

# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

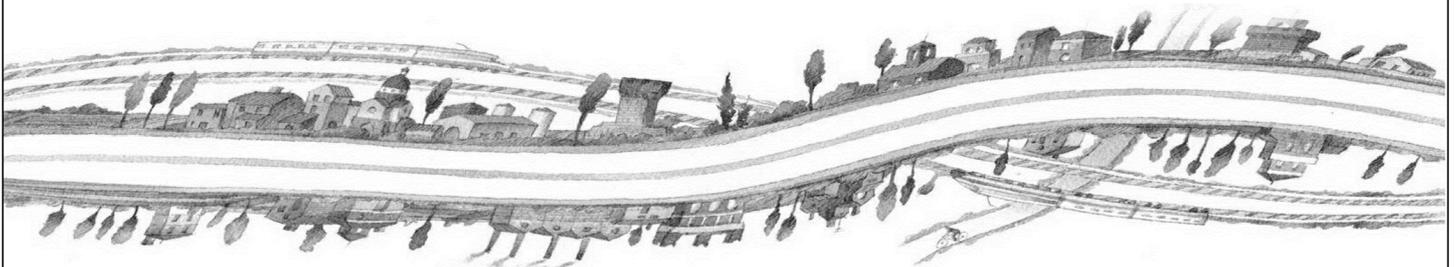
### AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA - PARTE GENERALE

#### INDAGINI

#### INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

#### LOTTO 2

#### PROVE SISMICHE CROSS HOLE



IL PROGETTISTA

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

IL CONCESSIONARIO

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi


G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17/04/2012	Emissione				Gubertini	Zurlo	Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: Maggio 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA:
0027	PD	0	X02	X0000	0	IS	IG	01	A	-

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI GEOFISICHE.....</b>	<b>3</b>
2.1. PREMESSA.....	3
2.2. INDAGINI GEOFISICHE SVOLTE .....	5
<b>3. FINALITA' DELLA PROSPEZIONE.....</b>	<b>10</b>
<b>4. ESECUZIONE DEI RILIEVI .....</b>	<b>11</b>
4.1. CAROTAGGIO SISMICO CROSS-HOLE .....	11
4.2. PROVE DI VERTICALITA' .....	14
<b>5. METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE .....</b>	<b>20</b>
<b>6. ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI.....</b>	<b>25</b>
6.1. CROSS-HOLE BH 202 – CH 202 (LOC. SAN FELICE SUL PANARO) .....	25
6.2. CROSS-HOLE BH 219 – CH 219 (LOC. FINALE EMILIA) .....	29
6.3. CROSS-HOLE BH 229 – CH 229 (LOC. FINALE EMILIA) .....	33
6.4. CROSS-HOLE BH 255 – CH 255 (LOC. S.AGOSTINO) .....	37
6.5. CROSS-HOLE BH 210 – CH 210 (LOC. SAN FELICE SUL PANARO) .....	41
<b>APPENDICE – PROVE DI VERTICALITA' .....</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUZIONE

---

Nell'ambito delle indagini geognostiche in situ per l'autostrada regionale CISPADANA nel tratto del Lotto 2, è stata svolta un'indagine geofisica consistente nell'esecuzione di tre carotaggi sismici con metodologia Cross-Hole per conto della società A. R. CISPADANA S.p.A.

Le finalità dell'indagine sono state quelle di definire i valori di velocità sismica delle onde P e delle onde SH ( $V_p$  e  $V_{sH}$ ) e la caratterizzazione dinamica dei terreni, attraverso il calcolo dei moduli elastici-dinamici.

I carotaggi sismici Cross-Hole sono stati eseguiti all'interno di quattro tre coppie di sondaggi meccanici appositamente attrezzati.

La prospezione geofisica è stata condotta, per quanto riguarda le fasi di campagna, nei giorni 22 e 23 settembre 2011, nel giorno 7 novembre 2011 e nel giorno 6 febbraio 2012.

Nella presente relazione sono descritte, secondo un criterio essenzialmente geofisico, le modalità d'esecuzione della fase di acquisizione dei dati sperimentali e le metodologie interpretative dei dati sismici.

## 2. INDAGINI GEOFISICHE

### 2.1. PREMESSA

Le indagini sismiche in situ hanno permesso di determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P) e delle onde di taglio (onde SH) e, utilizzando i valori delle velocità acquisite, alcune proprietà meccaniche delle litologie investigate.

Nell'ambito di questi studi si è provveduto alla parametrizzazione dinamica dei terreni. Nello specifico sono state acquisite misure della velocità delle onde sismiche che hanno permesso di determinare la rigidità iniziale ( $G_0$  o  $G_{max}$ ), ossia la rigidità a livelli di deformazione molto bassi. Nell'indagine geofisica svolta, tale parametrizzazione è stata ottenuta attraverso misure delle onde di compressione (P) e di taglio (SH), mediante carotaggi sismici con metodologia Cross-Hole su coppie di sondaggi meccanici adeguatamente attrezzati.

Per quanto riguarda le principali proprietà dinamiche dei terreni, è opportuno ricordare che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che questi si trovano per gran parte sotto falda, ci si trova in condizioni di drenaggio impedito e pertanto il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo motivo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un treno d'onde S, che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno in pratica orizzontale. Tale assunzione è oltretutto giustificata dal fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più verosimile ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale. In tal senso, a livelli di deformazione bassi, è assunta l'ipotesi che il terreno in esame presenti un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (deformazioni inferiori a  $10^{-3}$  %).

