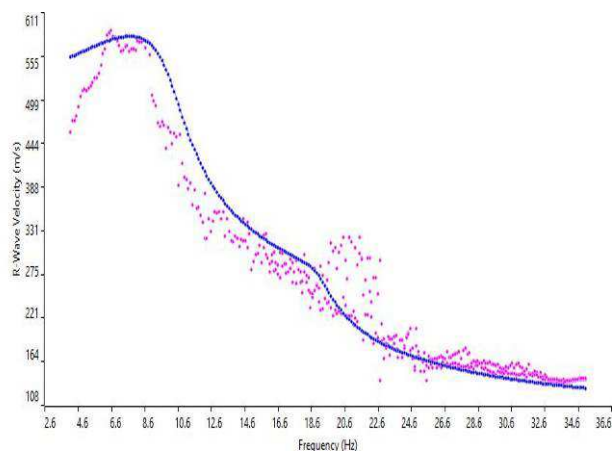
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_7_04/01/17	4	-	92	Ca.87



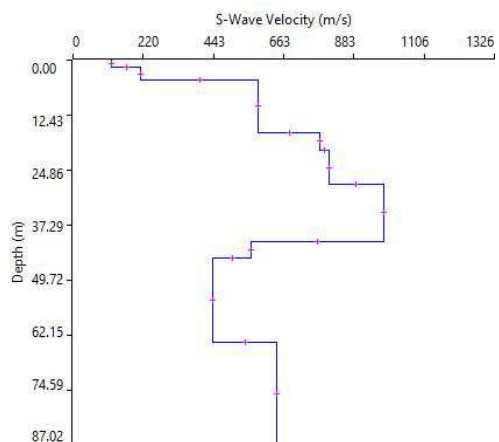
Sismogramma REMI\_7-04-01-17



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
466	B





MASW 16/REMI 7\_13-09-16-Panoramica verso E

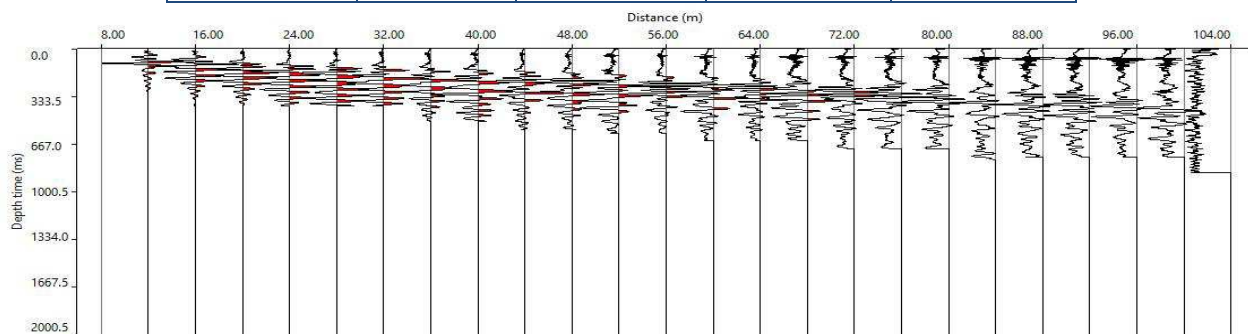


MASW 16/REMI 7\_13-09-16-Panoramica verso W

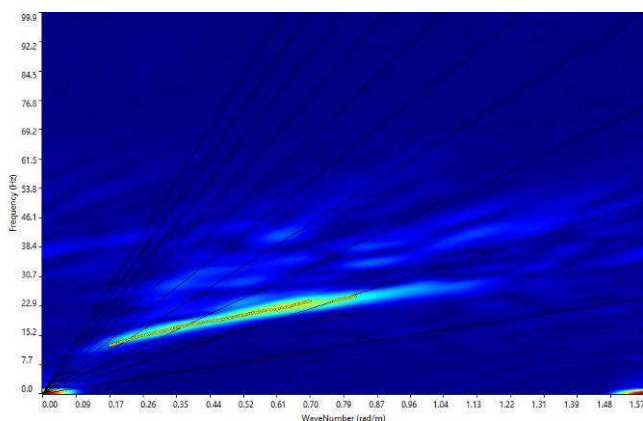


**MASW\_17-04-01-17**

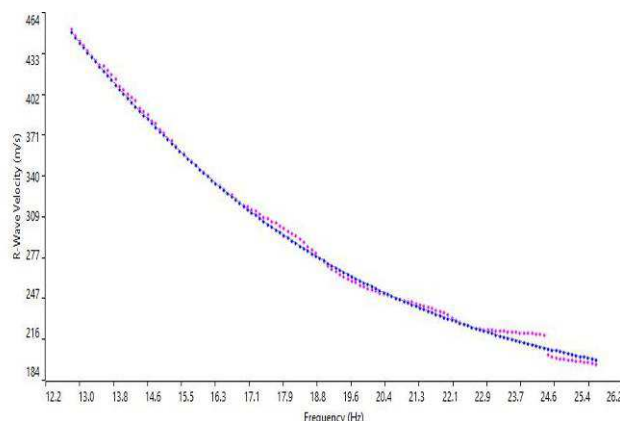
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_17_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.40



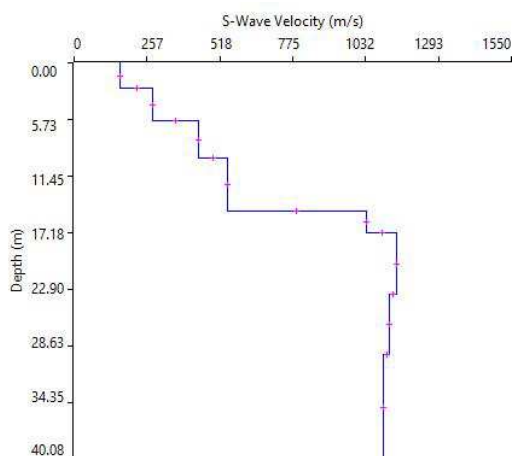
**Sismogramma MASW\_17-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
506	B

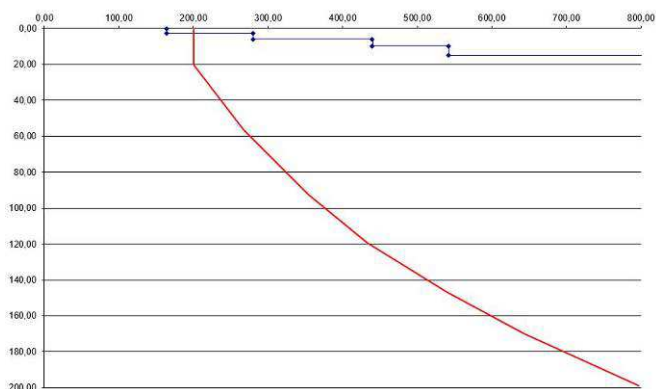
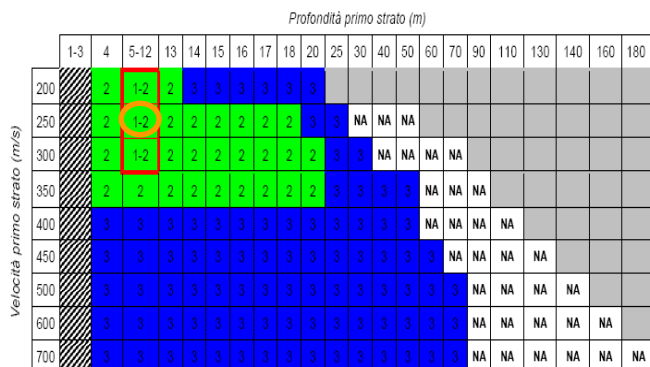
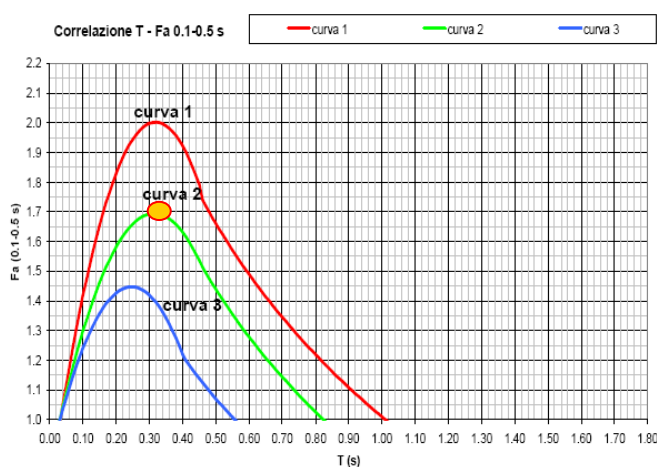


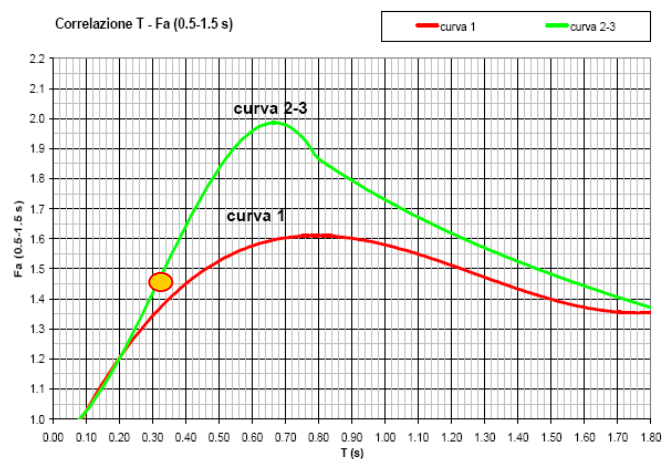
Grafico Vs-Profondità per la litologia “sabbiosa”



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



Abaco di riferimento per la litologia “sabbiosa”  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici bassi)



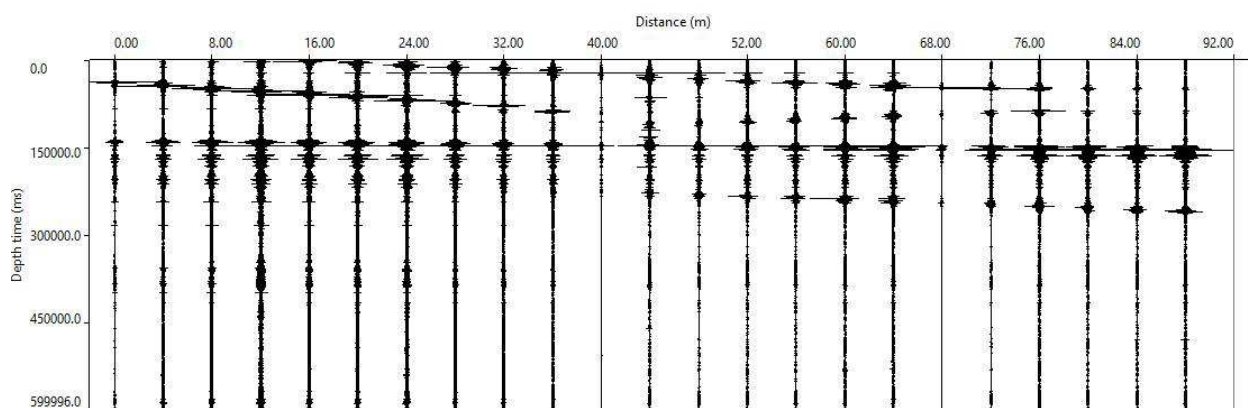
Abaco di riferimento per la litologia “sabbiosa”  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo “T” calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.328	1.69	1.48

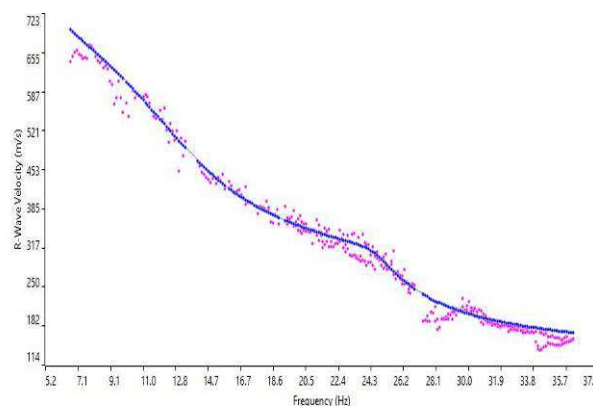
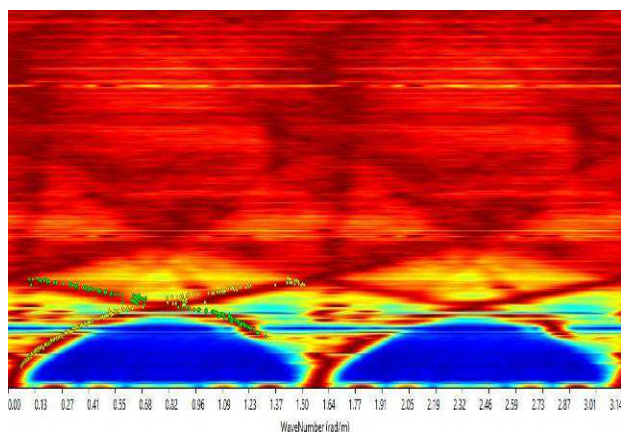
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_8_04/01/17	4	-	92	Ca.97

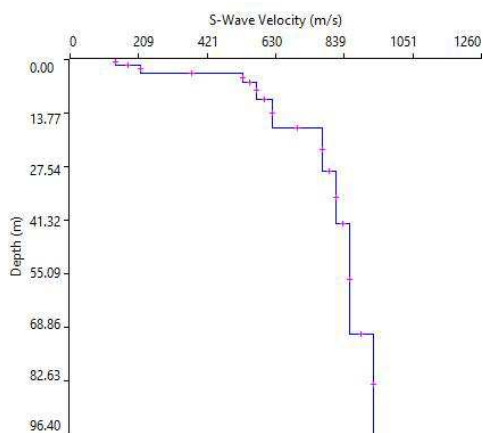


Sismogramma REMI\_8-04-01-17



Spettro F/K

Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
503	B





MASW 17/REMI 8\_04-01-17-Panoramica verso W

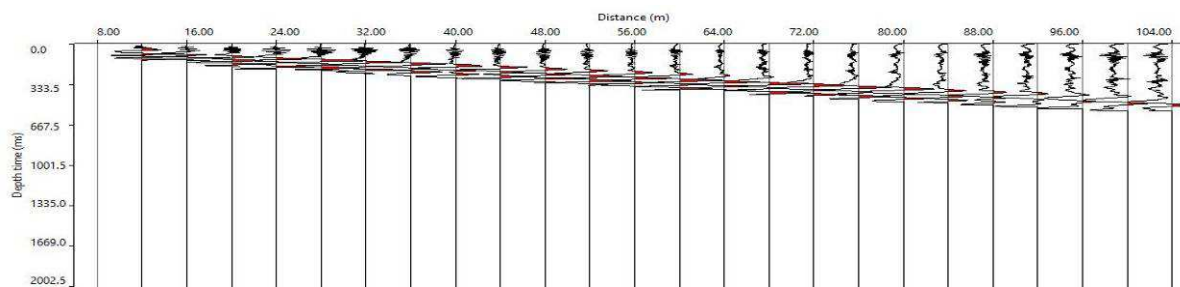


MASW 17/REMI 8\_04-01-17-Panoramica verso W

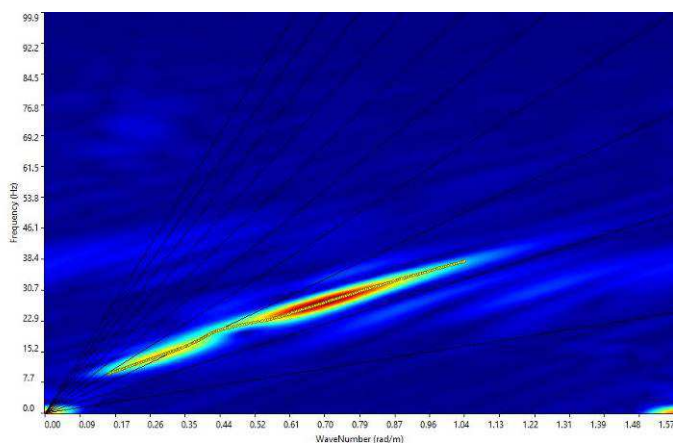


**MASW\_18/REMI\_9-04-01-17**

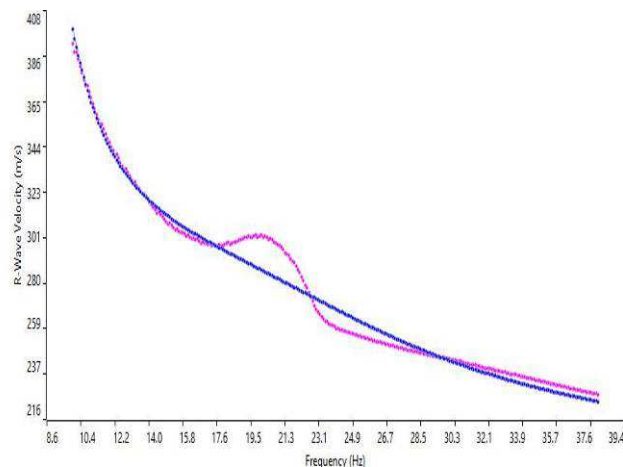
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_18_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.32



