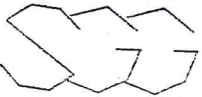
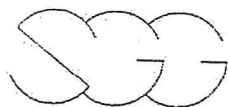


M298

Tutti i diritti sono riservati.  
La riproduzione e la divulgazione a terzi è vietata.

D														
C														
B														
A														
Rev.	Descrizione	05/03/2010	De Luca	Rossi	Rossi									
		Data	Redatto	Verificato	Approvato									
COMMITTENTE :				Archivio n°	3823									
				Commessa n°	R 248									
LOCALITA': Castelbonsi - Mercatale V.P. (FI)														
INDAGINE: Ricostruzione del sottosuolo														
OGGETTO: Rapporto tecnico indagine geofisica														
3	8	2	3	S	G	G	0	1	A	data	07.04.10	N° Copie	N° Pagine	Formato
Nome file 3823SGG01A.dwg													A4 <input type="checkbox"/>	
													A3 <input type="checkbox"/>	
Coordinatore: Dr. Geologo Claudio Rossi														
		STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l. STRADA MASSETANA ROMANA, 56 - SIENA - ITALY - Tel. +39 0577 49276 - Fax +39 0577 287254 - e.mail: info@sgg.it										CONTROLLO QUALITA' data-sigla		



## INDICE

1	- INTRODUZIONE	Pag.	3
2	- INDAGINI SVOLTE	Pag.	4
3	- STRUMENTAZIONE. PERSONALE IMPIEGATO E QUALITÀ	Pag.	5
4	- FINALITA' DELLA PROSPEZIONE	Pag.	6
5	- ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag.	7
6	- ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME P	Pag.	8
7	- ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI	Pag.	10
8	- ANALISI DEI RISULTATI	Pag.	13

## ALLEGATI

Elaborato	Titolo	scala
3823SGG10	- Planimetria	1:2.000
	- Profilo sismico a rifrazione ad onde P	1:500
	- Prova MASW	

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA

## 1 - INTRODUZIONE

Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine geofisica eseguita per conto del Dr. Geol. Francesco Bianchi, nell'ambito della caratterizzazione del sottosuolo, realizzata per il Sig. Massimo Ceccovecchi, in località Castelboni – Mercatale V.P. (FI).



Figura 1 – Sito d'indagine

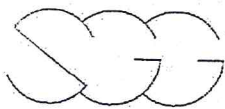
La finalità della prospezione è stata quella di identificare e ricostruire, sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche, i rapporti geometrici degli strati di terreno ed il computo del valore di  $V_{s30}$ . A tal scopo sono stati realizzati un profilo sismico a rifrazione in onda P per determinare la velocità delle onde di compressione ed una prova di sismica attiva per la determinazione delle velocità delle onde S.

Nella presente relazione sono illustrate le metodologie esecutive ed interpretative delle misure geofisiche ed i risultati della prospezione secondo un criterio essenzialmente geofisico.

---

Località Castelboni – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



## 2 - INDAGINI SVOLTE

La prospezione geofisica è stata eseguita nel giorno 19 marzo 2010. L'ubicazione delle indagini geofisiche è riportata in dettaglio nell'elaborato allegato 3823SGG10 – *Planimetria, profilo sismico a rifrazione ad onde P, prova MASW*.

L'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di n°1 **profilo sismico a rifrazione in onde di volume P**; i dati sono stati elaborati con metodo tomografico. Lo stendimento sismico è stato approntato con 24 geofoni spazati di 2.5 metri (pari a 60 metri lineari). Sul profilo sono stati eseguiti in totale 9 punti di scoppio, pari ad una interdistanza di 7.5 metri, al fine di raggiungere una risoluzione adeguata.

In corrispondenza della stessa stesa sismica sono state acquisite anche le **onde superficiali di Rayleigh** mediante tecniche di sismica attiva.

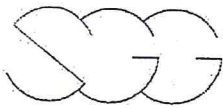
In totale sono stati quindi eseguiti:

- 1 *profilo sismico a rifrazione con acquisizione di onde di volume (P), elaborato con tecnica tomografica.*
- *n°1 acquisizioni di onde superficiali di Rayleigh.*

---

Località Castelboni – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



### 3 - STRUMENTAZIONI, PERSONALE IMPIEGATO, E QUALITÀ

Per l'esecuzione della prospezione sono state utilizzate le seguenti strumentazioni ed attrezzature:

n°	Strumentazione per indagini sismiche	COD. IDENT.
1	sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit	SGG-SI-52
1	notebook HP per registrazione dei dati di campagna con MultipleGeodeOptimSoftware (MGOS)	
24	geofoni verticali con frequenza pari a 4,5 Hz	SGG-SI-61
1	cavo geofonico GEOSPACE con 24 take-out spaziate di 5 metri	SGG-SI-39h
1	hammer switch per dispositivo time-break	
1	massa battente da 5 kg	
	cavi e prolunghe per il dispositivo di time-break e per il collegamento GEODE-notebook	
1	Tromografo digitale Tromino Engy plus	

#### AUTOMEZZI

- ◆ Furgone FIAT Ducato.