Attraverso i valori di velocità di propagazione delle onde P ( $V_p$ ) e delle onde S ( $V_s$ ), si sono determinati, in riferimento alla teoria dell'elasticità, alcune delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato, quali:

- il modulo di deformazione a taglio  $G_{max}$ : 
$$G = \rho \cdot V_s^2$$

- il modulo di Young E: 
$$E = 2\rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu)$$

- il coefficiente di Poisson  $\nu$ : 
$$\nu = 0.5 \cdot \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 / \left( \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 \right)$$

- il modulo di compressibilità volumetrica  $E_v$ : 
$$E_v = \rho \cdot \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

dove:  $\rho$  = rappresenta la densità del mezzo;

$\gamma$  = peso di volume (=  $\rho \cdot g$ );

$g$  = l'accelerazione di gravità;

$\nu$  = è il coefficiente di Poisson.

Le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ( $S_r = 100\%$ ) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tali valori possono non essere rappresentativi delle proprietà meccaniche del materiale in questione secondo le relazioni matematiche espresse in precedenza; invece le velocità delle onde S e delle onde di superficie, sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni sotto falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio e, subordinatamente, le onde di superficie.

## 2.2. INDAGINI GEOFISICHE SVOLTE

Le coppie di sondaggi meccanici, al momento dell'esecuzione del carotaggio sismico, risultavano completamente rivestite con tubazione in PVC cementata alle pareti dei fori stessi e presentavano le seguenti profondità investigabili:

<b>202 – San Felice sul Panaro (MO - 22 settembre 2011)</b>	
Sondaggio n°	Profondità investigazione sondaggio (m da p.c.)
<b>BH 202</b>	30,0
<b>CH 202</b>	30,0

<b>210 – San Felice sul Panaro (MO - 7 febbraio 2012)</b>	
Sondaggio n°	Profondità investigazione sondaggio (m da p.c.)
<b>BH 210</b>	30,0
<b>CH 210</b>	30,0

<b>219 – Finale Emilia (MO - 22 settembre 2011)</b>	
Sondaggio n°	Profondità investigazione sondaggio (m da p.c.)
<b>BH 219</b>	30,0
<b>CH 219</b>	30,0

<b>229 – Finale Emilia (MO - 23 settembre 2011)</b>	
Sondaggio n°	Profondità investigazione sondaggio (m da p.c.)
<b>BH 229</b>	30,0
<b>CH 229</b>	30,0
<b>255 – S. Agostino (FE - 9 novembre 2011)</b>	
Sondaggio n°	Profondità investigazione sondaggio (m da p.c.)
<b>BH 255</b>	30,0
<b>CH 255</b>	30,0

Preliminarmente all'esecuzione del carotaggio sismico, è stata eseguita, su tutti i fori, la prova di verticalità (riportata in appendice) con passo di acquisizione di 1 metro, ed i cui risultati sono stati opportunamente utilizzati al fine di conoscere la distanza reciproca dei sondaggi da piano campagna fino a fondo-foro. Tutte le registrazioni, all'interno dei sondaggi, sono state eseguite con un'interdistanza fra le misure pari a 1,0 metri, da fondo-foro fino al piano campagna, per un totale di **150,0 m** di carotaggio sismico Cross-Hole. Sono stati inoltre eseguiti, in totale, **300,0 m di** misura della verticalità dei fori. Si fa presente che le misure geofisiche effettuate risultano di poco inferiori alla lunghezza del sondaggio, in quanto la sonda di misura a causa della propria lunghezza non permette la misura diretta nell'ultimo metro in profondità.



Figura 2.1 – Operazioni di acquisizione dati del carotaggio sismico CH eseguito sulla coppia di fori BH 202 e CH 202 (località San Felice sul Panaro).



Figura 2.2 – Operazioni di acquisizione dati del carotaggio sismico CH eseguito sulla coppia di fori BH 219 e CH 219 (Finale Emilia).



Figura 2.3 – Operazioni di acquisizione dati del carotaggio sismico CH eseguito sulla coppia di fori BH 229 e CH 229 (località Finale Emilia).



Figura 2.4 – Operazioni di acquisizione dati del carotaggio sismico CH eseguito sulla coppia di fori BH 255 e CH 255 (località S. Agostino).



Figura 2.5 – Operazioni di acquisizione dati del carotaggio sismico CH eseguito sulla coppia di fori BH 210 e CH 210 (località San Felice sul Panaro)

### **3. FINALITA' DELLA PROSPEZIONE**

---

Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- definire i valori di  $V_p$  e  $V_{sH}$  per i terreni indagati;
- computo dei moduli elasto-dinamici e del coefficiente di Poisson.