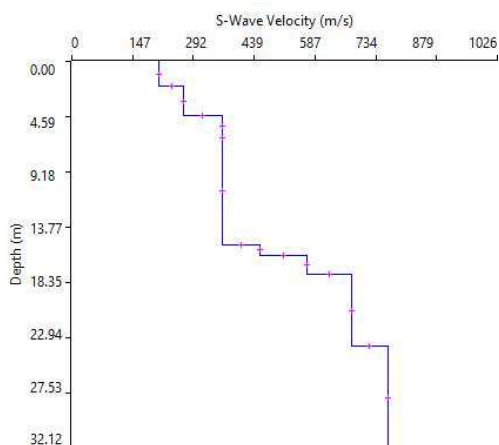
**Sismogramma MASW\_18-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
427	B

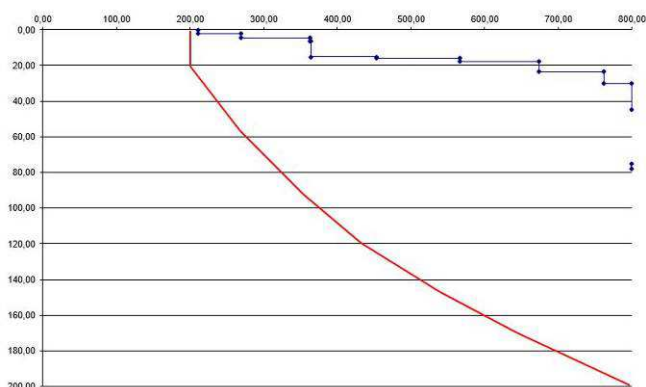
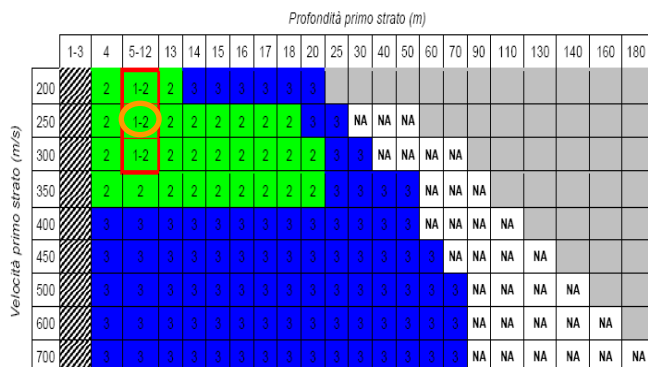
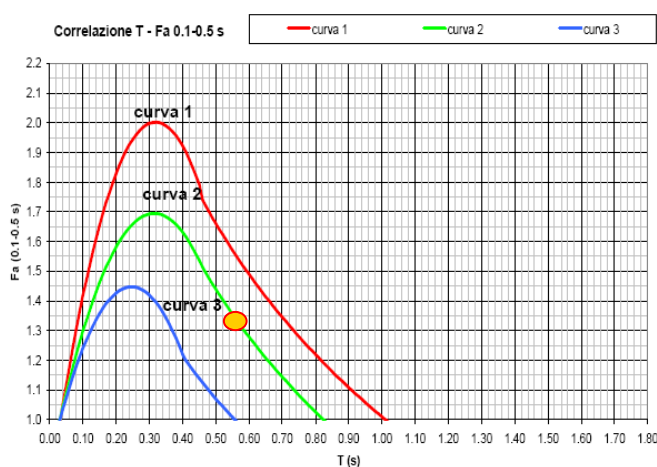


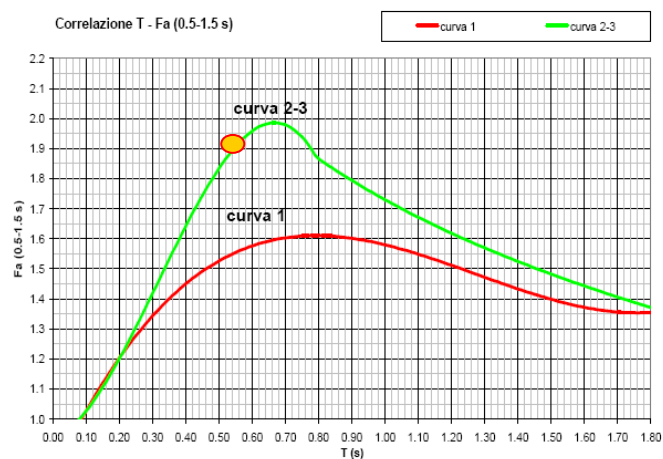
Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



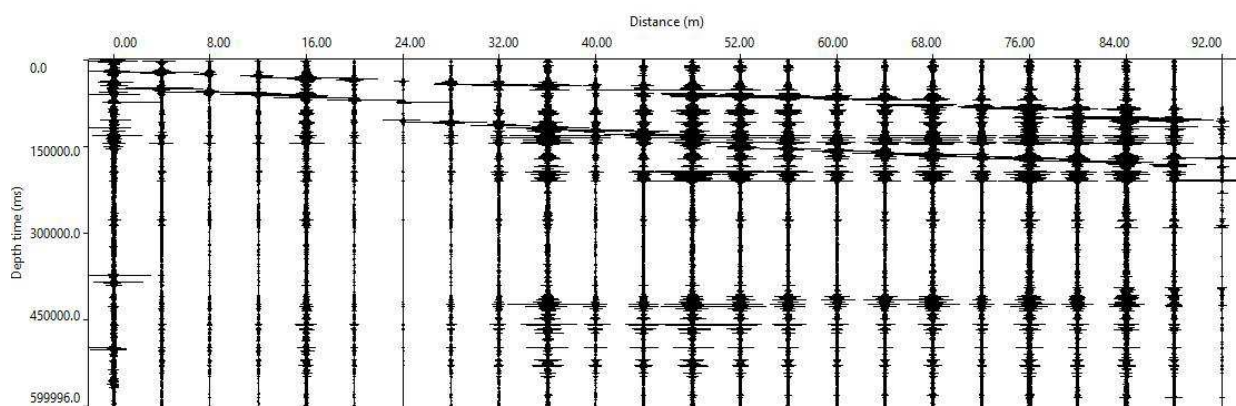
Abaco di riferimento per la litologia "sabbiosa"  
per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento  
(riferito ad edifici alti)

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.569	1.32	1.92

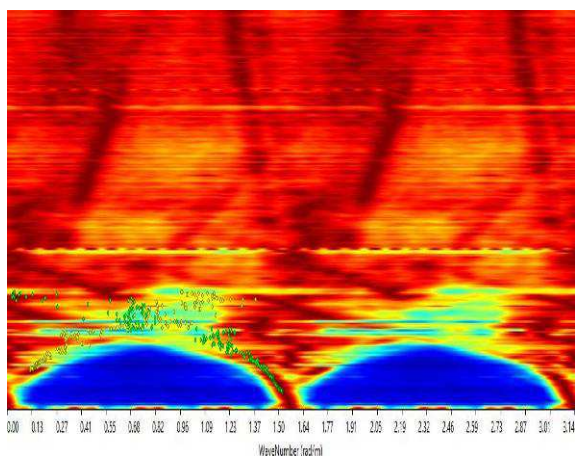
VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1

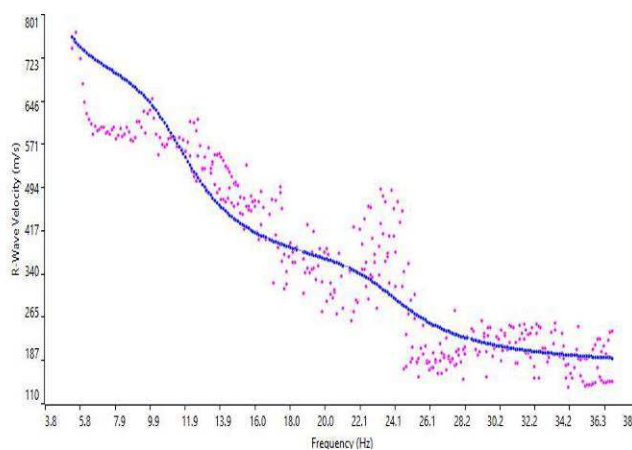
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Remi_9_04/01/17	4	-	92	Ca.137



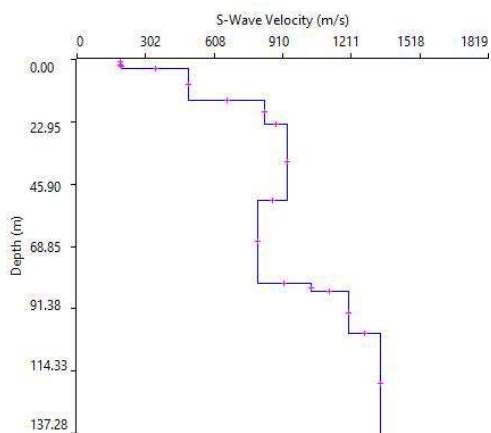
Sismogramma REMI\_9-04-01-17



Spettro F/K



Curva di dispersione



Profilo di Velocità

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
516	B





MASW 18/ REMI 9 \_04-01-17-Panoramica verso N

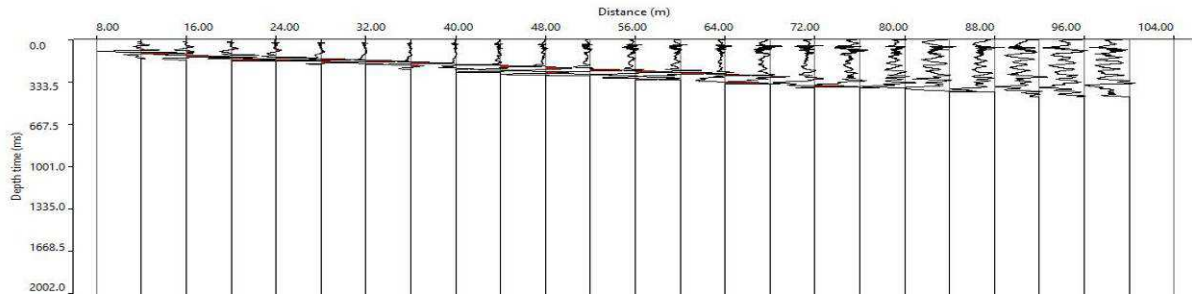


MASW 18/ REMI 9 \_04-01-17-Panoramica verso S

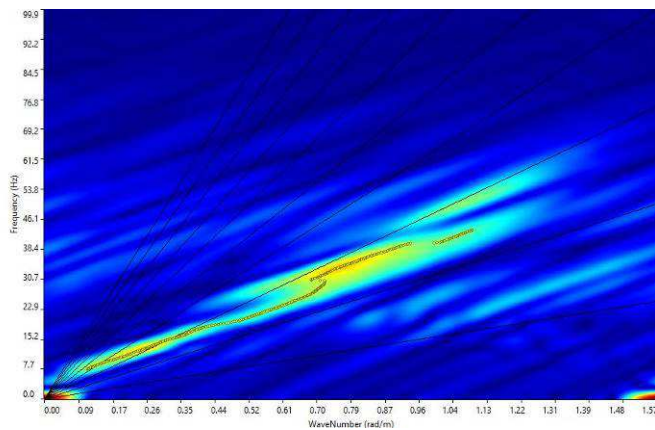


**MASW\_19-04-01-17**

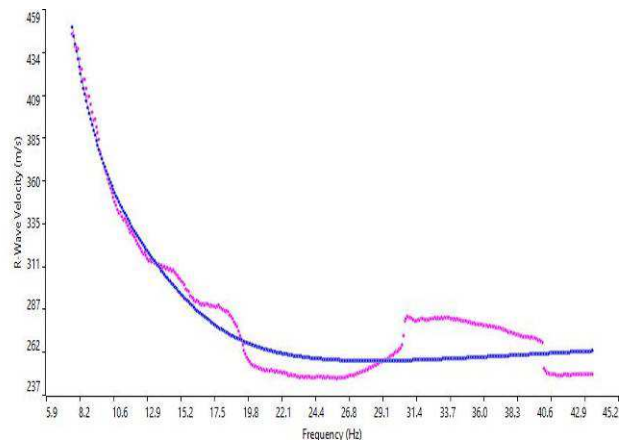
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_19_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.34



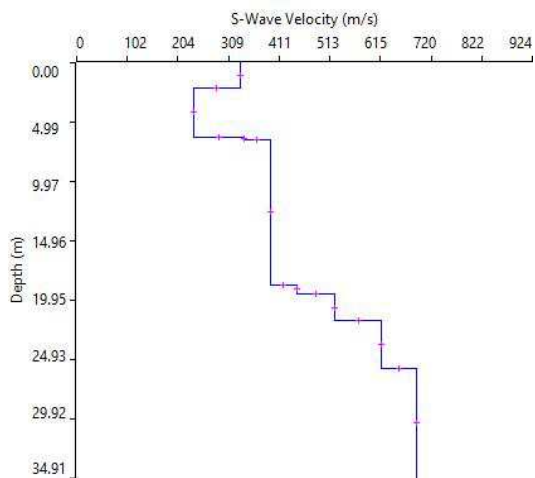
**Sismogramma MASW\_19-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
404	B

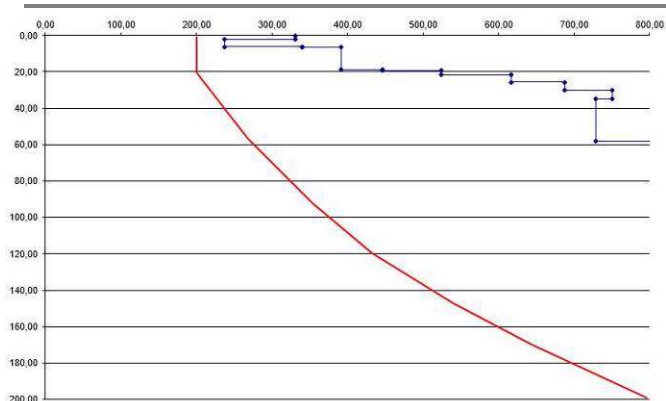
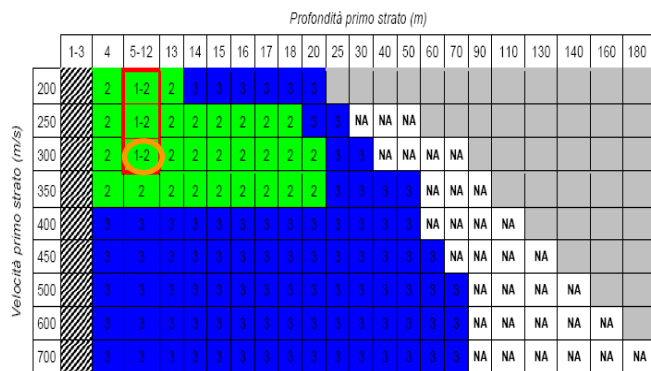
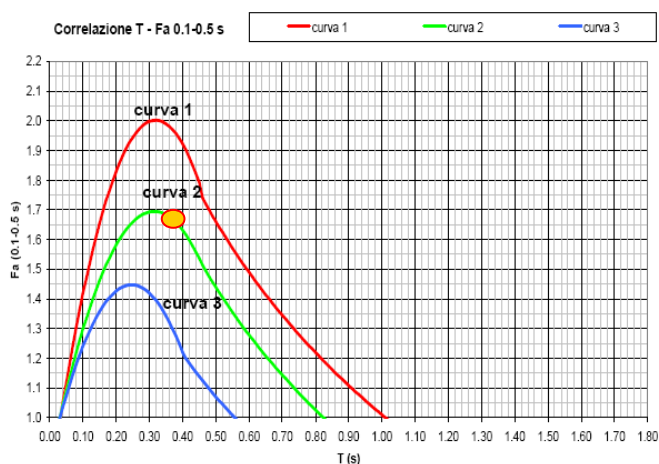