Tutti gli strumenti di misura impiegati, in riferimento con il "calendario di taratura" afferente al "sistema di qualità" in uso presso questo studio, sono periodicamente tarati presso il LABORATORIO CE.TA.CE. di Calenzano, della CESVIT S.p.A., ed accreditato SIT n°56 (Servizio di Taratura in Italia)..

#### SISTEMA QUALITÀ

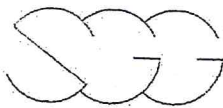
La prospezione geofisica è stata eseguita in riferimento alle specifiche SP0302 e SP0901; l'elaborazione dei dati è avvenuta in conformità all'istruzione IS0901.

Per la registrazione delle varie attività sono stati utilizzati i moduli del sistema qualità in uso presso questo studio.

---

Località Castelboni – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



### Risorse coinvolte

Per l'esecuzione della prospezione di campagna e della relativa interpretazione in ufficio, sono state coinvolte le seguenti risorse:

• Responsabile dell'incarico	C. ROSSI
• Responsabile della prospezione	J. DE LUCA
• Prospettore geofisico	J. DE LUCA
• Interpretazione	C. ROSSI - J. DE LUCA
• Editing	J. DE LUCA

Tutte le risorse umane coinvolte sono state utilizzate nel rispetto della certificazione SA8000 in materia di responsabilità sociale.

## 4 - FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE

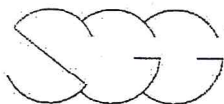
Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- *definire il modello del sottosuolo in riferimento alla velocità delle onde di volume P*
- *definire il modello del sottosuolo in riferimento alla velocità delle onde di taglio S*
- *caratterizzazione dinamica per bassi livelli di deformazione delle unità litostratigrafiche presenti nell'area di indagine, e computo della Vs30.*

---

Località Castelboni – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



## 5 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

### Profilo sismico a rifrazione onde P

In riferimento all'indagine geofisica di sismica a rifrazione con onde di volume P sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali con frequenza di 4,5 Hz;
- spaziatura dei geofoni: 2.5 metri;
- spaziatura dei punti di scoppio: 7.5 metri;
- numero punti di scoppio: 9;
- sorgente: massa battente da 5 kg;
- lunghezza registrazione del singolo evento (apertura memoria): 1,0 secondi;
- campionamento: 0,250 millisecondi.

### Prove Multi-channel Analysis of Surface Waves ("MASW")

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

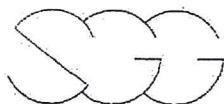
La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

L'acquisizione dei dati è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo da 4,5 Hz) disposta sul terreno con array lineare da 24 geofoni equispaziati di 2.5 metri.

---

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



## 6 – ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME P (Profilo sismico a rifrazione)

La fase d'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è preceduta dalla lettura dei tempi sismici registrati.

I tempi d'arrivo delle onde "P" sono letti attraverso uno specifico programma di *picking* ed in seguito tabellati. Tale programma permette di apprezzare variazioni di tempo dell'ordine di 0,1 millisecondi. Quindi, per mezzo dello specifico programma SEISOPTPRO v5.0, è eseguita un'interpretazione con metodologia tomografica del profilo sismico.

La metodologia tomografica prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica.

Il programma calcola quindi il tempo di transito dell'onda sismica attraverso le maglie del modello e confronta tale valore con quello sperimentale, impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati, previo controllo dei tragitti dei raggi sismici. Per successive iterazioni si perviene a dei valori di velocità sismica per le diverse celle che soddisfino contemporaneamente più raggi sismici.

L'elaborazione dei dati è sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropa, la quale fornisce, in seguito ad un'elaborazione con metodologie iterative R.T.C. e ad algoritmi di ricostruzione tomografica, il campo delle velocità sismiche del sottosuolo attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari.