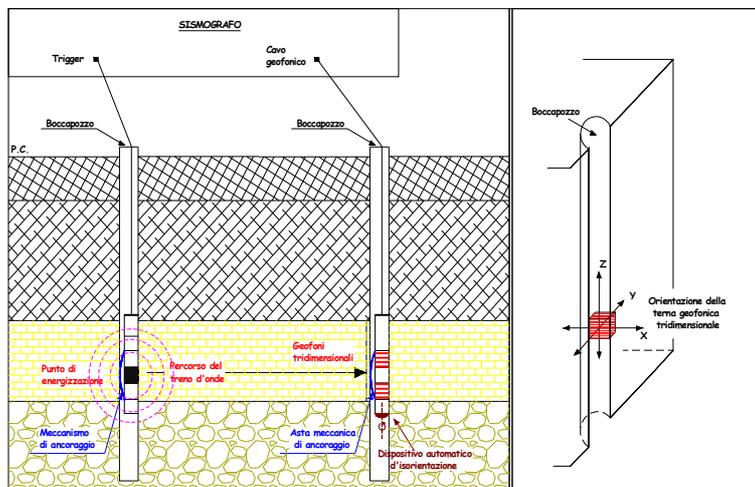
## 4. ESECUZIONE DEI RILIEVI

### 4.1. CAROTAGGIO SISMICO CROSS-HOLE

Le onde elastiche si propagano nelle rocce con vari schemi e con diverse velocità. Secondo queste modalità le onde sismiche sono pertanto distinte in longitudinali, trasversali, superficiali (Stoneley, Love, Rayleigh, etc.). Nelle varie applicazioni della sismica, quindi anche nei carotaggi sismici, si impiegano impulsi artificiali d'energizzazione che producono onde elastiche di diversi tipi; tra queste sono prese in esame solo le onde longitudinali di tipo compressionale o prime (P) e quelle trasversali, di taglio, o seconde (S). Occorre ricordare che la componente dell'onda sismica compressionale P risulta più veloce della componente di taglio S e pertanto l'arrivo di queste onde di taglio deve essere ricercata all'interno del sismogramma registrato. Le due onde, com'è noto, si differenziano per la diversa modalità di deformazione dei terreni durante la loro diffusione: la propagazione delle onde longitudinali avviene mediante compressioni e decompressioni delle rocce, mentre quella delle onde trasversali si basa sulla trasmissione di sforzi di taglio. Il carotaggio sismico Cross-Hole rappresenta una delle più accurate misure geofisiche per la determinazione delle proprietà fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni. Lo scopo della prova consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente ai ricevitori nella porzione di terreno compresa tra i due sondaggi (uno in cui è alloggiato il sistema energizzante e l'altro in cui è contenuto il sistema ricevente) di cui è nota la distanza.

Si fa l'assunzione che il volume di terreno compreso tra la sorgente ed il ricevitore presenti, sul piano orizzontale, un comportamento elastico, omogeneo ed isotropo. Nel caso in cui queste caratteristiche non siano verificate è necessario operare con più punti d'energizzazione.

La prova (Figura 4.1) consiste nel produrre all'interno del terreno, ad una profondità nota, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente elettro-meccanica, e nell'analizzare la propagazione su di un piano orizzontale del treno d'onde di compressione e di taglio così generate ed aventi rispettivamente vibrazioni di tipo compressionale polarizzate longitudinalmente alla direzione di propagazione (onde P) e vibrazioni di tipo trasversale polarizzate (sempre sul piano orizzontale) perpendicolarmente alla direzione di propagazione (onde  $S_H$ ). In particolare è misurato, mediante il ricevitore orizzontale alloggiato all'interno della sonda tridimensionale e posizionato parallelamente al senso di vibrazione delle onde  $S_H$ , l'istante di arrivo del treno di onde P ed  $S_H$  rispetto all'istante in cui sono indotte le sollecitazioni alla sorgente, in modo che dividendo tali valori per la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si possa ricavare il parametro velocità.



**Figura 4.1** - Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico cross hole

L'apparecchiatura utilizzata per questa prova, è quella definita nella tabella seguente:

Apparecchiatura	Strumentazione per indagini sismiche	Codice
Sistema acquisizione dati	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit Notebook HP per la registrazione delle onde P ed S <sub>H</sub> ;	SGG-SI-52
Sistema di ricezione	Geofono tridimensionale da foro GEOSTUFF, a frequenza propria di 15 Hz, munito di bussola elettronica per l'orientamento del geofono stesso e di asta flessibile motorizzata per l'ancoraggio meccanico alla parete del foro	SGG-SI-55
Sistema energizzante	Energizzatore da foro onde P ed S <sub>H</sub> - BIS-SH - GEOTOMOGRAPHIE	SGG-SI-69
Sistema misure di verticalità	Clinometro da foro digitale con doppio sensore per il tilt e bussola elettronica - DEVPROB1 - GEOTOMOGRAPHIE	SGG-SI-70

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 GAMMAMISURE di Calenzano, accreditato SIT n°56 (Servizio di Taratura in Italia).

Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili e direzionali. Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata (geofono tridimensionale da foro) al cui interno è alloggiato un ricevitore costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo le componenti di una terna cartesiana ortonormale, in modo tale che uno dei tre trasduttori è orientato secondo la lunghezza della sonda (trasduttore verticale) e gli altri ad essa perpendicolari (trasduttori orizzontali). I trasduttori hanno una frequenza propria di 15 Hz ed una sensibilità tale da potere ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. Il geofono da foro possiede un'asta meccanica che garantisce un buon accoppiamento con le pareti di rivestimento del foro.

Il sistema d'acquisizione dati (GEODE Geometrics) è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale, in forma digitale, le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.