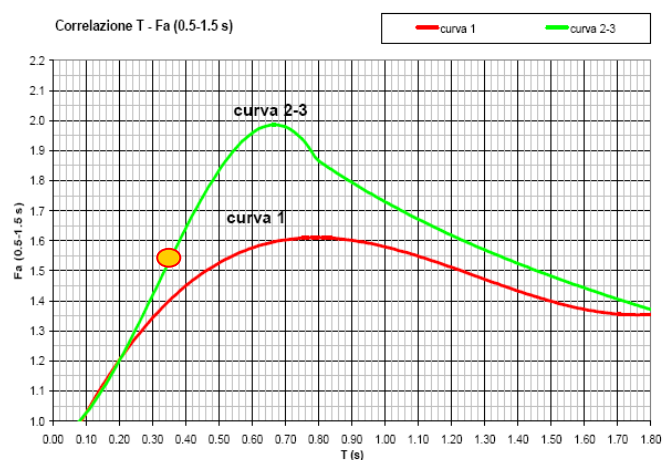
Grafico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



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

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.362	1.67	1.55

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



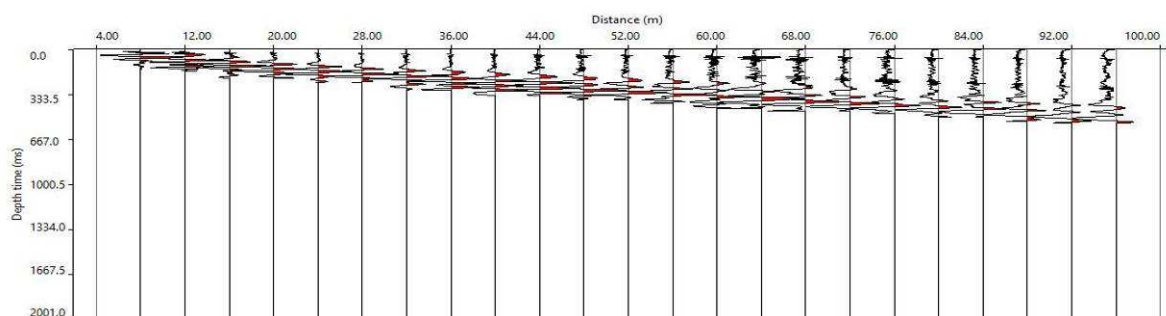
MASW 19-04-01-17-Panoramica verso NW



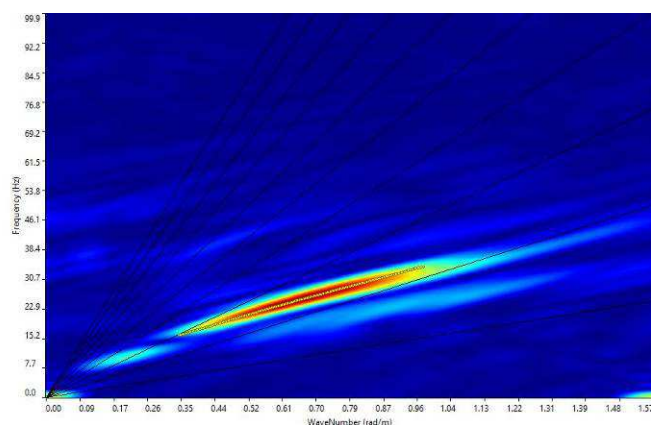
MASW 19-04-01-17-Panoramica verso SE

**MASW\_20-04-01-17**

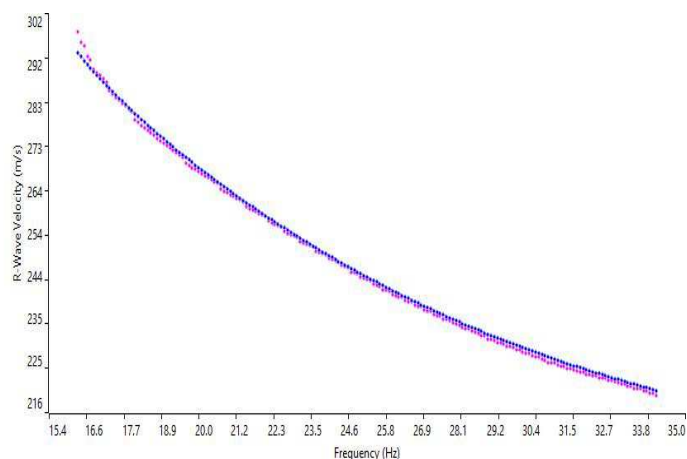
Stendimento	Interdistanza geofonica (m)	Passo energizzazione (m)	Lunghezza stendimento (m)	Profondità raggiunta (m)
Masw_20_04/01/17	4	+/- 4-8	92	Ca.33



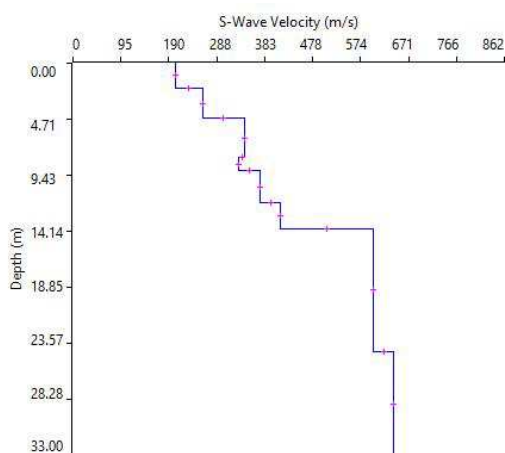
**Sismogramma MASW\_20-04-01-17**



**Spettro F/K**



**Curva di dispersione**



**Profilo di Velocità**

Vs 30 (m/s)	Categoria di Suolo NTC2008
418	B



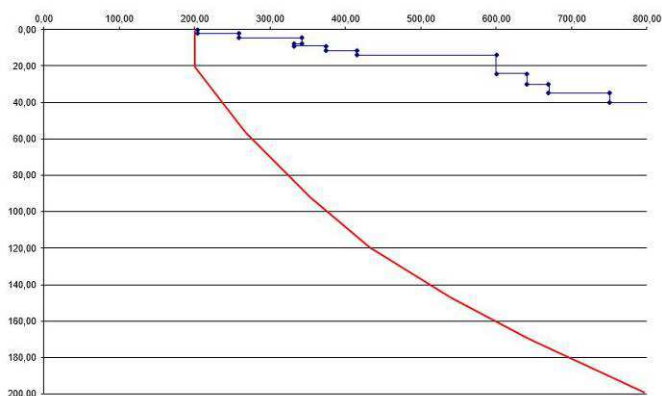
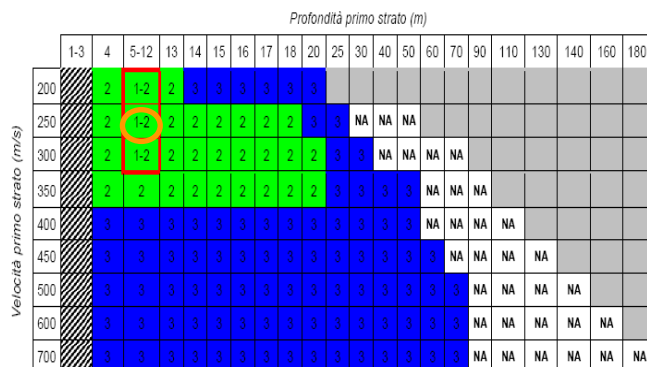
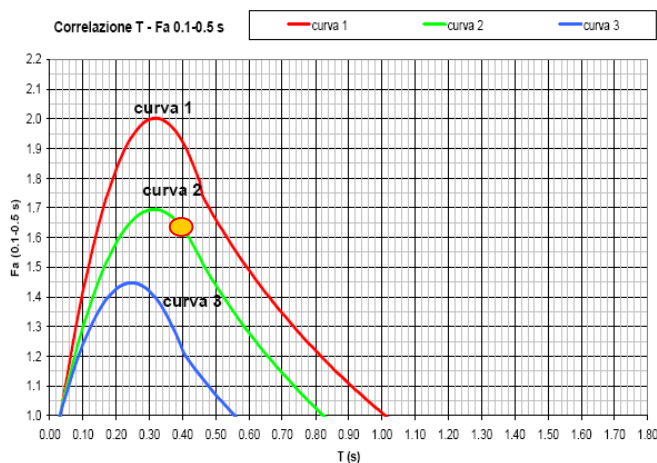


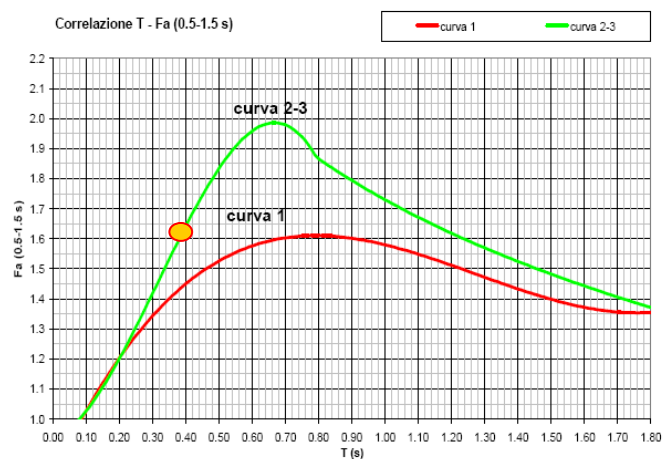
Gráfico Vs-Profondità per la litologia "sabbiosa"



Abaco per l'individuazione della curva di riferimento



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



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

Periodo "T" calcolato	Fa calcolato 01-0.5	Fa calcolato 0.5-1.5
0.395	1.63	1.63

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 - 0,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 - 1,5s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Flero	3	1.7	2.4	4.2	3.1



MASW 20-04-01-17-Panoramica verso N



MASW 20-04-01-17-Panoramica verso S

---

---

***ALLEGATO B:***  
***Il terremoto di Brescia del 1222***  
***(Giuseppe Berruti - Annali Quieriniani, 2002)***

---

---

GIUSEPPE BERRUTI

## Il terremoto di Brescia del 1222

*Et appellatus fuit terremotus Brixie*  
(Salimbene de Adam)

Il 25 dicembre dell'anno 1222, alle 11 del mattino, un terremoto di intensità dell'XI° grado della scala Mercalli, Cancani, Sieberg (con una magnitudo stimata 6.8) ebbe il suo epicentro nella zona nord orientale dell'abitato di Brescia: così registra il Catalogo dei terremoti italiani<sup>1</sup>. Un'altra scossa, di minore intensità, si manifestò alle 2 del pomeriggio dello stesso giorno nella medesima area.

Secondo Slejko<sup>2</sup> l'intensità del sisma è da stimarsi del IX° grado per l'evento del mattino e dell'VIII° grado per la replica del pomeriggio.

Tra questi due ordini di valutazione dell'entità dell'evento, dei suoi effetti dannosi come dell'energia sviluppata, si colloca un ampio studio inedito del 1985, promosso dall'ENEL: autori Ferrari, Guidoboni e Postpischl<sup>3</sup>. Gli Autori presero in esame sia

<sup>1</sup> Editto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 1985.

<sup>2</sup> D. SLEJKO, *Sismicità attuale dell'area benacense*, in *Il rischio sismico nel bresciano. Elementi per una valutazione*, Fondazione Bresciana Ricerca Scientifica, Brescia, Ramperto, 1989, p. 38.

<sup>3</sup> G. FERRARI, E. GUIDOBONI, D. POSTPISCHL, *Studi ed indagini per l'accertamento dell'idoneità tecnica delle aree suscettibili di insediamento di impianti nucleari (L. 2.8.1975/393). Regione Lombardia, area San Benedetto Po. Indagini di sismicità storica; rapporto finale: il terremoto del 25 dicembre 1222*, Bologna, 1985 (inedito).



manoscritti e documenti inediti che testi pubblicati nel corso di varie epoche, per un totale di 383 riferimenti a fonti e bibliografia. Lo studio Enel rappresenta certamente il maggior esempio di analisi di un antico sisma italiano condotto, in termini di massimo rigore, sulla base delle fonti documentarie e dei testi; la ricerca sulle fonti, oltre che su quelle di origine bresciana, venne estesa ad un numero imponente di archivi di diversa natura, sia in Italia che in altri paesi europei: analogamente per la bibliografia.

La coincidenza dell'evento con la festività del Natale contribuì infatti a stimolare l'attenzione su di esso soprattutto delle sedi ecclesiastiche, talora anche molto lontane da Brescia. Un'ampia sintesi dei risultati della ricerca venne infine proposta da Guidoboni<sup>4</sup>, per la Società Geofisica Applicata che aveva realizzato la ricerca stessa, nel 1986, al convegno di Bari su *Engineering Geology. Problems in seismic areas*.

Guidoboni sottolinea, già nel titolo della comunicazione al convegno, come l'evento avesse per più ragioni assunto, soprattutto negli anni successivi ad esso, il carattere di un mito dalla natura complessa.

Tra le fonti consultate e analizzate nello studio Enel emerge la netta prevalenza di quelle elaborate e quindi conservate in sedi non bresciane, tanto che le fonti locali che contengono elementi riferiti o riferibili all'evento sono in numero notevolmente limitato.

D'altro canto gli autori dello studio fanno notare che nel periodo storico immediatamente successivo al terremoto né le fonti imperiali né quelle ecclesiastiche, salvo ben poche eccezioni tra queste ultime, accennano al terremoto; e così quelle istituzionali come il *Liber Pothensis*.

Nel ritenere che sussistano più ragioni per considerare utile il

<sup>4</sup> E. GUIDOBONI, *The earthquake of december 25, 1222: analysis of a myth. Symposium on Engineering technology: problems in seismic areas*, Bari 13-19 April 1986, pp. 413-424.

riprendere in esame l'argomento, aggiungo che la presente ricerca si basa esclusivamente sulle fonti locali, nonchè sui non molti testi che in vario modo hanno utilizzato fonti locali (con la sola eccezione della *Cronica* di Salimbene de Adam per i motivi che verranno proposti in seguito); per le fonti locali, inoltre, ho limitato l'esame a quelle che si collocano tra l'inizio dell'anno 1223 e la fine del secolo XIII.

Le ragioni di questa scelta sono conseguenti al principio che più ci si allontana sia nello spazio che nel tempo da un evento, soprattutto per l'età medievale, maggiore è la deformazione dei caratteri dell'evento stesso, tanto che gli elementi mitici tendono a prevalere su quelli reali. Pur nel rispetto dovuto ai contributi di rilievo alla conoscenza storica, proposti da annalisti del livello di Malvezzi e Capriolo, occorre ammettere che la distanza di tempo tra i loro testi e l'evento è troppo elevata per impedire distorsioni o enfaticizzazioni in particolare in ordine agli effetti generati da esso. I limiti di affidabilità della trasmissione orale di notizie crescono in misura esponenziale in rapporto a fenomeni quale il terremoto che assumeva, soprattutto nel Medio Evo ma anche in una certa parte dei secoli successivi, significati ben lontani dalle cause naturali che lo avevano determinato.