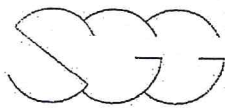
Nel caso specifico è stata utilizzata una maglia rettangolare di dimensioni 1,8x0,9 metri; nella restituzione grafica i valori di velocità sismica attribuiti alla singola cella sono rappresentati con scala colorimetrica 0-2.000 m/s. Inoltre, per facilitare la lettura delle velocità sulle sezioni, sono state riportate le curve di isovelocità sismica con equidistanza pari a 250 m/s.

---

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA





Per la determinazione del modello d'interpretazione, il software utilizza il metodo d'inversione controllato MONTE CARLO, basato su una modellizzazione avanzata, dove i modelli derivati dagli algoritmi propri del programma sono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico.

I risultati, in termini di affidabilità statistica dell'interpretazione operata, risultano essere i seguenti:

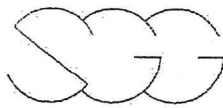
profilo sismico	precisione (s <sup>2</sup> )	iterazioni n°
profilo 1 – onde P	3.1 x105 <sup>6</sup>	89.025

dove per *precisione* si intende la sommatoria degli scarti al quadrato tra i valori sperimentali e quelli calcolati nelle dromocrone diviso per il numero dei punti; per *iterazioni* il numero di volte che il programma ha eseguito la verifica del modello totale.

---

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (Fi)

INDAGINE GEOFISICA



## 7 – ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI

### Prova Multi-channel Analysis of Surface Waves ("MASW"- sismica attiva)

Sullo stesso allineamento del profilo sismico è stata eseguita una prova MASW, al fine di caratterizzare il sottosuolo anche attraverso l'ausilio della velocità delle onde superficiali.

Il metodo "MASW" consente di eseguire un'analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S.

La metodologia MASW permette altresì di definire il parametro  $V_{s30}$ , utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo da utilizzare in seguito per la descrizione dell'azione sismica in sito.

Si ricorda che il valore del parametro  $V_{s30}$  della prova MASW è riportato, per convenzione, al centro del relativo stendimento geofonico.

Per l'interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (winMASW Professional Version 4.1).

Il profilo verticale di  $V_s$  è ottenuto tramite l'inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura si sviluppa in due fasi:

- Determinazione dello spettro della velocità sulla quale si identifica la curva di dispersione
- Inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

L'elaborazione del segnale consiste inizialmente nel calcolo dello spettro di velocità dei dati sismici acquisiti in campagna (fig. 3).

---

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA

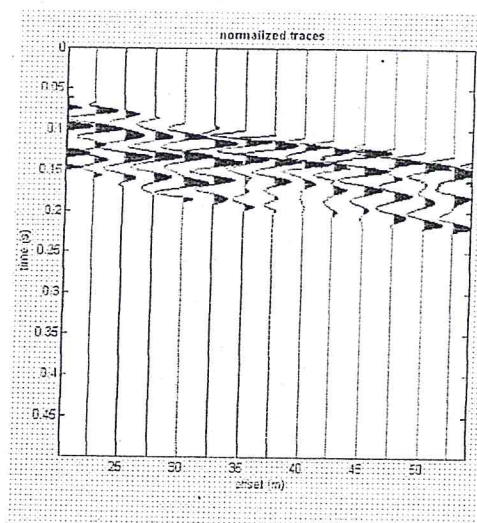


Figura 3: dati di campagna.

Sullo spettro di velocità (fig. 4) è eseguito un “picking” della curva di dispersione (soprassegno con cerchietti) individuando un insieme di punti che appartengono ad un certo modo (in questo caso al modo fondamentale) di propagazione dell’onda superficiale di Rayleigh.

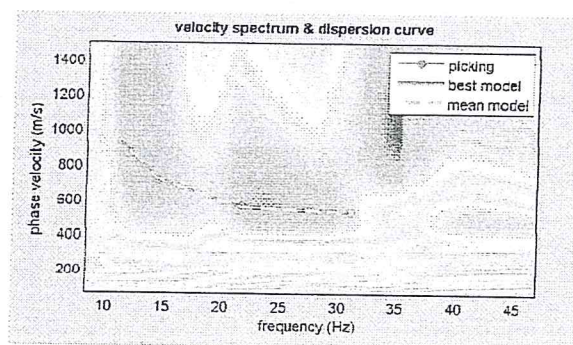


Figura 4: spettro di velocità tratto dalla prova MASW e relativo picking.