Il carotaggio sismico si sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. si prepara il sistema d'acquisizione dei dati;
2. la sorgente è calata a fondo foro all'interno di uno dei due sondaggi, in corrispondenza del quale viene prima orientata manualmente al fine di produrre una sollecitazione perpendicolare alla linea congiungente i due fori successivamente bloccata alle pareti del rivestimento con ancoraggio pneumatico;
3. il ricevitore (geofono da foro) è disposto nell'altro foro alla medesima profondità della sorgente, in modo tale che uno dei due trasduttori orizzontali sia orientato parallelamente alla direzione di vibrazione delle onde di taglio (quello che capta nella loro massima ampiezza le onde  $S_H$ ). Il sistema è ancorato alle pareti del rivestimento con ancoraggio meccanico;
4. in seguito è attivata la sorgente producendo una sollecitazione che, con attivazione istantanea del sistema trigger, genera un treno di onde che si propaga dalla sorgente verso i ricevitori, orizzontalmente con vibrazioni di tipo compressionale (P) e vibrazioni di tipo trasversale dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione e polarizzate sul piano orizzontale ( $S_H$ );
5. successivamente viene ruotata di  $180^\circ$  la sorgente e riprodotta una sollecitazione con polarità inversa che, con attivazione istantanea del sistema trigger, genera un treno di onde che si propaga dalla sorgente verso i ricevitori, orizzontalmente con vibrazioni di tipo compressionale (P) e vibrazioni di tipo trasversale dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione e polarizzate sul piano orizzontale ( $S_H$ );
6. infine sono riprodotte le sollecitazioni e quindi ripetute le prove con interdistanza fra le misure pari a 1,0 m per tutto il tratto di sondaggio.

## **4.2. PROVE DI VERTICALITA'**

---

All'interno dei sondaggi utilizzati per le prove cross-hole, sono state eseguite le prove di verticalità; ciò ha garantito un'assoluta precisione nell'elaborazione delle prove cross-hole, potendo disporre della reale distanza presente tra la sorgente energizzante e il geofono tridimensionale.

Il sistema di misura consente di determinare gli spostamenti (mm) e la direzione azimutale di spostamento ( $^{\circ}$ ) alle differenti profondità del sondaggio rispetto ad ogni punto. I dati forniti hanno permesso, attraverso opportuni calcoli trigonometrici, di calcolare la lunghezza e l'angolo azimutale della retta congiungente le coppie di sondaggi alle varie profondità. I risultati delle prove di verticalità sono riportati in appendice A.

Nel caso specifico:

- i sondaggi meccanici BH 202 e CH 202 risultano ad una distanza iniziale, misurata in superficie, di 9,15 metri, con azimuth della linea condotta da BH 202 a CH 202, N 270°E;
- i sondaggi meccanici BH 219 e CH 219 risultano ad una distanza iniziale, misurata in superficie, di 4,70 metri, con azimuth della linea condotta da BH 219 a CH 219, N 15°E;
- i sondaggi meccanici BH 229 e CH 229 risultano ad una distanza iniziale, misurata in superficie, di 5,00 metri, con azimuth della linea condotta da BH 229 a CH 229, N 90°E;
- i sondaggi meccanici BH 255 e CH 255 risultano ad una distanza iniziale, misurata in superficie, di 3,50 metri, con azimuth della linea condotta da CH 255 a BH 255, N 155°E;
- i sondaggi meccanici BH 210 e CH 210 risultano ad una distanza iniziale, misurata in superficie, di 4,65 metri, con azimuth della linea condotta da BH 202 a CH 202, N 345°E;

Il calcolo della distanza assoluta per ogni coppia di sondaggi a profondità crescenti, ha mostrato una sensibile variazione della congiungente tra i due sondaggi contigui: tale parametro è stato opportunamente utilizzato nella correzione dei dati in profondità, fornendo i reali valori di velocità sismica.