Ancora a proposito delle fonti locali utilizzate per la presente ricerca, è da osservare che alcune di esse erano già state prese in considerazione dagli autori dello studio Enel: il riesame delle fonti in questione mi ha però suggerito, in taluni casi, interpretazioni di segno in una certa misura diverso.

### 1. *Sugli effetti del terremoto nella città di Brescia*

Sono presi in considerazione solamente i danni prodotti (o che si può ragionevolmente presumere siano stati prodotti) dal terremoto nell'area urbana, sulla base delle indicazioni contenute nelle fonti, danni relativi a edifici o strutture edificate in genere. Non

sono invece presi in esame i semplici riferimenti al sisma che non danno conto degli effetti reali arrecati dall'evento: riferimenti di tale natura consentono tutt'al più di stabilire che un terremoto fu avvertito anche se il relativo epicentro si colloca a grande distanza dalla zona di risentimento, cosicché il risentimento è l'unico effetto documentato.

Un esempio rilevante in proposito, ma di segno diverso, è stato illustrato da Guidoboni e Boschi<sup>5</sup>: il 25 gennaio 1348 un terremoto con intensità all'epicentro dell'XI° MCS e che interessò soprattutto la Carinzia e il Friuli, venne avvertito da Francesco Petrarca che in quella circostanza abitava a Verona. Sulla base delle precise descrizioni degli effetti che il sisma produsse all'interno dell'abitazione del poeta, in particolare della sua biblioteca, gli Autori stimano che l'intensità manifestatasi a Verona, ad una distanza di «oltre 250 chilometri dall'area epicentrale», fu dell'ordine del VI° MCS. In questo caso, pertanto, il terremoto è stato non solo avvertito ma sono segnalati dalla fonte anche gli effetti nella zona di risentimento.

Nello studio Enel sono stati puntualmente annotati esempi di segnalazione di risentimenti, verificatisi al di fuori del territorio bresciano, di un terremoto che in alcuni casi le fonti localizzano in Brescia o nel Bresciano, senza peraltro offrire elementi puntuali di valutazione.

L'analisi dei casi nei quali vengono segnalati effetti dannosi nell'area urbana consente non soltanto di confermare che l'evento interessò direttamente il territorio in questione, ma anche di stimare con un grado ragionevole di approssimazione il valore della relativa intensità. Nel contempo l'accertamento dei termini reali del danneggiamento permette una valutazione più corretta dell'evento rispetto al quadro che venne proposto, nel corso dei

<sup>5</sup> E. GUIDOBONI, E. BOSCHI, *I grandi terremoti medievali in Italia*, «Le Scienze», 1989, n. 249.

secoli, sia dai documenti più o meno coevi (in assoluta prevalenza non di origine locale) che da numerosi annalisti anche locali di epoche successive: da entrambi gli ordini di fonti — puntualmente citati nello studio Enel — emerge il quadro di una città pressoché integralmente rasa al suolo, con un numero di vittime che appare spesso superiore a quello della popolazione residente in Brescia in quel periodo: e così per un non precisato numero di centri minori del Bresciano.

Un contributo rilevante alla conoscenza del patrimonio immobiliare cittadino, rispettivamente pre e post sisma, è fornito da Frati, Breda e Gianfranceschi<sup>6</sup> con un minuzioso censimento degli edifici ecclesiastici e istituzionali esistenti in Brescia negli anni 1199 e 1308. Alla fine del sec. XII sono accertati 64 edifici ecclesiastici e 7 istituzionali, oltre alle strutture inerenti le 14 porte della città. Nel 1308 tutti indistintamente i medesimi edifici e le stesse strutture delle porte, compresi nell'elenco del 1199, risultano permanere. Dal canto loro gli Autori dello studio Enel avevano già osservato che una componente rilevante del patrimonio monumentale urbano, le torri di proprietà di alcune potenti famiglie bresciane — Gambara, Ugoni, Oriani e Bottazzi —, non erano state distrutte dal terremoto, considerato che il papa Onorio III, in un documento indirizzato il 9 gennaio 1225 ai vescovi di Brescia e di Rimini<sup>7</sup>, ne aveva disposto la demolizione totale o parziale, quale esemplare punizione per il comportamento di quelle famiglie nei confronti della Chiesa.

È tuttavia necessario, a mio giudizio, valutare con tutta cautela l'effettiva significatività degli elementi proposti sia dai censimenti degli edifici elaborati per il 1199 e rispettivamente per il 1308 da Frati, Breda e Gianfranceschi, quanto dall'annotazione

<sup>6</sup> V. FRATI, A. BREDA, I. GIANFRANCESCHI, *L'età dei comuni e delle Signorie*, Brescia (in corso di pubblicazione).

<sup>7</sup> *Epistolae saec. XIII e regestis pontificum romanorum selectae*, in *Monumenta Germaniae Historica* (=M.G.H.), I, n. 264, Berlin, 1883, pp. 189-190.

degli autori dello stesso studio Enel in merito all'esistenza post-sisma delle torri, in rapporto all'entità, soprattutto in termini di intensità, del sisma. Come si osserverà in seguito alcuni degli edifici compresi nei censimenti sopra citati subirono danni ingenti a causa del terremoto, e non si può escludere che ulteriori ricerche, sia su base documentaria che archeologica, consentano di accertare se altri edifici vennero anche seriamente danneggiati. È inoltre da notare che sono decisamente limitate le indicazioni che emergono dalle fonti in ordine ai danni subiti da edifici di abitazione.

Un ulteriore elemento di valutazione è offerto dalle fonti documentarie locali sulle condizioni di agibilità di un consistente numero di immobili, sedi ecclesiastiche o istituzionali, negli anni successivi al sisma. A questo proposito nelle note sulle fonti esaminate nella presente ricerca verranno fornite indicazioni su alcuni degli edifici più significativi nei quali risulta siano state esercitate le relative funzioni – religiose o civili – nel trentennio che seguì l'evento in esame. Ma anche sotto questo profilo è necessaria la cautela che ho prima suggerito. Infatti, come si potrà constatare, anche in alcuni dei fabbricati che subirono danni notevoli proseguì almeno in parte l'esercizio delle rispettive attività. È d'altro canto noto che un terremoto anche di elevata intensità non comporta sempre né la totale demolizione né una apprezzabile inagibilità strutturale dei fabbricati che hanno sofferto danni.

Vengono di seguito proposte e analizzate le indicazioni contenute nelle fonti sui danni conseguenti all'evento sismico nell'area urbana.

### 1.1. *Ecclesia matrix Brixienis*

Albertus dei gratia Brixienis episcopus. Dilectis in xristo fratribus [...] capitulo matricis ecclesie Brixienis salutem in domino. Cum a nobis petibur quod iustum est et honestus nos decet animo libenti concedere [...] Ea propter dilecti in domino vestris iustis postula-

tionibus grato concurrentes assensu. Facultatibus prefate ecclesie vestre diligenter inspectis que tam tremotuum ruinis quam multis aliis dispendiis plurimum aggravatur [...] statuimus [...] ut eadem de cetero sedenario canonicorum numero solummodo sit contenta. Non obstante eo quod decem et septem sitis ad presens [...] Datum Brixie JI Idus Junij. Anno a nativitate domini nostri [...] millesimo Ducentesimo vigesimo tercio Indictione undecima<sup>8</sup>.

Il vescovo di Brescia, Alberto da Reggio, disponeva dunque, il 12 giugno 1223, che il numero dei canonici del Capitolo della «matricis ecclesie Brixienis» venisse ridotto da 17 a 16. Era infatti emerso dalla diligente verifica condotta dal vescovo sulle risorse dell'«ecclesia» stessa, che la gestione di essa era stata parecchio gravata tanto dalle rovine dei terremoti quanto da altre spese.

La pergamena (ne ho trascritto le frasi più significative ai fini della presente ricerca) costituisce allo stato attuale della ricerca stessa l'unico documento dal quale risulti che il terremoto del Natale 1222 arrecò danni ad un edificio ecclesiastico di rilevanza diocesana. L'uso del genitivo plurale, «tremotuum», appare agevolmente riferibile alle due scosse sismiche che interessarono la città di Brescia il 25 dicembre di quell'anno: non certo a sisimi antecedenti che produssero quanto meno risentimenti nell'area urbana, l'ultimo dei quali risale al 1117.

Nello studio Enel, a proposito del documento del vescovo, si osserva (§ 2.9) che «dal testo si può desumere che la diocesi di Brescia avesse subito gravi danni, ma non è possibile individuare la localizzazione precisa».

Dal testo del documento si deduce, a mio giudizio, innanzi tutto che il documento medesimo venne indirizzato ai canonici della chiesa matrice bresciana. Noto che il termine *matrix* è sinonimo di *major* (o *maior*) oppure di *cathedralis*<sup>9</sup>; pertanto il capito-

<sup>8</sup> Brescia, Archivio Capitolare, perg. filza + (croce) n. 6.

<sup>9</sup> C. DU CANGE, *Glossarium mediae et infimae latinitatis*, II, Graz, 1954.

lo costituiva un organo della chiesa maggiore o cattedrale della città di Brescia; e il vescovo si riferisce a mio giudizio con chiarezza ai danni subiti dall'edificio di questa chiesa, e non ad altri edifici o luoghi della diocesi nel suo complesso, a seguito del terremoto.

Settia<sup>10</sup> ha osservato che nelle carte del Monastero di S. Pietro in Monte di Serle «è menzionato non più di una volta [...] il palazzo della "Chiesa della città di Brescia", sede del Capitolo della Cattedrale»: nella nota n. 45 del testo alla quale l'A. rinvia è richiamato il doc. 130 delle Carte del Monastero di Serle, nel quale è indicato Giovanni arcidiacono «maioris ecclesie Sancte Marie de Dom civitatis Brixie». Sembra pertanto che il palazzo indicato da Settia si identifichi con la cattedrale di S. Maria de Dom.

Tuttavia in altri documenti delle carte del Monastero citato espressioni analoghe sono adottate anche per la chiesa di S. Pietro de Dom situata a fianco di quella dedicata a S. Maria de Dom: ad es. il doc. 83 indica l'«ecclesia Sancti Petri de Dom Civitatis Brixie»<sup>11</sup>; nel doc. 88 è detto «in civitate Brixie, in ecclesia maiori, videlicet in ecclesia Sancti Petri»<sup>12</sup>; e così via.

Sono molto numerosi gli atti formali – ad esempio nelle pergamene del Monastero di S. Giulia – nei quali l'attributo di *ecclesia maior* viene attribuito sia a S. Pietro de Dom che a S. Maria de Dom. In altri documenti si usa, a proposito del capitolo della cattedrale, un riferimento generico: ad es. nell'atto con il quale viene raggiunta un'intesa tra il capitolo e il comune di Brescia per l'ere-dità di un privato, si cita la presenza di «Girardi vice domini

<sup>10</sup> A.A. SETTIA, *Uomini, ambienti, istituzioni nei documenti di S. Pietro in Monte*, in E. BARBIERI, E. CAU, *Le carte del monastero di S. Pietro in Monte di Serle (Brescia) 1039-1200*, Codice Diplomatico Bresciano, Fondazione Civiltà Bresciana, Brescia, 2000, p. XCI e n. 45.

<sup>11</sup> BARBIERI e CAU, *Le carte del monastero di S. Pietro in Monte di Serle*, pp. 171-173.

<sup>12</sup> *Ibidem*, pp. 226-232.

brixienis et aliorum canonicorum capituli ecclesie brixienis»<sup>13</sup>, senza altre specificazioni.

Per risolvere il problema dell'identificazione dell'edificio dell'«ecclesia matrix» alla quale fa riferimento il vescovo Alberto, occorre innanzi tutto ricordare che la *cathedralis* della città di Brescia era fisicamente articolata in due edifici: la chiesa di S. Pietro de Dom e, posta subito a sud di essa, la chiesa di S. Maria de Dom. Trattasi infatti di un tipico esempio di cattedrale doppia talora denominata cattedrale geminata che nell'alto Medio Evo è presente anche a Milano, Pavia, Como, Torino, Vercelli, Verona e in altre città non solo italiane. La funzione prevalente e comunque più frequente di questa tipologia era quella di rispondere a esigenze stagionali: un caso molto simile a quello bresciano si riscontra a Pavia. Nota infatti Kempf<sup>14</sup> che a Pavia si aveva una «basilica estiva» (S. Stefano), ove cioè «i canonici celebravano nell'estate, ubicata a nord della basilica invernale di Santa Maria» ove le celebrazioni avvenivano essenzialmente nella stagione invernale.

Medesimo avviso esprime Zovatto<sup>15</sup>. Per quanto riguarda Brescia già Zamboni<sup>16</sup> aveva osservato che la chiesa di S. Pietro de Dom e quella di «S. Maria maggiore [...] costituivano la Cattedrale di Brescia, perchè tutte e due servivano agli usi del Vescovo e del Capitolo». Analoga annotazione aveva in precedenza formulato da Lezze<sup>17</sup>.

<sup>13</sup> *Liber Pothoris communis Brixiae*, in H.P.M., XIX, Augustae Taurinorum 1899, coll. 867-869.

<sup>14</sup> T.K. KEMPF, *Ecclesia cathedralis eo quod duabus ecclesiis preficitur*, in *Arte del primo millennio*, 2° convegno, Spoleto, Torino, 1950, pp. 3-10.

<sup>15</sup> PL. ZOVATTO, *Il significato della basilica doppia. L'esempio di Aquileia*, «Rivista di storia della Chiesa in Italia», XVIII, 3, 1964, pp. 357-398.

<sup>16</sup> B. ZAMBONI, *Memorie intorno alle pubbliche fabbriche più insigni della città di Brescia*, Brescia, 1778, pp. 103-104.

<sup>17</sup> G. DA LEZZE, *Il catastico bresciano, 1609-1610*, Brescia, Ateneo di Brescia, 1969, p. 53.



Se ciò consente di interpretare la dizione adottata nel documento del vescovo Alberto nel senso che la «matrix Ecclesia» era costituita da entrambe le chiese, a quale dei due edifici il vescovo intese riferirsi: a entrambi oppure all'uno piuttosto che all'altro?

Per tentare di rispondere a questi interrogativi assume un preciso rilievo la storia dei due edifici dopo il 25 dicembre 1222, allo scopo di verificare se siano stati o meno accertati elementi critici riconducibili al terremoto.

Per la chiesa di S. Maria de Dom, ben più nota come la Rotonda, disponiamo di una nutrita serie di verifiche che hanno riguardato il complesso dell'edificio, a partire dall'accurata relazione tecnica di Luigi Arcioni sul finire del secolo scorso<sup>18</sup>, sino agli scavi e relativi accertamenti effettuati negli anni: 1929, 1957, 1962 e 1975, operazioni i cui risultati sono stati puntualmente illustrati da Panazza<sup>19</sup>.

È possibile osservare che nella serie di rilevamenti non sono emersi elementi di alcun genere, anche di dettaglio, inquadabili nella variegata tipologia di effetti che un evento sismico può indurre in un edificio: sia sotto il profilo strutturale che nelle componenti ornamentali di età anteriore al XIII secolo.

Per la chiesa di S. Pietro de Dom è da ricordare che l'edificio esistente alla fine del 1222 venne demolito nel 1604: seguì la costruzione del Duomo nuovo. Pertanto per poter stabilire se la chiesa subì danni causati dal sisma occorre rifarsi alle fonti anteriori all'inizio del XVII secolo.

Tra le norme statutarie del Comune di Brescia<sup>20</sup>, antecedenti

<sup>18</sup> V. TERRAROLI, *Luigi Arcioni e i restauri ottocenteschi alla Rotonda: storie e problematiche di un intervento*, in *Le cattedrali di Brescia*, Brescia, Grafo, 1987, pp. 34-35.

<sup>19</sup> G. PANAZZA, *Le Basiliche paleocristiane e le Cattedrali di Brescia. Problemi e scoperte*, Brescia, Grafo, 1990, pp. 10-47.