Allo scopo di ottenere una prima valutazione del possibile modello del terreno è altresì effettuata una modellazione diretta del terreno tramite il calcolo di una curva di dispersione appartenente ad un modello a quattro strati, i cui valori di  $V_s$  e degli spessori sono definiti sulla base di osservazioni desunte e dalla tomografia sismica a rifrazione e delle stratigrafie dei pozzi.

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA

Successivamente per ottenere il profilo verticale di  $V_s$  è eseguita l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata". Tale inversione è eseguita tramite l'utilizzo di algoritmi genetici che consentono di ottenere soluzioni affidabili ed una stima dell'attendibilità del modello ricavato in termini di deviazione standard.

L'operazione di inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di  $V_s$  e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalla sismica a rifrazione

Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui (ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori) sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.

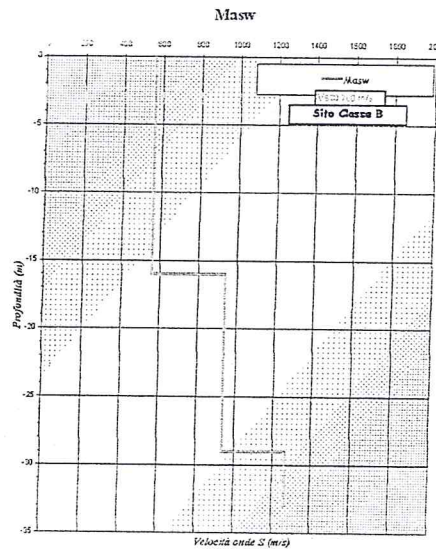
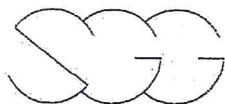


Figura 5 modello interpretativo, tratto dalla prova MASW.

L'analisi dei dati attraverso l'uso di algoritmi genetici porta in ultima analisi alla definizione del profilo verticale della  $V_s$  (fig. 5) in funzione della profondità con associato il valore del  $V_s$  30.

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



## 8 – ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso, l'indagine geofisica ha permesso di caratterizzare l'area di indagine sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde di volume (onde P), sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde superficiali (onde di Rayleigh).

L'indagine di sismica a rifrazione, relativamente al comportamento del terreno in merito alle onde di volume (onde P), ha permesso di evidenziare sismostrati superficiali con geometria pressoché tabulare e parallela all'andamento della topografia, ove le velocità sismiche aumentano progressivamente con la profondità. I valori di velocità, che già dopo i 15 metri di profondità da p.c. superano i 2.000 m/s, indicano buone caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni indagati. Tale considerazione è oltremodo concorde con i risultati ottenuti mediante l'analisi della dispersione delle onde superficiali. Tale prova infatti mostra valori di velocità delle onde S elevati ed in definitiva pone l'area oggetto dell'indagine, secondo il valore di  $V_{S30}$  stimato di 700 m/s, secondo la normativa italiana, in **classe B**.

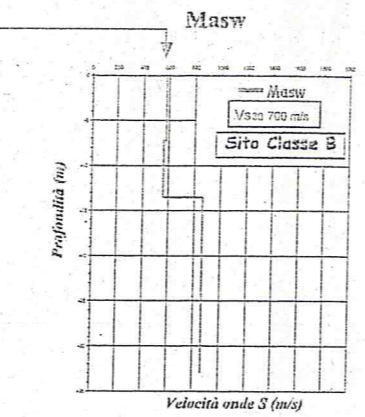
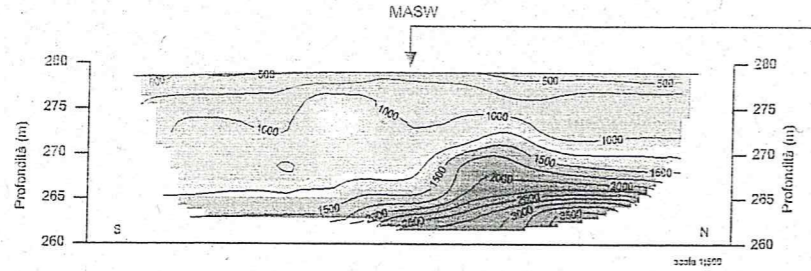
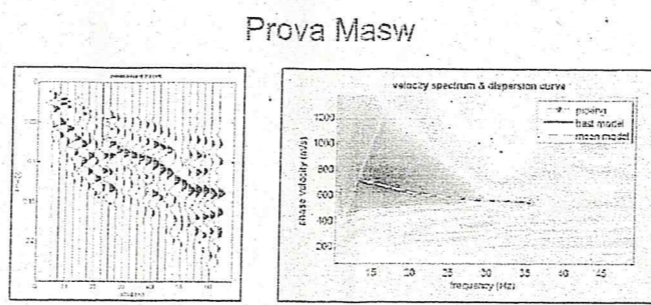
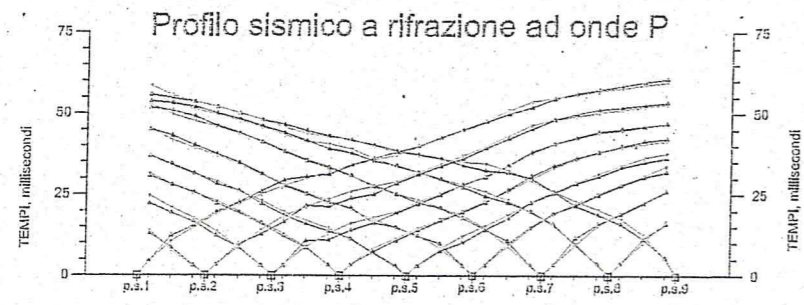
Siena, Aprile 2010