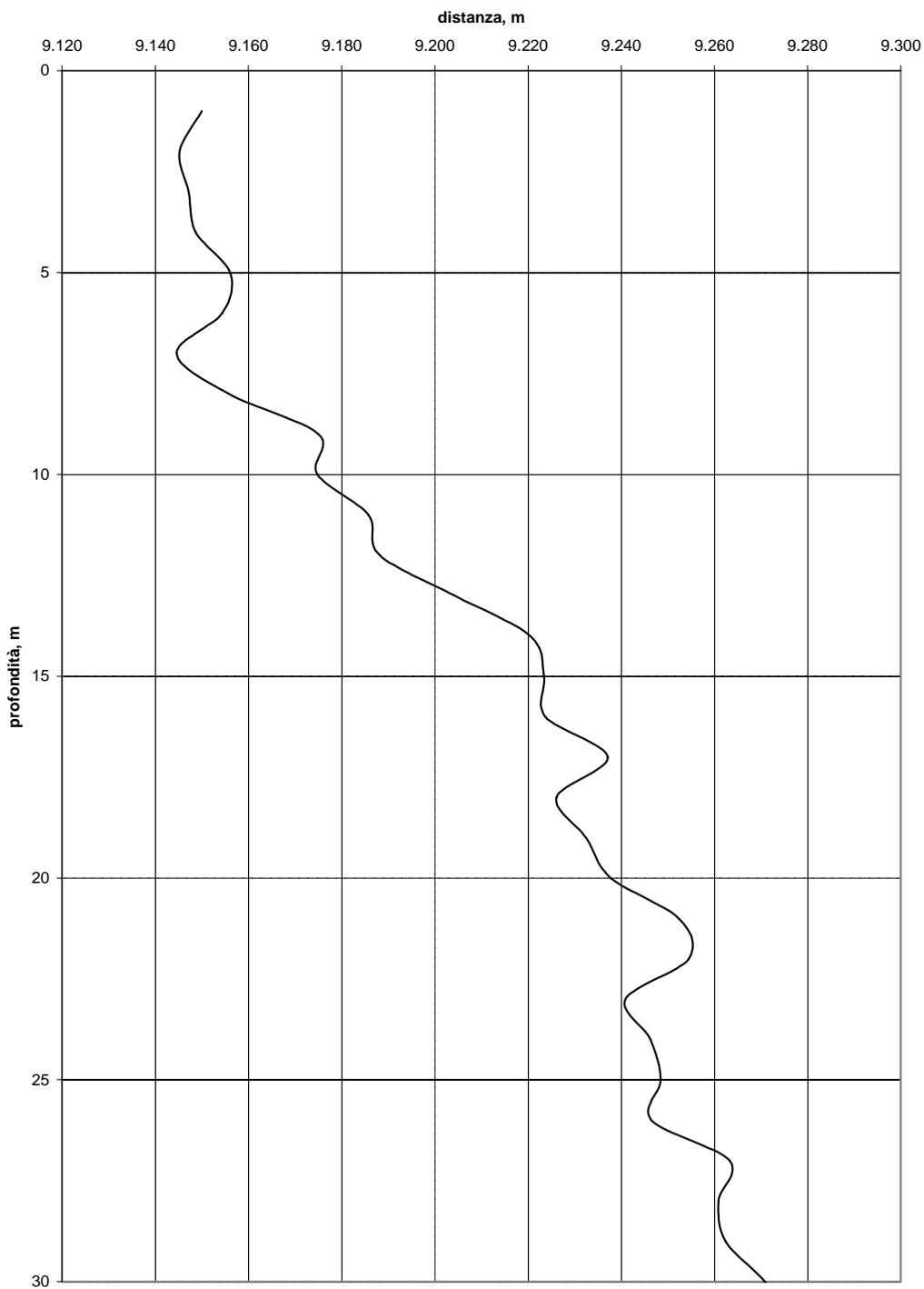


Figura 4.2 – Grafico della distanza (m) tra i sondaggi BH 202 e CH 202 in funzione della profondità (m da p.c.)

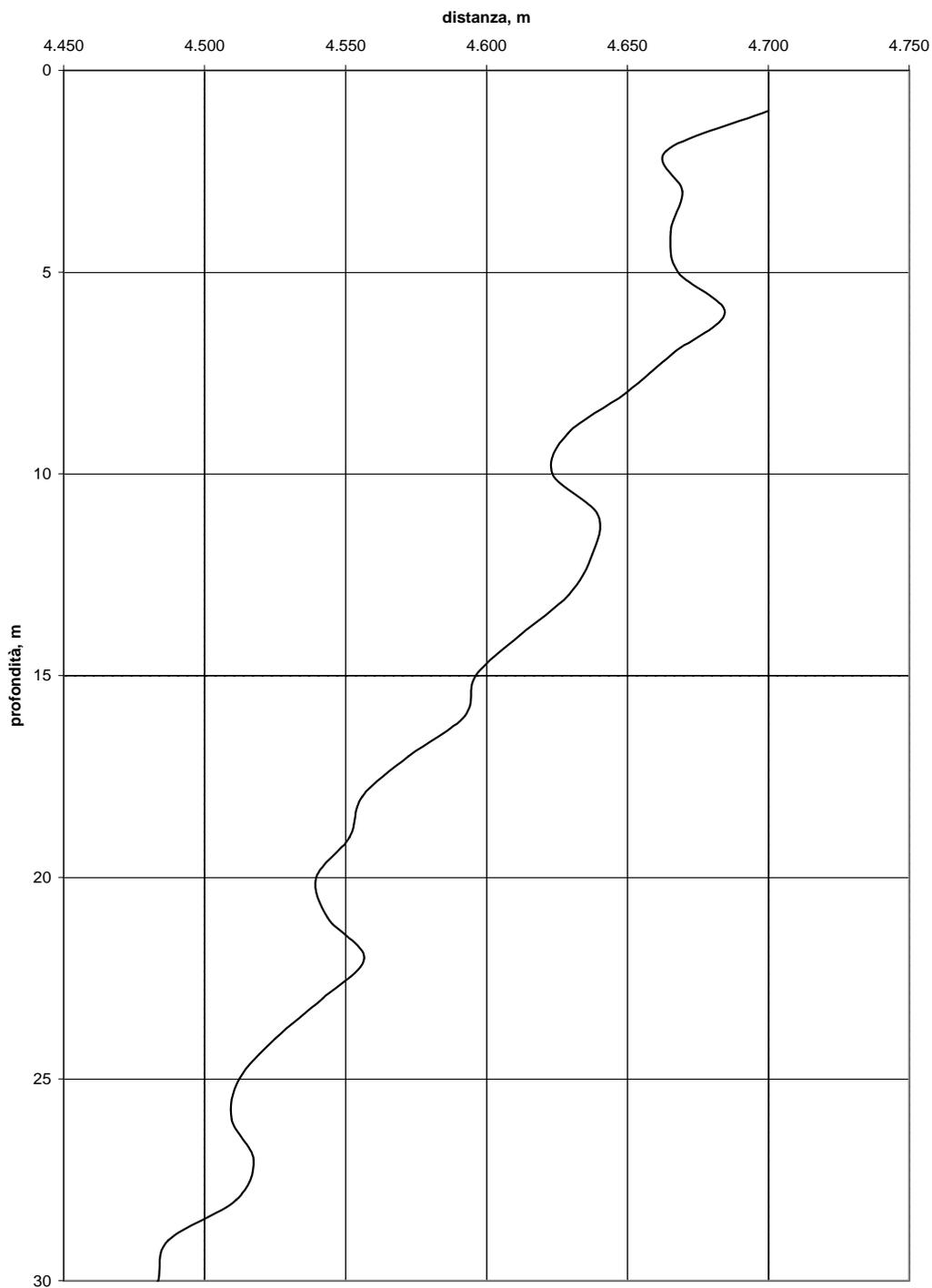


Figura 4.3 – Grafico della distanza (m) tra i sondaggi BH 219 e CH 219 in funzione della profondità (m da p.c.)