<sup>20</sup> *Statuta Civitatis Brixiae*, MCCCXIII, a cura di F. Odorici, in H.P.M., *Tomus XVI, Leges Municipales, Tomus secundus, Augustae Taurinorum*, 1876, coll. 121, 185, 226, 230.

agli Statuti del sec. XIV, sono da citare in proposito le seguenti:

- anno 1254: «Item statuunt et ordinant correctores, quod potestas futura teneatur infra quatuor menses sui regimis facere aptari ed cohoperiri ecclesiam sancti Petri de Dom»;

- anno 1273: vengono stabilite le norme sulla raccolta, in occasione della festa dell'Assunta, di oblazioni «[...] in reparatione ecclesie Sancte Marie et Sancti Petri, secundum quod melius et utilius visum fuerit expedire [...]»;

- anno 1280: «[...] quid et quantum quodlibet comune et universitas debeat offerre ad dictum festum [beate Marie virginis de mense augusti] ad quod ecclesia Sancti Petri de Dom quo vehementer indiget refectione et cotidie minatur ruinam et debeat citius reaptari cum adiutorio dictarum oblationum»;

- anno 1280: premesse alcune norme in materia di successione ereditaria, con particolare riguardo a eventuali beni che possono essere acquisiti dal Comune di Brescia, si stabilisce: «[...] quicquid inde exactum fuerit conservetur et expendatur ad hedificationem seu constructionem et apationem ecclesie sancti Petri».

Avendo riguardo soprattutto alla prima norma che porta la data del 1280, le condizioni dell'edificio appaiono drammatiche:

- «[...] vehementer indiget refectione [...]»

- «[...] cotidie minatur ruinam [...]»

- «[...] debeat citius reaptari»

Non desta pertanto sorpresa il fatto che nello stesso anno si decida, come s'è visto sopra, di destinare somme alla costruzione della chiesa, prendendo atto che la sorte dell'edificio è segnata e tanto vale pensare ad un nuovo fabbricato.

In contrasto con il senso nettamente negativo delle norme che ho citato, è da rilevare che anche dopo il 1222 vennero portati a compimento - nella chiesa di S. Pietro de Dom - atti giuridici di vario contenuto, com'è attestato da alcune pergamene del Mona-

stero di S. Giulia<sup>21</sup>. Il contrasto diventa ancora maggiore se si tien conto delle seguenti notizie contenute nel saggio di Archetti<sup>22</sup> su Berardo Maggi:

- anno 1275: in S. Pietro de Dom svolge i propri lavori il collegio dei compromissari che sceglierà il candidato alla carica di vescovo;
- anno 1287: viene decisa la costruzione, nell'edificio in questione, di una cappella e di un altare dedicati a S. Caterina;
- anno 1303: gli eredi di un cittadino *de Caszago* provvedono alla dotazione di due prebende, a favore della cattedrale di S. Pietro de Dom;
- anno 1304: la stessa cattedrale è scelta quale sede per concordare il matrimonio di una nipote del vescovo Berardo.

In sintesi tra il 1223 e il 1304 vengono celebrati atti o realizzate opere in un edificio che, almeno dal 1280, minacciava ogni giorno di crollare.

In realtà si registrano altri casi, in particolare nel corso del Medio Evo, di edifici che pur presentando seri problemi anche sotto il profilo della statica, erano ugualmente sede di attività. Ne abbiamo significativa conferma nella sentenza sulla *redificatio* del *castrum* di Vallio (Brescia), edificio semidistrutto dal sisma del 25 dicembre 1222, atto che viene formalizzato nel 1236 nel *castrum* stesso: è l'argomento del successivo capitolo.

I seri problemi che turbavano gli amministratori del comune di Brescia, a proposito dell'edificio di S. Pietro de Dom, derivavano solamente dalla vetustà del medesimo, o vennero provocati oppure aggravati dal terremoto?

<sup>21</sup> R. ZILIOI FADEN, *Le pergamene del monastero di S. Giulia di Brescia ora di proprietà Bettoni-Lechi, 1043-1590*, Regesti, M.B.H.F., VII, Brescia, Ateneo di Brescia, 1984, pergamene 227 e 228.

<sup>22</sup> G. ARCHETTI, *Berardo Maggi vescovo e signore di Brescia. Studi sulle istituzioni ecclesiastiche e sociali della Lombardia orientale tra XIII e XIV secolo*, Brescia, Fondazione Civiltà Bresciana, 1994, pp. 71, 177, 420-421 e n. 525, 443.

Le fonti non si esprimono con chiarezza sulle cause delle difficili condizioni, anche strutturali, nelle quali si trovava la chiesa. A più di un'interpretazione, ad esempio, si presta quanto afferma il papa Clemente VIII nel «Breve Apostolicum pro fabrica de Dom» del 15 giugno 1598<sup>23</sup>. Il documento costituisce la sanzione definitiva in ordine alla necessità di demolire *in toto* la cattedrale di S. Pietro de Dom, per costruirne una nuova. Il papa rileva come l'antica chiesa «eo loco posita sit in quo ob preteritas eius civitatis ruinas sepius secutas eiusdem Urbis solum ad tantam altitudinem exerevit ut ad eam plus minus viginti gradibus descendant et coelo pluvio maxima aquarum vis in eam defluant». D'altronde, conclude il documento papale, «eandem ecclesiam peritorum iudicio nulla ratione resarciri posse invenisset eius restauranda».

Un precedente pontefice, Pio IV, in una bolla del 25 agosto 1564 aveva d'altro canto definito la cattedrale in questione «insalubris et prope inhabitabilis»<sup>24</sup>. Le antiche rovine della città, «sepius secutas», alle quali fa riferimento Clemente VIII, di tale consistenza da sollevare il suolo circostante in misura imponente, non possono non essere ricondotte agli edifici circostanti, primo fra tutti quello della cattedrale di S. Pietro de Dom: vale a dire l'origine delle rovine è da collocare in situ.

Né nel «breve» di Clemente VIII né nella bolla di Pio IV vi è cenno del sisma del 1222, tanto meno quale causa delle rovine e della quasi inabitabilità della cattedrale di S. Pietro de Dom. Non può sorprendere che a poco meno di quattrocento anni dall'evento se ne sia perduto il ricordo; è molto probabile, inoltre, che né l'uno né l'altro pontefice conoscessero il documento del vescovo Alberto.

<sup>23</sup> ASBs, ASC, n. 1538, ff. 129r-131v.

<sup>24</sup> ASBs, ASC, n. 1564, 160/131/II.

### 1.2. Il palazzo vescovile

Nella *Cronica* redatta da Salimbene de Adam, forse il maggiore annalista italiano del sec. XIII giustamente considerato una fonte preziosa ed affidabile di notizie con particolare riguardo agli eventi naturali del suo tempo, il religioso di Parma, in occasione della morte del vescovo Alberto da Reggio (avvenuta nel 1247, mentre rivestiva la carica di patriarca di Antiochia, dopo essere stato a capo della diocesi di Brescia tra il 1213 e il 1229) scrive: «Et patroarcha Antiochenus obiit apud Lugduni [Lione], qui fuit de Robertis de Regio; et tempore magni terremotus erat episcopus Brixiensis, et ad clamorem cuiusdam fratris Minoris, qui morabatur cum eo, dum episcopus esset, cameram fuisset egressus, et post egressum immediate ex concussione terremotus camera cecidisset, ita hoc beneficium cognovit a Deo, quod totaliter est conversus ad ipsum»<sup>25</sup>.

La descrizione dell'episodio nella *Cronica* (non segnalata nello studio Enel) è, allo stato attuale della ricerca, l'unica notizia di un crollo parziale nell'edificio della sede vescovile che era situata subito a est delle due cattedrali. Dalle carte del Monastero di Serle<sup>26</sup> apprendiamo che la *domus episcopalis* era dotata di una «lobia rotunda» e di una «lobia quadra»: fu appunto nelle due lobie che vennero stesi i due documenti citati nelle carte. È noto infine che al palazzo vescovile era associata la cappella di S. Martino.

### 1.3. Il battistero di S. Giovanni Battista

Il battistero era ubicato in posizione frontistante la cattedrale di S. Pietro de Dom: venne demolito nel terzo decennio del sec. XVII.

Capriolo<sup>27</sup> scrive: «ne' medesimi tempi [metà sec. XIII] fu ristorata da nostri cittadini la fabbrica di S. Gio. Battista che minacciava rovina».

Nassino trascrisse il testo di un'epigrafe che, a suo dire, era murata «fora de la gesia de S.to Zoano Baptista [...] alto da tera circa braza cinque». Il testo è il seguente:

REDIFICATA EST ECCLESIA SANCTI IOHANNIS BAPTISTE TEMPORE BPNIFACII QUONDAM DOMINI CASTELANI CIVIS BONONIENSIS ET POTESTATIS BRIXIE. A.D. MCCCLVIII INDICIONE XII<sup>28</sup>.

Il Bonifacio indicato nell'epigrafe fu in effetti podestà di Brescia: intervenne alla stesura dell'«Instrumentum divisionis terrarum inter brixieneses et mantuanos», il cui testo è riportato dal Liber Potheris<sup>29</sup> che lo data al 13 ottobre 1254. La partecipazione di Bonifacio alla formalizzazione dell'atto è documentata dal testo medesimo nel quale Bonifacio è denominato «dom. bonifacius quondam domini castellani de bononia potestas brixie».

Poiché l'epigrafe trascritta nel manoscritto di Nassino è data 1259, il riferimento al tempo di Bonifacio sembra significare che la stessa sarebbe stata collocata sul muro della chiesa qualche anno dopo la riedificazione. Né Capriolo né Nassino accennano alle ragioni che determinarono la necessità della riedificazione.

Ho ritenuto utile inserire comunque la segnalazione nel quadro di questa nota, in ragione del fatto che il battistero era ubicato in prossimità della cattedrale di S. Pietro de Dom: non si può escludere quindi che almeno una parte dell'edificio del battistero abbia concorso all'accumularsi delle rovine che cingevano, come si afferma nel documento del papa Clemente VIII, la cattedrale. Second-

<sup>27</sup> E. CAPRIOLO, *Dell'istorie della città di Brescia*, Venezia, 1774, p. 104.

<sup>28</sup> P. NASSINO, *Registro di cose di Brescia*, BBQ, ms. C.1.15, f.15v.

<sup>29</sup> *Liber Potheris*, coll. 837-838.

<sup>25</sup> *Cronica*, a cura di G. Scalia, I, Laterza, Bari 1966, pp. 258-259, 262.

<sup>26</sup> BARBIERI e CAU, *Le carte del Monastero di S. Pietro in Monte di Serle*, pp. 174-175; 335-337.

do Volta<sup>30</sup> la chiesa dedicata a S. Giovanni Battista fu «sicuramente danneggiata dal terremoto del 1222»: a mio giudizio non si può andare oltre un'ipotesi che richiede di essere verificata.

#### 1.4 *Il molendinus vetus di S. Giovanni de foris*

Tra i documenti conservati nel Fondo di Religione presso l'Archivio di Stato di Milano, documenti che sono stati oggetto di analisi dagli autori dello studio Enel, merita attenzione quello concernente un antico mulino situato a ovest della chiesa di S. Giovanni de foris<sup>31</sup>.

Dal testo della pergamena, trascritto nello studio citato, riprendo il brano che contiene riferimenti al sisma del 1222:

[...] prepositus ecclesie Sancti Johannis de foris cum suis fratribus [...] dicunt quod molendinus vetus debet habere quatuor canalles cum omnibus instrumentis convenientibus ad dictas canalles [...] quae canalles sint eiusdem ad latitudinis qualis erant ante terremotum.

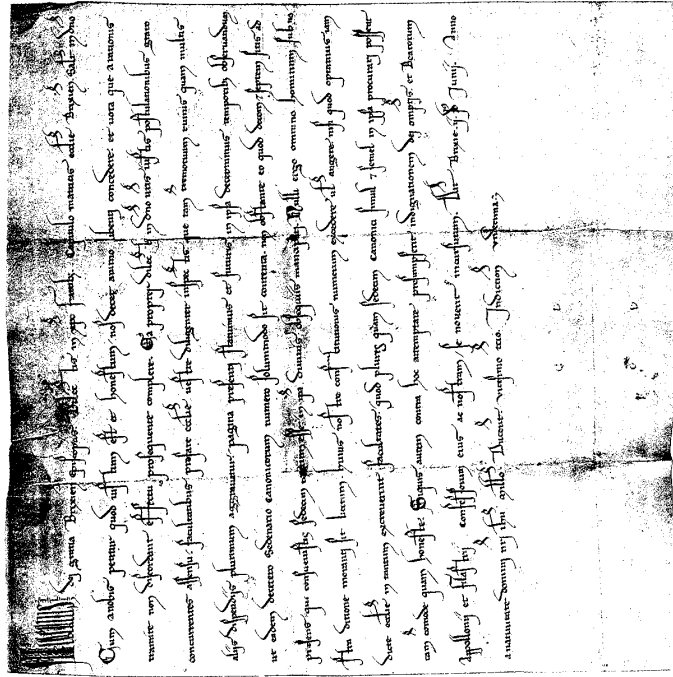
A giudizio degli autori dello studio Enel la pergamena è databile alla fine del XIII secolo o tutt'al più ai primi anni del XIV. Il mulino era al servizio della chiesa di S. Giovanni de foris e probabilmente anche della vicina chiesa di S. Luca come si può dedurre da un manoscritto conservato presso l'Archivio di Stato di Brescia, il cui testo è il seguente: «Per cives et distrectuales fiat allargatio pontis super flumen magnum [il torrente Grande] extra portam S. Johannis Foris [...] prope molendinum S. cti Luce»<sup>32</sup>.

Secondo gli autori dello studio Enel il terremoto del 1222 è,

<sup>30</sup> V. VOLTA, *Il Broletto e la Cittadella. Appunti e documenti per una rilettura del monumento e del suo contesto nel cuore della vecchia Brescia. Secoli XIII-XVIII*, Brescia, Provincia di Brescia, 1993, p. 78.

<sup>31</sup> ASMi, *Fondo di Religione*, pergamena n. 75, S. Giovanni fuori le mura (Brescia).

<sup>32</sup> ASBs, *Fondo ASC*, n. 1016 A.



Il documento del vescovo Alberto al Capitolo della Cattedrale (12 giugno 1223). L'autore è grato a Mons. A. Masetti Zannini per la cortese disponibilità.

nella pergamena, «ricordato come elemento di datazione, evidenziando che fu sentito e vissuto dai contemporanei come fatto socialmente importante»<sup>33</sup>.

A mio giudizio l'attenzione va centrata sull'ultima frase del documento: «qualis erant ante terremotum». Vale a dire i religiosi chiedono che i canali che adducono l'acqua al mulino siano non soltanto ricostruiti, ma si deve aver cura che essi abbiano la medesima larghezza antecedente il terremoto.

<sup>33</sup> FERRARI, GUIDOBONI e POSTHISCHL, § 2.17.



È cioè necessario, nell'interpretazione del significato del riferimento al sisma, andare oltre il mero valore cronologico: la particolare insistenza dei religiosi sulla necessità di assicurare ai canali un'ampiezza che, al momento in cui la petizione è formulata, evidentemente non sussiste, ma è da ripristinare nella dimensione antecedente al terremoto, non può non correlare lo stato della struttura in questione all'evento e ai suoi effetti.

#### 1.4 La chiesa dei SS. Faustino e Giovita ad sanguinem

Il vescovo di Brescia, Alberto, nel maggio del 1221 concede ai frati di S. Domenico la chiesa dei SS. Faustino e Giovita ad sanguinem ed i relativi frutti. Dal testo dell'atto apprendiamo che la chiesa «jacet juxta stratum Cremonensem Civitatis Brixiae» e che l'investitura in proposito al priore dei frati, Guala, è estesa «ad omnibus domibus quae sunt in sedimine dictae Ecclesiae Sanctorum Martyrum; et de clauso, quod jacet iuxta dictam Ecclesiam».<sup>34</sup>

Con il breve del 17 giugno 1227 papa Gregorio IX approva la decisione del vescovo di Brescia con la quale viene disposto che le prebende riservate ai canonici della chiesa sino ad allora, alla loro morte siano destinate «[...] in usus pauperum, et reparationem ipsius ecclesie ac domorum suarum, que terremotus tempore corruerunt, ac restitutionem ornamentorum, quibus omnino destituta est ipsa ecclesia [...]»<sup>35</sup>.