Dr. Geol. Claudio Rossi

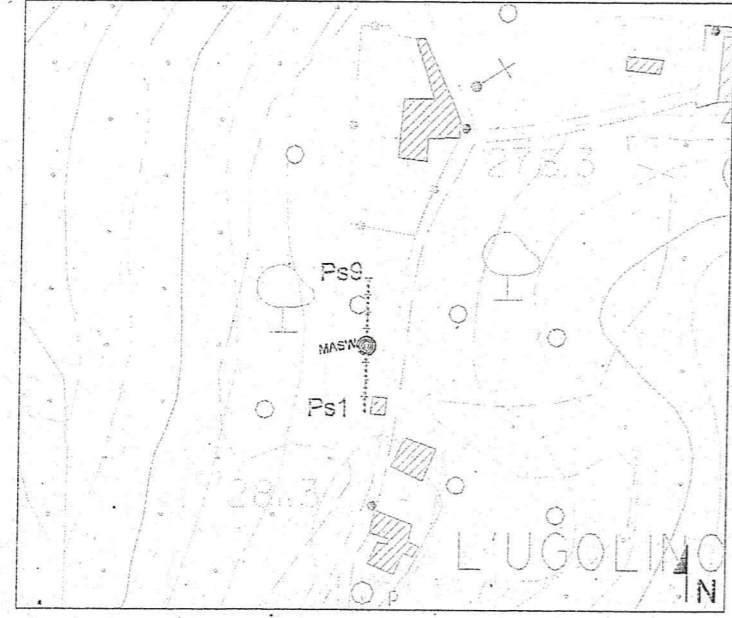
---

Località Castelbonsi – Mercatale V. P. (FI)

INDAGINE GEOFISICA



### Planimetria delle indagini



#### LEGENDA

- ps 1: Profilo sismico a rifrazione con posizione relativa dei ricevitori e dei punti di scoppio
- MASW: Prova MASW (Multichannel Analysis of surface waves)
- Misura HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

#### LEGENDA

- ◻ dati sperimentali
- ◻ valori calcolati con l'interpretazione tomografica
- ◻ Punto di scoppio
- Superficie topografica
- MASW: Utilizzazione prova Masw
- 1000: Curve di Isovelocità sismica (equidistanza 250 m/s)
- Maglia nella tomografia: 0,7 x 0,35 m

SCALA COLOPIMETRICA (Velocità sismica ONDE "P" m/s)

C					
B					
A	EMISSIONE	07/04/2010	De Luca	Posati	Posati
Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
COMMITTENTE : Sig. Massimo Ceccovecchi					Commissio n° R 248
LOCALITA': Castelboni - Mercatale V. P. (Fi)					
INDAGINE: Ricostruzione del sottosuolo					
OGGETTO: INDAGINE GEOFISICA					
TAVOLA: Planimetria, profilo sismico a rifrazione ad onde P, prova MASW					FORMATO A2
3823SGG10A		Apr 2010	PRECISIONE:	UNITA	SCALA
nome file : 3823SGG10.A.dwg			Distanze: dm	dm	1:500
			Quote: dm	m	1:2.000
			Profondità: dm		
STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l.			DATA		CONTROLLO QUALITA'
STRADA MASSETANA ROMANA, 56 - SIENA - ITALY -					
Tel. +39 057749276 - Fax +39 0577287254 - e.mail: info@egg.it					

Tutti i diritti sono riservati. La ristampa e la riproduzione a terzi è vietata.