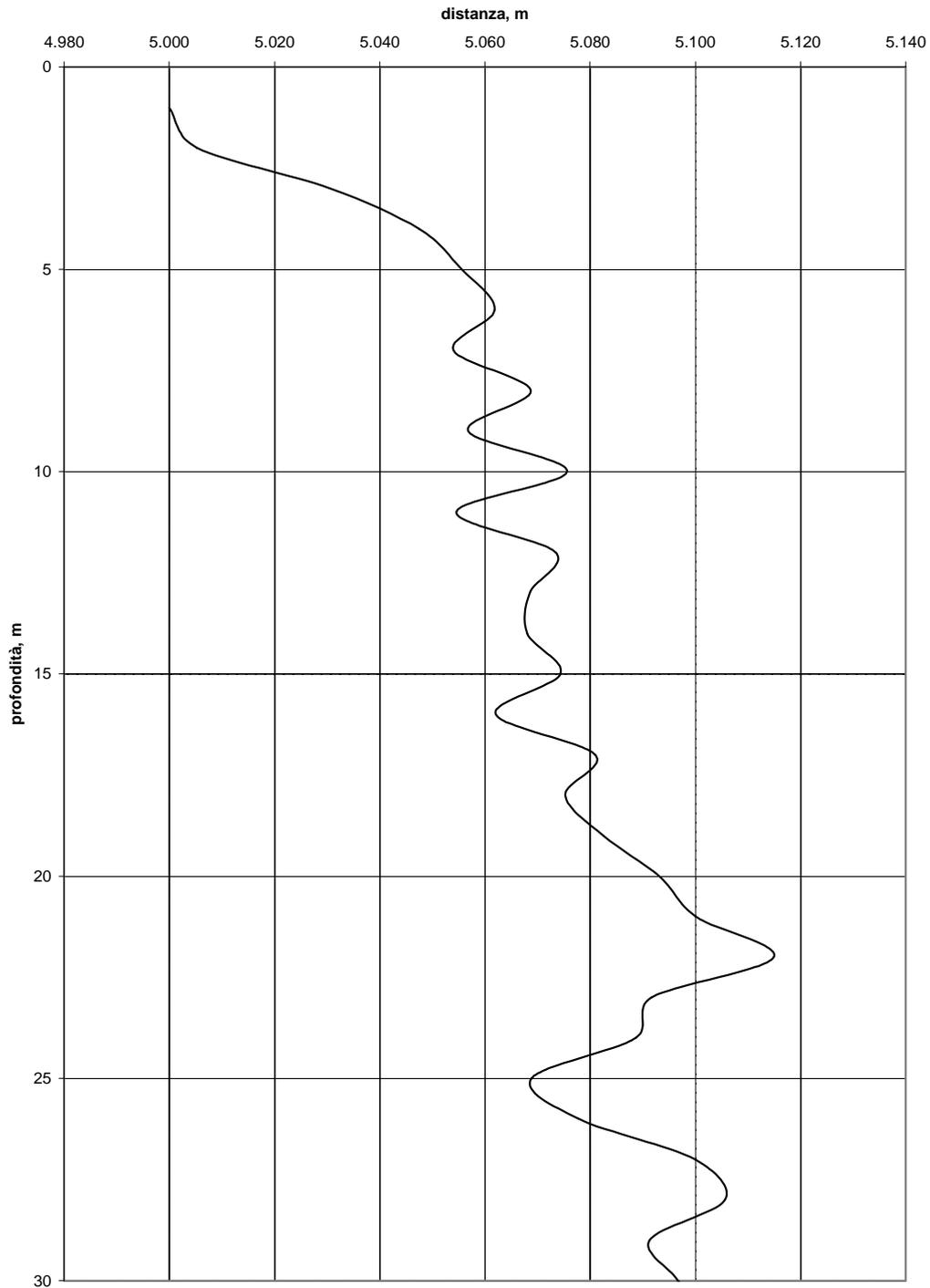


Figura 4.4 – Grafico della distanza (m) tra i sondaggi BH 229 e CH 229 in funzione della profondità (m da p.c.)