<sup>34</sup> ASBs, Fondo di Religione, Ospedale Maggiore S. Domenico, Libro S. instr. f. 106r; G.G. GRADENIGO, *Brixia Sacra. Pontificum Brixianorum Series*, Brescia, 1755, p. 244.

<sup>35</sup> GRADENIGO, pp. 249–250; TIRABOSCHI, 1767, pp. 165–166; A. POTTHAST, *Regesta Pontificum Romanorum. Inde ab anno post Christum natum MCXCVIII ad MCCCIV*, t. I, Berlin, 1874, n. 7942, p. 687; C. VIOLANTE, *La chiesa bresciana nel Medioevo*, in *Storia di Brescia*, I, Brescia, 1963, p. 1070; G. ARCHETTI, *Gli Umiliati e i vescovi alla fine del Duecento. Il caso bresciano*, in *Sulle tracce degli Umiliati*, a cura di M.P. Alberzoni, A. Ambrosioni e A. Lucioni, Milano, Vita e Pensiero, 1997, p. 303 n. 94.

I documenti e i testi sopra citati consentono di stabilire:

- a) l'ubicazione dei SS. Faustino e Giovita ad sanguinem, in seguito intitolata a S. Afra, poco a sud est del centro storico della città;
- b) l'esistenza di un gruppo di edifici di proprietà della chiesa, situati «in sedimine» della chiesa stessa;
- c) i pesanti effetti prodotti da un evento sismico – che, tenuto conto della data del documento di Gregorio IX, si deve identificare con l'evento del 1222 – a seguito del quale sia la chiesa che le case andarono in rovina, con la perdita totale degli ornamenti della chiesa medesima.

La gravità dei danni subiti dal complesso dei fabbricati il cui perno era costituito dalla chiesa fu senza dubbio elevata anche se, come rileveremo tra poco, non sembra si possa sostenere una totale demolizione quanto meno dell'edificio della chiesa.

A mio giudizio trattasi del dato più rilevante sull'entità e anche sulla distribuzione topografica degli effetti del terremoto del 1222 nel territorio urbano. Il fatto che nel resoconto degli effetti in questione, redatto nello studio Enel, non sia compreso il caso in esame conferma quanto complessa e non agevole sia la ricerca sulla sismicità storica.

Sulla consistenza dei danni subiti dai fabbricati civili di proprietà della chiesa, i documenti che sinora ho potuto reperire non ci forniscono dati analitici. È comunque possibile osservare che:

- a) l'esistenza della chiesa nel 1239 emerge da un documento correlato ai programmi urbanistici del comune di Brescia, dopo il terremoto. Esso dice: «[...] SS.mi Faustini et Jovita ad sanguinem in contrata S.cti Alexandri, 1239 ... Ecclesia dictorum Sanctorum a mane dicte strate occupantur bona quedam partim pro strata exteriori et partim pro interiori pro ampliatione civitatis»<sup>36</sup>;
- b) il vescovo di Brescia, Azzone, il 30 gennaio 1245 investe il

<sup>36</sup> ASBs, ASC, n. 1016 C, ff. 412 v, 423 v, 424 r.

frate Giovanni di Contignaga di un terreno di tre tavole situato «extra portam Matulf», a nome della chiesa dei SS. Faustino e Giovita ad sanguinem<sup>37</sup>. La porta era posta nelle vicinanze della chiesa;

c) nel 1249 papa Innocenzo IV invita il vescovo Azzone a concedere agli Umiliati la chiesa in questione con una casa e l'annesso orto<sup>38</sup>;

d) il 7 novembre 1275 viene stipulata una convenzione tra la chiesa in questione e l'ospedale di S. Giulia per il recupero di un prestito concesso dalla chiesa all'ospedale per le spese che erano state sostenute «in edificiiis structis in uno sedimine dicte ecclesie»<sup>39</sup>.

e) nel maggio del 1309, nel quadro della costituzione sinodale è statuito: «[...] in Ecclesia SS. Faustini et Jovita ad sanguinem unus praepositus presbyter et tres fratres sacerdotes»<sup>40</sup>.

Dall'insieme dei documenti e dei testi citati sembra emergere una realtà meno drammatica di quella configurabile sulla base dell'espressione adottata nel breve di papa Gregorio IX: chiesa e case *corrueunt*. Tuttavia che danni molto gravi siano stati prodotti dal sisma del 1222 soprattutto all'edificio della chiesa non vi possono essere dubbi se si tien conto del documento trascritto da Luchi<sup>41</sup>, datato 1240, aprile 20:

[...] In Christi nomine die sabati decimo excunte aprili in canonica brixienne presentia dominus azonis acid. brixienis [...]. Ibi dominus Cavalcanus archipresbiter brixienis auctoritate domini gregorij de monte longo Aptice sedis legati qua in hac parte fungebatur [...]

<sup>37</sup> G.L. LUCCHI, *Codex Diplomaticus Brixienis ab anno Chr. DCCCXLVII ad an. Chr. MCCCXII*, BBQ, ms. 0.VIII.46, ff. 50r e 61r.

<sup>38</sup> TRABOSCHI, *Vetera Humiliatorum Monumenta* pp. 232-233; ARCHETTI, *Bernardo Maggi*, pp. 131-132.

<sup>39</sup> ARCHETTI, *Bernardo Maggi*, p. 72 e n. 42.

<sup>40</sup> GRADENIGO, *Brixia Sacra*, pp. 297-298.

<sup>41</sup> LUCHI, *Codex Diplomaticus Brixienis*, f. 61r.

cognito p. magistris et alias personas super expensis a fratribus predictoribus brixien. in laboreijs et hedificijs per eosdem factis ad ecclesiam sancti faustini ad sanguinem [...] summa quarum expensarum ascendebat in ducentis libris imp.

Cavalcano a seguito di ciò riconosce i frati quali creditori verso la chiesa di S. Faustino e Giovita *ad sanguinem* della somma di duecento lire imperiali «ut sibi satisfaciant in dictis bonis possessionibus et redditibus dicte ecclesie [...] Actum est hoc anno MCCXL Ind. XIII».

In sostanza, come ha osservato Violante<sup>42</sup>, viene concesso ai frati di rivalersi «sulle rendite dei beni appartenenti alla stessa chiesa di S. Faustino», a titolo di rimborso delle spese da essi sostenute per avere «restaurato la chiesa e le case di S. Faustino».

Per valutare l'entità della somma, non soltanto in termini di puro significato monetario ma soprattutto sotto il profilo della consistenza anche tecnica dell'intervento, credo sia possibile valersi del confronto con il valore di immobili integri che furono oggetto di compravendita in un periodo non lontano da quello durante il quale vennero affrontate le spese.

A questo scopo ritengo possano bene prestarsi due indicazioni del Liber Potheris<sup>43</sup>:

1254, dicembre 6: il comune di Brescia paga 60 lire imperiali per l'acquisto di un immobile per abitazione «in castro Mosi»;

1254, dicembre 12: il comune di Brescia paga 44 lire imperiali, quota corrispondente alla quarta parte del prezzo totale di acquisto «palatii sive casaturis et unius domus terranae ubi prope in castro de Mostio iacent».

Un ulteriore elemento di valutazione ci viene offerto da un documento del Monastero di S. Pietro in Monte di Serle<sup>44</sup>: nel

<sup>42</sup> VIOLANTE, *La chiesa bresciana nel Medioevo*, p. 1076.

<sup>43</sup> *Liber Potheris*, coll. 831-832.

<sup>44</sup> BARBIERI e CAU, *Le carte del monastero di S. Pietro in Monte di Serle*, pp. 386-387.

1196 Martino di Serle riceve dal fratello, per un terreno sul quale insiste una casa e una *curia* siti in *villa Casali* di Serle, 18 soldi imperiali. Dal noto testo del Martini<sup>45</sup> apprendiamo che nel periodo intercorrente tra il 1205 e il 1254 il valore di una lira imperiale era pari a 20 soldi imperiali.

Tradurre in termini attuali l'ammontare delle spese sostenute per riparare la chiesa dei SS. Faustino e Giovita *ad sanguinem*, nonché alcune case di proprietà della chiesa stessa, per i danni conseguenti al terremoto del 1222, è peraltro un esercizio non privo di rischio. Ci basti comunque sapere che l'importo delle spese fu superiore e di gran lunga a quello che nel 1254 era il valore complessivo di un edificio a casa-torre e di un altro immobile d'uso civile in Mosio, pari a 176 lire imperiali. Dal confronto emerge che si trattò di un intervento di impegno economico decisamente più elevato di quanto non avrebbe richiesto un'opera di restauro.

## 2. *Il castrum di Vallio*

Il 29 novembre del 1236, nel *castrum* di Vallio (Brescia), il monaco Gezio pronuncia la sentenza che conclude «de omnibus litibus et questionibus et contentionibus que vertebantur» tra il Monastero di Serle e la comunità di Vallio «nominatim de redificando castra sive roca de Valibus».

Archetti<sup>46</sup>, nel saggio su Berardo Maggi, trascrive pressoché integralmente il testo della sentenza dalla pergamena n. 3434 delle carte del Monastero, sentenza che espone con un notevole dettaglio le opere necessarie alla riedificazione del *castrum*:

- ricostruzione integrale delle mura del castello e del muro della casa-torre;

- ricostruzione delle porte d'accesso al *castrum*;
- rifacimento delle torri di cortina e dei cammini di ronda che correvano lungo le mura del *castrum* come della casa-torre;
- rifacimento della copertura dell'edificio del *castrum* sia nella parte a scandole in legno che in quella a tegole.

La sentenza assegna rispettivamente alla comunità di Vallo il compito di «levare, et facere sive redificare totum murum et andatotes [cammini di ronda] castrum sive roca de Valibus»; al Monastero di «facere murum et andatotes casaturi usque ad murum quod trait ad granalorum sive cisterna». Credo se ne possa dedurre che almeno nel primo caso si intenda ricostruzione integrale, tanto che si ripete con insistenza il termine «redificare». Altro elemento degno di attenzione è l'onere assegnato alla comunità di fornire le pietre necessarie al rifacimento del muro, della torre e delle porte (è presumibile che si intendesse i pilastri che reggevano le porte stesse): sottolinea infatti Menant<sup>47</sup> che dall'insieme della sentenza si può evincere che il *castrum* era una costruzione *de pierre*.

Quali le ragioni di un'opera di riedificazione tanto complessa? La sentenza è esplicita: il *castrum* deve essere riedificato «secundum quod erat ante terremotum». Che si tratti del sisma del 25 dicembre 1222 non v'è dubbio, anche perché l'entità degli effetti è tale da far escludere che essi siano stati prodotti da un evento sismico ad elevata intensità che si sia manifestato nel corso dei quattordici anni che separano la data della sentenza dal terremoto del 1222, considerato che non vi sono in proposito indicazioni di sorta nelle fonti documentarie: né per il territorio bresciano né per quelli contermini.

Va inoltre escluso, a mio giudizio, un riferimento al terremoto del 1117 (ma su di esso si tornerà più oltre, per altre ragioni), se

<sup>47</sup> E. MENANT, *Campagnes lombardes du Moyen Age. L'économie et la société rurales dans la région de Bergame, de Cremona et de Brescia du Xe siècle, au XIIIe*, Roma, Ecole française de Rome, 1993, p. 451 e n. 301.

<sup>45</sup> A. MARTINI, *Manuale di Metrologia, ossia misure, pesi e monete*, 1883, p. 352.

<sup>46</sup> ARCHETTI, *Berardo Maggi*, p. 196 e n. 196.

non altro per il periodo di tempo ultrasecolare che lo separa dall'anno della sentenza.

Una seconda annotazione va formulata in relazione al fatto che l'atto del monaco Gezio venne steso «in castro de Valibus»: ciò sta a significare che la struttura era rimasta agibile almeno in parte.

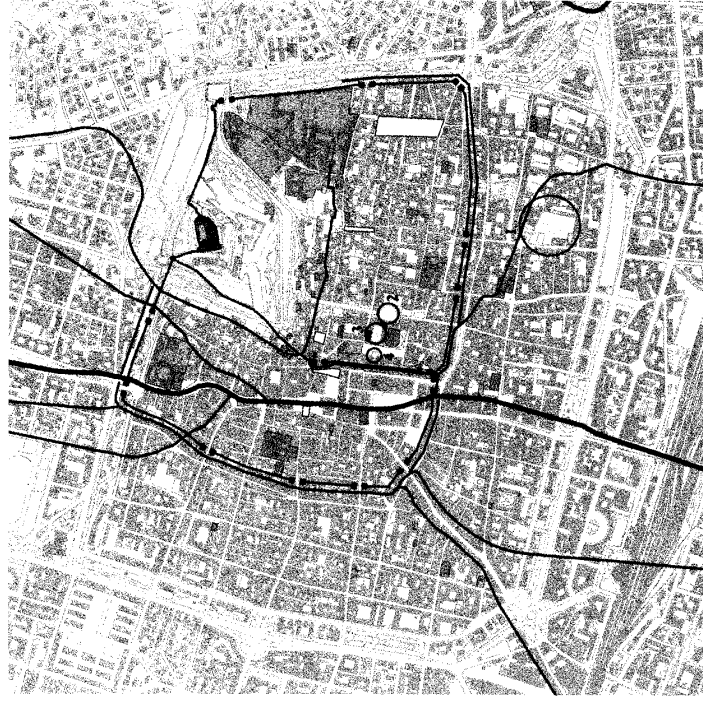
La localizzazione del *castrum* nel territorio dell'attuale comune di Vallio Terme è resa possibile sia dall'accurata descrizione della sua struttura contenuta in un altro saggio di Archetti<sup>48</sup> (l'Aurore precisa che in particolare la casa-torre del *castrum* era ubicata vicino alla chiesa); sia dal documento n. 169, datato 28 febbraio 1200, trascritto da Barbieri e Cau<sup>49</sup> nel volume sulle carte del Monastero di S. Pietro in Monte di Serle. Il documento riguarda la vendita di un appezzamento di terra «que iacet in Lavarono, in territorio Valli, prope Vendram [il corso d'acqua che attraversa il fondo valle di Vallio], cui coheret: a mane et a monte ecclesia Sancti Petri de Valio, a meridie Venda [...]». Tutto ciò concorre a consentire la localizzazione del *castrum* in una posizione coincidente con l'attuale chiesa parrocchiale di Vallio (si veda in proposito la cartina schematica di fig. 1 della conca di Vallio, elaborata sulla base della Tav. IGM scala 1:25.000 Gavardo 47 I NE, ed. 3).

Il *castrum* di Vallio deve pertanto essere tenuto ben distinto, anche per la localizzazione, dalla struttura denominata *arx Bernaggi*, costituita dai *villani* della località di Bernacco, sulla sommità della Rocca di Bernacco, culminazione situata nella zona nord-occidentale del territorio di Vallio. Nel doc. 88 delle carte del Monastero di Serle<sup>50</sup>, dalle dichiarazioni dei testi chiamati a pronunciarsi su numerosi aspetti della controversia in atto tra il Monastero di Serle e i *villani* di Bernacco, emerge con chiarezza

<sup>48</sup> G. ARCHETTI, *La vite in Lombardia in età medievale. Note storio-geografiche sull'ultimo decennio di studi e ricerche*, «Civiltà bresciana», IX, 1, 2000, pp. 24-25.

<sup>49</sup> BARBIERI e CAU, *Le carte del monastero di S. Pietro in Monte di Serle*, pp. 435-436.

<sup>50</sup> *Ibidem*, pp. 229-230.



Gli edifici del centro storico di Brescia (fine sec. XII) colpiti dal sisma del 1222 (elaborazione del dr. A. Breda): 1, Chiesa dei SS. Faustino e Giovita *ad sanguinem*; 2, Palazzo vescovile; 3, S. Pietro *de Domis*; 4, Battistero di S. Giovanni Battista.

che l'*arx Bernaggi* e l'*arx Vallium* erano due entità diverse, non soltanto topograficamente ma anche in rapporto alla loro rispettiva proprietà. Quanto allo stato delle condizioni dell'*arx* di Bernacco, il teste Rivanus dichiara che «ipse vidit arcem Bernaggi cum nondum destructa erat».

Mentre il teste Rivanus non fornisce indicazioni sulle cause della distruzione, un altro – Otto – afferma che non soltanto «non vidit arcem Bernaggi alter esse nisi ut nunc», ma aggiunge che «non



vidit eam destructam». Il contrasto tra le due deposizioni è tale da non consentire di stabilire se nel 1176 l'arx Bernagi fosse ancora integra o distrutta. L'ipotesi che l'eventuale distruzione sia stata prodotta dal terremoto del 1117 comporterebbe che il teste Rivanus fosse in grado di ricordare qual'era lo stato dell'edificio 59 anni prima di essere udito dal giudice: non impossibile, ma piuttosto problematico.

Un'altra indicazione è offerta dal documento di Serle: apprendiamo dai testi interpellati dai giudici che essi ed altri *villani* «comunter reficiunt murum et castrum Vallis, cum necesse est» e che provvedono a «portare scandulas ad cooperiendum turres de castro Vallis», anzi a «reficere castrum et turrem que est a sera parte».

Gli interventi che nel 1176, e/o prima di quell'anno, gli uomini di Bernacco effettuavano per la manutenzione del *castrum* di Vallio, presentano più di un'assonanza con quelli disposti dalla sentenza del 1236, a partire da quel «reficere castrum» che non è molto dissimile dal riedificare della sentenza medesima. Nel contempo si può notare che mentre sulla causa che aveva imposto le opere disposte dal monaco Gezio il testo della sentenza è del tutto chiaro, il documento sulla controversia tra il Monastero di Serle e la comunità di Vallio non ci dice le ragioni degli interventi sul castrum di Vallio richiamati nell'atto del 1176. È possibile avanzare in proposito almeno due ipotesi: eventi meteorologici di elevata violenza è presumibile abbiano arrecato danni anche consistenti a strutture non dotate certamente di forte capacità di resistenza; ma soprattutto non va dimenticato, è la seconda ipotesi, che il *castrum* di Vallio fu oggetto di pesanti azioni di guerra dei soldati dell'imperatore Federico I, non molti anni prima della stesura del documento del 1176: esattamente nel 1158<sup>51</sup>.

<sup>51</sup> SETTIA, *Uomini, ambienti e istituzioni nei documenti di S. Pietro in Monte di Serle*, p. CXXVII.

Prima di proporre un'analisi dei dati offerti dai documenti citati da un'angolazione del tutto diversa da quella che si riconduce ai documenti del periodo storico in esame – vale a dire nei termini propri delle scienze della terra – è da ricordare che altri contributi erano stati in passato proposti da altri Autori in ordine alle vicende del *castrum* di Vallio e della rocca di Bernacco. Trattasi di Guerini, Vaglia, Fappani e Laeng<sup>52</sup>; i lavori citati in nota non apportano tuttavia elementi utili ai fini della presente ricerca.

La stretta connessione tra l'evento sismico del 1222 e le consistenti opere di riedificazione e ripristino è documentata, come si è visto, soltanto per le strutture del *castrum* inteso in senso stretto: non vi è alcun cenno, nella sentenza del 1236, a danni ad altre strutture, sia che fossero situate all'interno del *castrum* (la chiesa e le case di abitazione dei contadini) o all'esterno di esso.

Un tentativo di interpretazione dei caratteri, innanzi tutto dell'intensità, del terremoto che apportò gravissimi danni al *castrum* di Vallio, basata solamente sugli elementi offerti dalle fonti documentarie, si presenta quanto meno poco agevole, anche se la qualità dei danni che è possibile inferire dalle opere che la sentenza del monaco Gezio definisce necessarie perché la struttura torni ad essere «quod erat ante terremotum», sembra indicare un'intensità compresa tra l'VIII° e il IX° della scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Un prezioso contributo all'analisi della vicenda ci viene dall'*Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como*, elaborato da Castaldini e Panizza<sup>53</sup>. Vi sono indicate e descritte le

<sup>52</sup> P. GUERRINI *Il monastero benedettino di S. Pietro in Monte a Serle. Notizia e documenti inediti (secoli XI-XV)*, «Memorie storiche della diocesi di Brescia», s. II, Brescia, 1931; U. VAGLIA, *Storia della Valle Sabbia*, t. I, Brescia, Ateneo di Brescia 1963, p. 98; A. FAPPANI, *La parrocchia di Vallio*, Brescia, Fonti Castello di Vallio, 1966; G. LAENG, *Il toponimo di Vallio*, Brescia, Fonti Castello di Vallio, 1966.

<sup>53</sup> D. CASTALDINI e M. PANIZZA, *Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como (Italia settentrionale)*, «Il quaternario», 1991, 4, 1991.

fratture crostali in corrispondenza delle quali si è verificato uno spostamento relativo tra i blocchi delle rocce interessate, e quindi con carattere di faglie, nel periodo compreso tra il Pleistocene medio e tutto l'Olocene: vale a dire tra 700.000 anni BP (*before present*) e l'Attuale.

Nell'area in esame sono state individuate due faglie, ritenute attive, che nell'*Inventario* sono censite rispettivamente al n. 111 e al n. 112. Ad esse è attribuita una denominazione che coincide con le località poste ai punti estremi dello sviluppo della dislocazione: Binzago-Oriolo (frazione del Comune di Vallio) la prima; Soprapiante-Caschino (frazione di Vallio) la seconda. Un'altra faglia, attiva, interessa il territorio di Gavardo, ma si estende all'esterno della zona in esame.

Il tracciato delle faglie n. 111 e n. 112 che intersecano il territorio di Vallio è riportato nella cartina schematica di fig. 1, unitamente ad altri elementi cui farò cenno in seguito.

Castaldini e Panizza, dopo aver classificato entrambe le faglie come inverse (cioè da compressione) e definite gli altri caratteri (direzione ed immersione), indicano:

per la faglia di Binzago-Oriolo: «numerose fasce con cataclasi e alcuni liscioni di faglia», fornendo numerosi elementi di valutazione morfostrutturale quali un «evidente allineamento di valli rettilinee, scarpate, contropendenze [...]» che confermano trattarsi di una dislocazione propria di processi di dinamica strutturale recente;

per la faglia Soprapiante-Caschino: la roccia affiorante, appartenente alla Dolomia principale, è «chiaramente fagliata», e nel contempo sussistono «numerosi indizi morfologici particolarmente freschi ed evidenti».

Sono pertanto numerosi i caratteri che sembrano consentire di definire entrambe le dislocazioni come *surface faults* o faglie da terremoto: concorrono a suggerire questa interpretazione sia l'affioramento in superficie di fasce cataclastiche (rocce ad alto grado

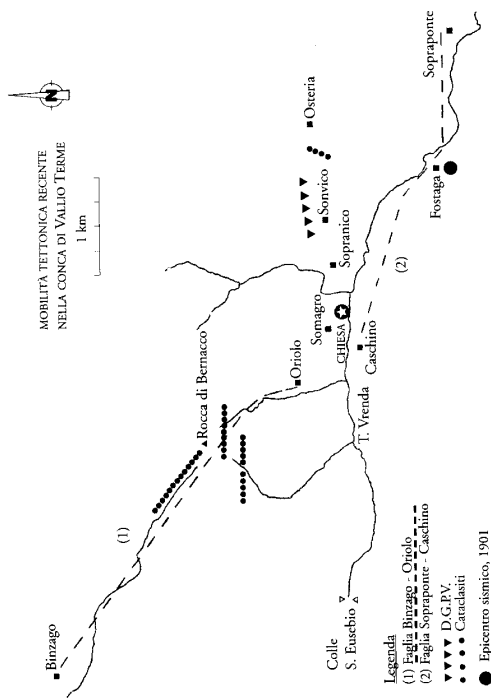


Fig. 1. Cartina schematica: interpretazione di elementi e fenomeni correlati alla mobilità tettonica recente nella conca di Vallio Terme.

di frantumazione) che di liscioni di faglia, prodotti entrambi dall'estrema violenza espressa dalla dislocazione, nonché gli indizi «particolarmente freschi» osservabili sempre in superficie. A giudizio di Magri<sup>54</sup> le *surface faults* che «di regola si verificano solo nell'area epicentrale dei terremoti, sono dovute a eventi di forte intensità di IX° e superiore».

Nella cartina schematica di fig. 1 ho indicato, oltre agli elementi descritti da Castaldini e Panizza:

a) la localizzazione dell'epicentro del terremoto verificatosi alle ore 16,40 dell'8 novembre 1901, nei pressi della località di Fostaga, registrato nel Catalogo dei terremoti italiani<sup>55</sup> con intensità

<sup>54</sup> G. MAGRI, *Dislocazioni sismiche e valutazioni d'intensità, in I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea*, a cura di E. Guidoboni, Bologna, Società Geofisica Ambiente, 1989, p. 417.

<sup>55</sup> *Catalogo dei terremoti italiani*, 1985.

compresa tra il IV° e il V° MCS, e un valore della magnitudo pari a 3.3. È di tutto rilievo la posizione dell'epicentro in prossimità del decorso della faglia Sopraponte-Caschino;

b) una marcata linea di frattura con una lunghezza complessiva di oltre 1.100 metri che ho rilevato lungo il versante settentrionale della conca di Vallio, a monte della località Sonvico, nel tratto compreso tra l'inizio del corso d'acqua denominato roggia Tortesella e il vallone del canale Malorbio, non lontano dalla Fonte di Vallio. Il disturbo in questione, caratterizzato in molti tratti da un netto abbassamento del limite a valle e da una profondità che spesso supera ampiamente i 12-15 metri, può farsi rientrare a mio giudizio nella fenomenologia delle deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV).

Tornando alle indicazioni contenute nel lavoro di Castaldini e Panizza merita attenzione il decorso della lunga faglia Binzag-Oriolo. Si noterà che essa interseca, associata a estese fasce di cataclasti, la zona della Rocca di Bernacco. Sono numerosi e vistosi i liscioni di faglia, già segnalati dagli Autori citati, riscontrabili lungo il versante meridionale della culminazione della Rocca tra i 530 e i 620 metri di altitudine slm.

Una diretta correlazione tra le due faglie e, rispettivamente: i gravissimi danni arrecati dal terremoto del 1222 al *castrum* di Vallio; la distruzione dell'*arx Bernagi* ad opera del sisma del 3 gennaio 1117 (qualora si rivelasse fondato quanto sostenuto dal teste Rivanus nel 1176), non è proponibile allo stato attuale della ricerca, pur essendo ipotizzabile a mio giudizio una riattivazione delle due dislocazioni in connessione con eventi sismici di elevata intensità, anche in epoca recente.

#### Note conclusive

È emerso dalle fonti e con il contributo dei testi citati che il *terremotus brixie* ha prodotto danni consistenti ad edifici sia nell'a-

rea urbana che a Vallio. Risulta pertanto confermata la tesi dello studio Enel secondo la quale il sisma interessò oltre che la città anche l'area della diocesi bresciana che si estende a est di Brescia: per l'area a sud della città non sono emerse dalla presente ricerca indicazioni di sorta. Per l'area urbana, si osserva nello studio citato, l'«analisi storiografica condotta permette di escludere che in essa si siano verificati effetti superiori al grado VIII° della scala MCS»<sup>56</sup>, valutazione condivisa nel Catalogo dei forti terremoti italiani<sup>57</sup>.

Sulla base degli elementi emersi, nella presente ricerca, dalle fonti esaminate o reinterpretate, ritengo sostenibile che gli effetti del sisma nella città consentano di stimare un'intensità compresa tra l'VIII° e il IX° MCS, e analogamente per la località di Vallio. Per quest'ultima resta, non definita ma non esclusa, l'eventuale connessione del terremoto del 1222 con le dislocazioni recenti accertate nella zona; così come non può escludersi la necessità di un riesame della stima dell'intensità qualora ulteriori ricerche permettessero di accertare ulteriori effetti del sisma in quel territorio, in particolare per edifici diversi dal *castrum* inteso in senso stretto.

Sull'evento del 3 gennaio 1117 sembrano proponibili alcune annotazioni.

Il terremoto in questione è stato definito da Guidoboni e Boschi<sup>58</sup> il «massimo storico dell'Italia settentrionale». Nel Catalogo del C.N.R., 1985, all'evento fu assegnato un valore di intensità del IX° con una magnitudo di 5,7; l'epicentro fu indicato poco a ENE della città di Brescia. Slejko<sup>59</sup>, nel confermare la data dell'evento con l'aggiunta che si verificò alle ore 21.30 gli attribuì un'in-

<sup>56</sup> FERRARI, GUIDOBONI E POSTPISCHL, *Studi e indagini*, §4, 1-2.

<sup>57</sup> *Catalogo dei forti terremoti in Italia*, pp. 197-199.

<sup>58</sup> GUIDOBONI E BOSCHI, *I grandi terremoti medievali in Italia*.

<sup>59</sup> SLEJKO, *Sismicità attuale dell'area benacense*, tab. p. 38.

tenità superiore al X<sup>o</sup> (10,5), e ne indicò l'epicentro in Verona. L'ubicazione fu confermata nel saggio di Guidoboni e Boschi che indicarono in Verona e a SE di essa la zona dei massimi effetti distruttivi, mentre nell'area a W del lago di Garda il sisma fu molto sentito, ma non vi si registrarono né crolli né danni apprezzabili.

Capriolo<sup>60</sup> afferma che «il venerabile Virale nostro cittadino» del Monastero di S. Pietro in Oliveto scrisse «che negli anni mille cento e diciotto cascarono dal terremoto, Case, Torri, e molte cime di monti»: anche prescindendo dall'errata indicazione della data del sisma, non è agevole stabilire quale credito meriti un documento nel quale non vi è indicazione alcuna della/e zona/e in cui l'evento si verificò. Peraltro sull'esistenza stessa del documento non si può andare oltre la citazione di Capriolo.

Negli *Annales Brixientensis* è contenuta una laconica nota: «Anno domini nostri 1117, hoc anno terremotus factus est»<sup>61</sup>, e nel Cod. B degli stessi *Annales* è annotato per l'anno 1117, un «terremotus magnus»<sup>62</sup>. In entrambi i testi non sono segnalati effetti dannosi.

Andenna<sup>63</sup> trascrive quanto affermato da un teste nel corso di una controversia tra alcuni macellai e il Monastero di S. Giulia. Il padre del teste gli narrò che «iste bance de beccariis tenentur per Sanctam Iuliam et que sunt iuxta domum Ranse [...] et dicit hoc esse parum terremotum». Il documento è datato 1173, aprile 1. L'Autore osserva che Villano di Arnaldo Ranza «a partire dal 1118, l'anno immediatamente successivo al tremendo terremoto»<sup>64</sup>, aveva preso in affitto un terreno di proprietà del Monastero. Il

<sup>60</sup> CAPRIOLO, *Dell'istorie della città di Brescia*, p. 84.

<sup>61</sup> *Annales Brixientensis*, cod. A, S. Giovanni de Foris.

<sup>62</sup> *Ibidem*, cod. B, S. Pietro in Oliveto.

<sup>63</sup> G. C. ANDENNA, *Foris muros civitatis. Lo spazio urbano fuori porta Brucciata dai Longobardi alla conquista veneta*, in *La Loggia di Brescia e la sua piazza. Evoluzione di un fulcro urbano nella storia di mezzo millennio*, Brescia, Grafo, 1993, p. 244 e nn. 27 e 28.

<sup>64</sup> *Ibidem*, p. 238.

sisma citato dal teste sembra essere pertanto quello dell'anno 1117. Un altro teste afferma, a proposito di alcuni elementi della vicenda, «dicit hec fuisse prope post terremotum».