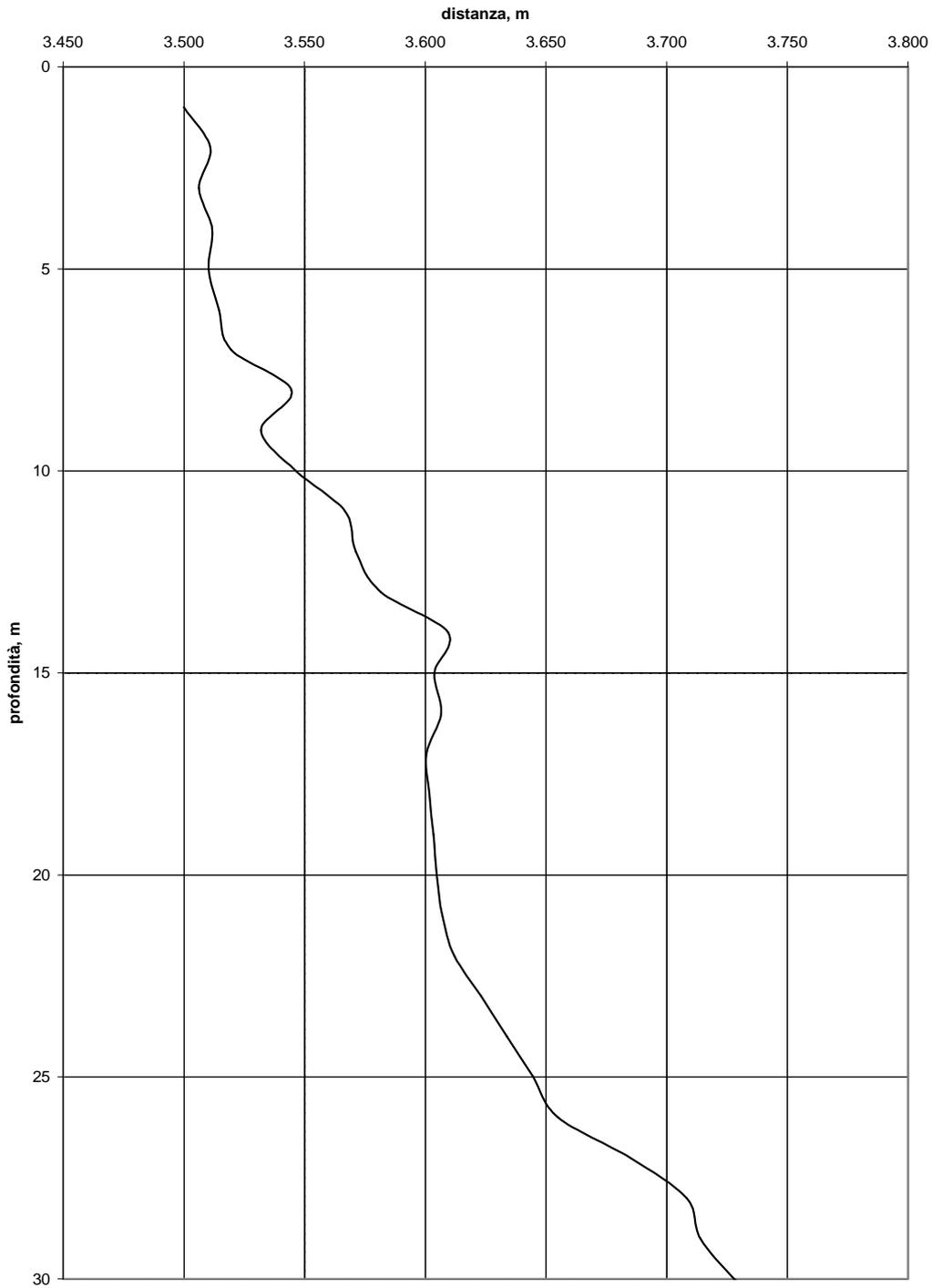


Figura 4.5 – Grafico della distanza (m) tra i sondaggi BH 255 e CH 255 in funzione della profondità (m da p.c.)