In sei documenti appartenenti alle carte del Monastero di Serle<sup>65</sup>, trascritti da Barbieri e Cau, relativi al periodo compreso tra gli anni 1163 e 1189 e ad alcune controversie tra il Monastero e vari soggetti tra i quali le comunità di Nuvolera e di Serle oltre a privati, più testi fanno riferimento ad un terremoto come elemento di datazione di varie vicende (analoga-mente ai testi indicati da Andenna). Due dei testi, osserva Settia<sup>66</sup>, accennano ad un *terremotus maior*. Sia Barbieri e Cau quanto Settia ritengono, credo fondatamente, che trattisi – in tutte le deposizioni testimoniali – dell'evento del 1117. Le località da cui provengono i testi sono: Runcolo (Serle), Novelase (Vallio), Serle, Magrena (Serle), Marguzzo (Paitone), Paitone, Nuvolento, Nuvolera. Nessun testimone accenna a effetti dannosi del sisma.

Ancora tra le testimonianze concernenti una delle controversie documentate nelle carte del Monastero di Serle, in un manoscritto conservato nella Biblioteca Queriniana di Brescia<sup>67</sup>, viene ricordata la dichiarazione di un teste che «fa memoria» del terremoto del 1117, anno che viene definito *maioris terremotus*.

Per completare la breve rassegna dei documenti riferibili al periodo storico nel corso del quale si verificò il sisma in esame, giova citare i seguenti:

Zamboni<sup>68</sup> dà notizia di alcuni *istromenti* redatti «in choro S.

<sup>65</sup> BARBIERI e CAU, *Le carte del monastero di S. Pietro in Monte di Serle*, pp. 147, 186, 193, 256, 305, 344-355, 373-374.

<sup>66</sup> SETTIA, *Uomini, ambienti, istituzioni*, p. XCIII.

<sup>67</sup> BBQ, Fondo di Rosa, ms 97 m1 *Cronica bresciana che incomincia coll'anno 1117 e finisce coll'anno 1213*.

<sup>68</sup> B. ZAMBONI, *Memorie intorno alla pubbliche fabbriche più insigni della città di Brescia*, 1778, p. 3 n. 7.



Petri de Domo» di Brescia, l'anno 1119: non vi si fa menzione del terremoto che avrebbe interessato la città solo due anni prima;

Baretta<sup>69</sup> riassume al § 8 il testo di una *cartula venditionis* concernente una «terra vitata» situata in *cixano*: l'atto fu redatto in Brescia nel mese di ottobre del 1117. Nel testo non risulta ricordato il sisma del gennaio dello stesso anno.

Allo stato attuale della ricerca ritengo sia possibile concludere che il terremoto del 1117, così come è stato osservato da Guidoboni e Boschi, fu certamente avvertito nel territorio bresciano sia nella città che ad oriente di essa (almeno sino a Vallo) ma i documenti coevi non contengono segnalazioni di effetti dannosi in tutta l'area in questione. La sola eccezione è costituita dalla segnalazione di Capriolo, con le riserve che ho manifestato in proposito.

#### Fonti e studi

Fonti inedite:

*Annali del rev. Monastero dei SS. Cosma e Damiano e d'altri monisteri e luoghi al medemo uniti*, ASBs, Fondo di religione, b. 35, reg. 24.

AS Bs Fondo ASC n. 960 A-B-C; n. 1015; n. 1016; b. 8.

BBQ ms. L f1 15 n. 7.

BBQ ms. Fondo Odorici ms. N II 28 ff. 4-6.

BBQ ms. Fondo Odorici ms. O VI 34; O VI 36; O VIII 46.

BBQ ms. Fondo Odorici ms. O VIII 12 f. 7 r e v.

*Cronica bresciana che incomincia coll'anno 1117 e finisce coll'anno 1213*, Brescia, BBQ, ms. Di Rosa 97.

*Cronica delle cose di Brescia dal anno 119 al 1305*, BBQ, ms. C.I.19.

*Disciplina di Santa Maria del Duomo*, ASBs, Fondo di religione, b. 118.

G. FERRARI, E. GUIDOBONI D. POSTPISCHL, *Studi ed indagini per l'accertamento*

<sup>69</sup> M. BARETTA, *Le carte della canonica di S. Pietro in Oliveto di Brescia (1098-1300)*, ed. digitale Scrineum, Codice Diplomatico Bresciano, Pavia 1983, *passim*.

della idoneità tecnica delle aree suscettibili di insediamento di impianti nucleari (L. 2.8.1975/393). Regione, Lombardia, Area di San Benedetto Po, *Indagini di sismicità storica: rapporto finale: il terremoto del 25 dicembre 1222*, Bologna, 1985.

A. FRANCHI, *Annali storici del monistero di Santa Chiara Vecchia*, 1713, ASBs, Fondo di religione, b. 30.

G.L. LUCHI, *Codex diplomaticus brixienis ab anno Christi DCCCXLVII ad annum Chr. MCCCXII*, BBQ, ms. O.VIII.46.

C. MAGGI, *Historia de rebus patriae*, BBQ, ms. A.II.20.

*Monasteri bresciani* BBQ, ms. E I 11 m 1-7, ff. 60r-v; 61r-63r.

*Monastero di S. Faustino secc. XIII-XVII*, ASBs, Fondo di religione, b. 52, reg. I; b. 53.

*Monumenta brixiana medii aevi*, BBQ, ms. Di Rosa 45.

P. NASSINO, *Registro*, BBQ, ms. C.I.15.

P.P. ORMANICO, *Cronologia*, BBQ, ms. F.VI.5.

O. ROSSI, *Historie bresciane*, BBQ, ms. B.VI.27.

*Vita Sancti Apolloni Brixienis Episcopi*, BBQ, ms. A.I.8.

#### Fonti edite e Bibliografia

G.C. ANDENNA, *Foris muros civitatis. Lo spazio urbano fuori Porta Bruciata dai Longobardi alla conquista veneta*, in *La Loggia di Brescia e la sua piazza. Evoluzione di un fulcro urbano nella storia di mezzo millennio*, Brescia, Grafo, 1993.

G.C. ANDENNA, *Storia della Lombardia medievale*, Torino, Utet, 1999.

*Annales Brixienis*, in *Monumenta Germaniae Historica: Scriptorum*, ed. L. Bethmann, Hannover 1863.

G. ARCHETTI, *Bernardo Maggi vescovo e signore di Brescia. Studi sulle istituzioni ecclesiastiche e sociali della Lombardia Orientale tra XIII e XIV secolo*, Brescia, Fondazione Civiltà Bresciana, 1994.

G. ARCHETTI, *Gli Umiliati e i vescovi alla fine del Duecento. Il caso bresciano*, in *Sulle tracce degli Umiliati*, a cura di M.P. Alberzoni, A. Ambrosiani e A. Lucioni, Milano Vita e Pensiero, 1997, p. 303 e n. 94.

G. ARCHETTI, *Tempus vindemiae. Per la storia delle vigne e del vino nell'Europa meridionale*, Brescia, Fondazione Civiltà Bresciana, 1998, p. 427.

G. ARCHETTI, *La vite in Lombardia in età medievale. Note storiografiche sull'ultimo decennio di studi e ricerche*, «Civiltà bresciana», IX, 1 (2000), pp. 24-25.

L. BREZZA MARTINI, *Sommario di strumenti del monastero di Rodengo*, Brescia, Ateneo di Brescia, 1993.

- R. BOSCHI, *La situazione urbana a Brescia nel tardo Medioevo, in Brescia romana. Materiali per un museo*, Brescia, Grafo, 1980, pp. 87-91.
- C. BOSELLI, *Gli scavi nella chiesa inferiore di Sant'Alfio e la Chiesa Sancti Faustini ad sanguinem*, «Commentari dell'Ateneo di Brescia», 1955, pp. 71-86.
- A. BREDA, *La città bassomedievale, in Archeologia urbana in Lombardia*, Modena, Panini, 1985, pp. 91-98.
- G.P. BROGIOLO, *La città tra tarda antichità medioevo, in Archeologia urbana in Lombardia*, Modena, Panini, 1985, pp. 48-56.
- Il Broletto di Brescia. Memorie e attualità*, Brescia, Grafo, 1986.
- G. BRUNATI, *Vita e gesta dei santi bresciani*, Brescia, Bettoni, 1854.
- E. CAPRIOLO, *Dell'isole della città di Brescia*, Venezia, 1744.
- Le carte del monastero di San Pietro in Monte di Serle (Brescia)*, 1039-1200, a cura di F. Barbieri e E. Cau, Brescia, Fondazione Civiltà Bresciana, 2000.
- D. CASTALDINI-M. PANIZZA, *Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como (Italia settentrionale)*, «Il Quaternario», 1991, 4, pp. 389-393.
- Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*, a cura di E. Boschi, E. Guidoboni et al., Roma, Istituto nazionale di geofisica, 1997, pp. 197-199.
- Catalogo dei terremoti italiani*, Roma, Consiglio Nazionale delle ricerche, 1985.
- C. DONEDA, *Notizie della zecca e delle monete di Brescia*, Brescia, 1786.
- B. FAINO, *Ragguaglio storico e cronologico della Signoria di Brescia incominciando dal suo principio sin all'anno MDXVI*, Brescia, 1658.
- A. FAPPANI, *La parrocchia di Vallio*, Brescia, Fonti Castello di Vallio, 1966.
- I.F. FLORENTINUS, *Antistitium Brixianorum, index chronologicus*, Brescia, 1614.
- N. GATTI, *Il priorato cluniacense di San Nicola di Rodengo. Linee di ricerca. Documenti tra la fine del secolo XIII e il secolo XIV*, Brescia, Vannini, 1993.
- G.G. GRADENIGO, *Brixia sacra. Pontificum Brixianorum series*, Brescia, N. Bossini, 1755.
- P. GUERRINI, *Il monastero benedettino di San Pietro in Monte a Serle. Notizia e documenti inediti (secoli XI-XV)*, «Brixia Sacra. Memorie storiche della diocesi di Brescia», s. II, 1931, passim.
- P. GUERRINI, *Regesti e documenti inediti del monastero di Santa Giulia (sec. XI-XIII)*, «Commentari dell'Ateneo di Brescia», 1930, pp. 141-227.
- S. GUERRINI, *La ristrutturazione del palazzo vescovile all'epoca del Bollani*, «Brixia sacra», «Memorie storiche della diocesi di Brescia», 1982.
- E. GUIDOBONI-E. BOSCHI, *I grandi terremoti medievali in Italia*, «Le Scienze», 1989.

- E. GUIDONI, *Appunti per la storia dell'urbanistica nella Lombardia tardomedievale, in Lombardia. Il territorio, l'ambiente e il paesaggio*, a cura di G. Pirovano, Milano, Electa, 1981, pp. 127-136.
- G. LAENG, *Il toponimo di Vallio*, Brescia, Fonti Castello di Vallio, 1966.
- G. DA LEZZE, *Catastico bresciano 1609-1610*, ed. anastatica, Brescia, Ateneo di Brescia, 1969.
- Liber Poberis Communis Brixiae, in Historiae patriae monumenta*, XIX, Augustae Taurinorum coll. 118 e sgg., 280, 447-468, 468-484, 1899.
- G. MAGRI, *Dislocazioni sismiche e valutazioni d'intensità, in I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea*, Bologna, Società geofisica ambiente, 1989.
- J. MAIUEZZI, *Chronicon brixianum*, in L.A. Muratori, *Rerum Italicarum Scriptores*, XIV, Mediolani, 1779, coll. 779-1004.
- A. MARTINI, *Manuale di metrologia*, Roma, E.R.A., 1976.
- F. MENANT, *Campagnes lombardes du Morena Age. L'économie et la société rurales dans la région de Bergame, de Cremona et De Brescia du Xe siècle au XIII*, Roma, Ecole Française de Rome, 1993.
- Miscellanea di studi bresciani sull'alto Medioevo*, Brescia, 1959.
- A. MORESCHI, *Gli Umiliati nel bresciano*, «Quaderni camuni», IV (1978), pp. 351-393.
- G. PANAZZA, *Le basiliche paleocristiane e le cattedrali di Brescia. Problemi e scoperte*, Brescia, Grafo, 1990.
- G. PANAZZA e A. TAGLIAFERRI (a cura di), *La diocesi di Brescia*, Centro It. Studi Alto Medio Evo, Spoleto, 1966, pp. 22-23.
- A. POTTHAST, *Regesta pontificum romanorum*, I, Berlin..., 1874.
- F. ROBECCHI, *Aqua brixiana. Fiumi, canali, acquedotti e fontane nella storia di una città*, Brescia, Grafo, 1996.
- A. RUGGIO ZACCARIA, *Spunti archeologici sulla più antica cattedrale bresciana*, Ateneo di Brescia, 1973, pp. 295-312.
- F. SAVIO, *Gli antichi vescovi d'Italia. Dalle origini al 1300. La Lombardia*, Bergamo, Sant'Alessandro, 1929.
- SALIMBENE DE ADAM, *Cronica*, a cura di G. Scalia, vol. I, Bari, Laterza, 1966.
- D. SLEJKO, *Sismicità attuale dell'area benacense, in Il rischio sismico nel Bresciano. Elementi per una valutazione*, Fondazione Bresciana, Ricerca Scientifica, Ramperato, 1989.
- Statuta civitatis Brixiae*, MCCCXIII, a cura di F. Odonici, in *Historia Patriae monumenta*, XVI, Augustae Taurinorum, 1876.
- V. TERRAROLI, *Luigi Arcioni e i restauri ottocenteschi alla Rotonda: storia e proble-*

- matiche di un intervento*, in *Le cattedrali di Brescia*, Brescia, Grafo, 1987.
- G. TIRABOSCHI, *Vetera Humiliatorum monumenta*, I, Mediolani, 1767.
- U. VAGLIA, *Storia della Valle Sabbia*, Brescia, Ateneo di Brescia, 1963
- A. VALENTINI, *Il palazzo del Broletto in Brescia*, «Commentari dell'Ateneo», 1902, pp. 220-255.
- C. VILLA, *Due antiche biblioteche bresciane. I cataloghi della cattedrale e di San Giovanni de foris*, «Italia medievale e umanistica», XV (1972), pp. 63-99.
- C. VIOLANTE, *La chiesa bresciana nel Medioevo*, in *Storia di Brescia*, I, Brescia, Morcelliana, 1963.
- V. VOLTA, *Il Broletto e la Cittadella. Appunti e documenti per una rilettura del monumento e del suo contesto nel cuore della vecchia Brescia. Secoli XIII-XVIII*, Brescia, Provincia di Brescia, 1993.
- B. ZAMBONI, *Memorie intorno alle pubbliche fabbriche più insigni della città di Brescia*, Brescia, 1768, pp. 103-104.
- P.L. ZOVATTO, *Il significato della basilica doppia. L'esempio di Aquileia*, «Rivista di storia della Chiesa in Italia», XVIII (1964), pp. 357-398.
- R. ZILIOI FADEN, *Le pergamene del monastero di Santa Giulia di Brescia ora di proprietà Bettoni-Lechi, 1043-1590. Regesti*, Brescia, Ateneo di Brescia, 1984.

# Annali Queriniani

## III

DIRETTORE  
Aldo Pirola

DIRETTORE RESPONSABILE  
Maurizio Pegrari

### COMITATO SCIENTIFICO

Giuseppe Berruti, Luigi Amedeo  
Biglione di Viarigi, Fabio Danelon,  
Ruggero Del Silenzio, Vasco Frati,  
Ida Gianfranceschi Vettori, Pietro  
Gibellini, Bortolo Martinelli,  
Antonio Masetti Zannini, Daniele  
Montanari, Sergio Onger, Luigi  
Pizzamiglio, Gianfranco Porta,  
Bernardo Scaglia

### SEGRETERIA DI REDAZIONE

Andrea Comboni, Marco Faini,  
Ennio Ferraglio

e-mail:  
[queriniana@comune.brescia.it](mailto:queriniana@comune.brescia.it)

Autorizzazione  
del Tribunale di Brescia  
N. 28/1999, DEL 2. IX. 1999

© Biblioteca Queriniana

Grafo edizioni  
via Maiera, 27  
25123 Brescia

Dicembre 2002  
ISBN 88 7385 5652

Grafo