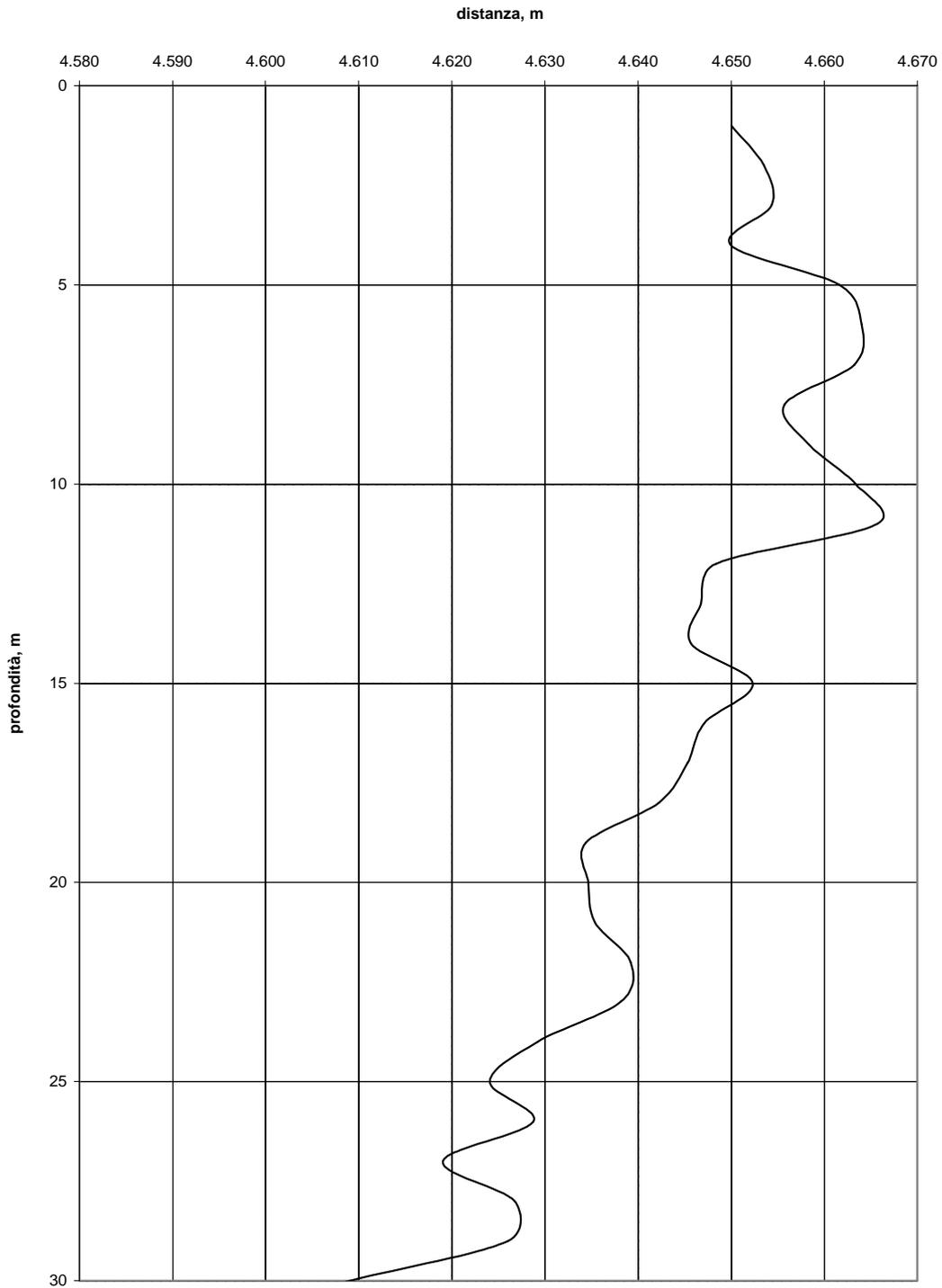


Figura 4.6 – Grafico della distanza (m) tra i sondaggi BH 210 e CH 210 in funzione della profondità (m da p.c.)

## 5. METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE

I tempi di primo arrivo delle onde P ed SH (Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5) sono stati letti e tabellati attraverso specifici programmi di picking che permettono, per ciascun trasduttore, di rimontare insieme e sovrapporre le tracce sismiche con polarità inverse relative alle varie profondità, con precisione di lettura fino a 0,01 millisecondi.

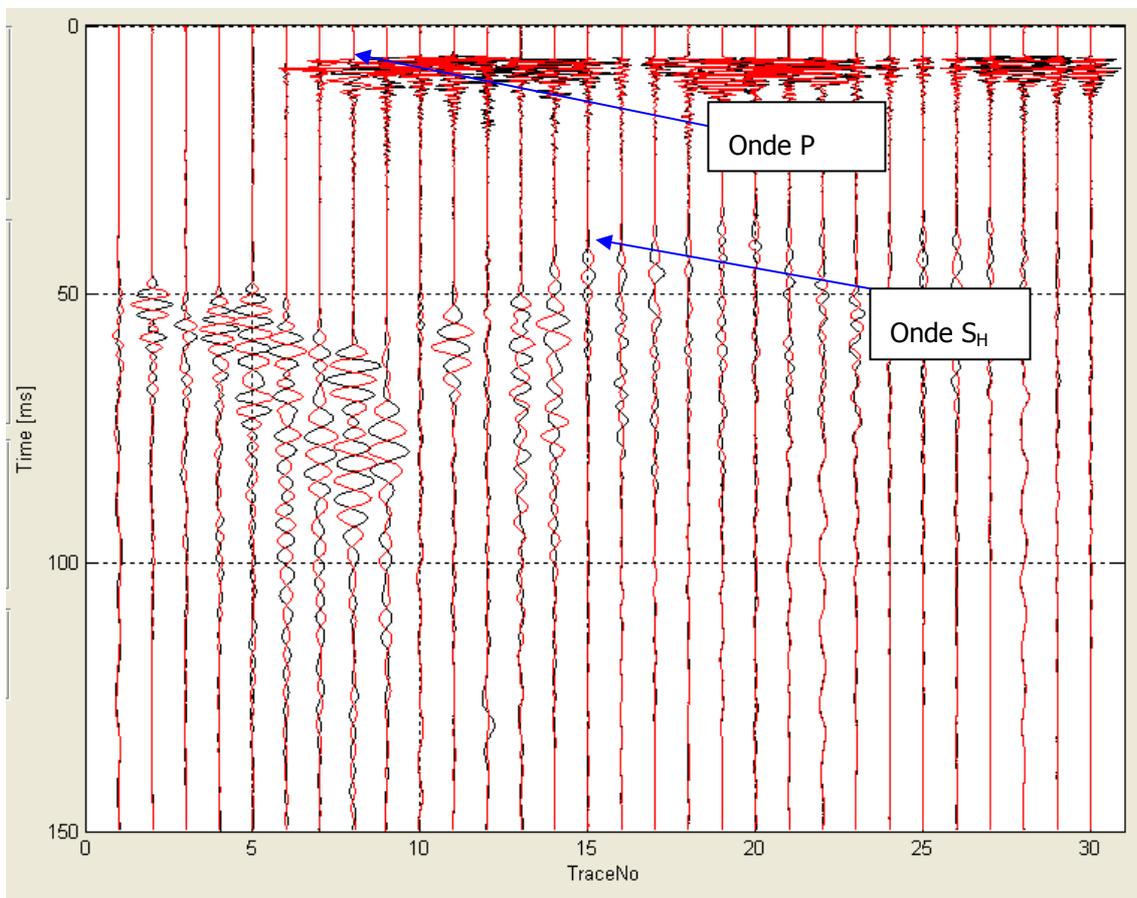


Figura 5.1 – Sezione sismica complessiva dei sismogrammi registrati (BH 202 – CH 202). In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

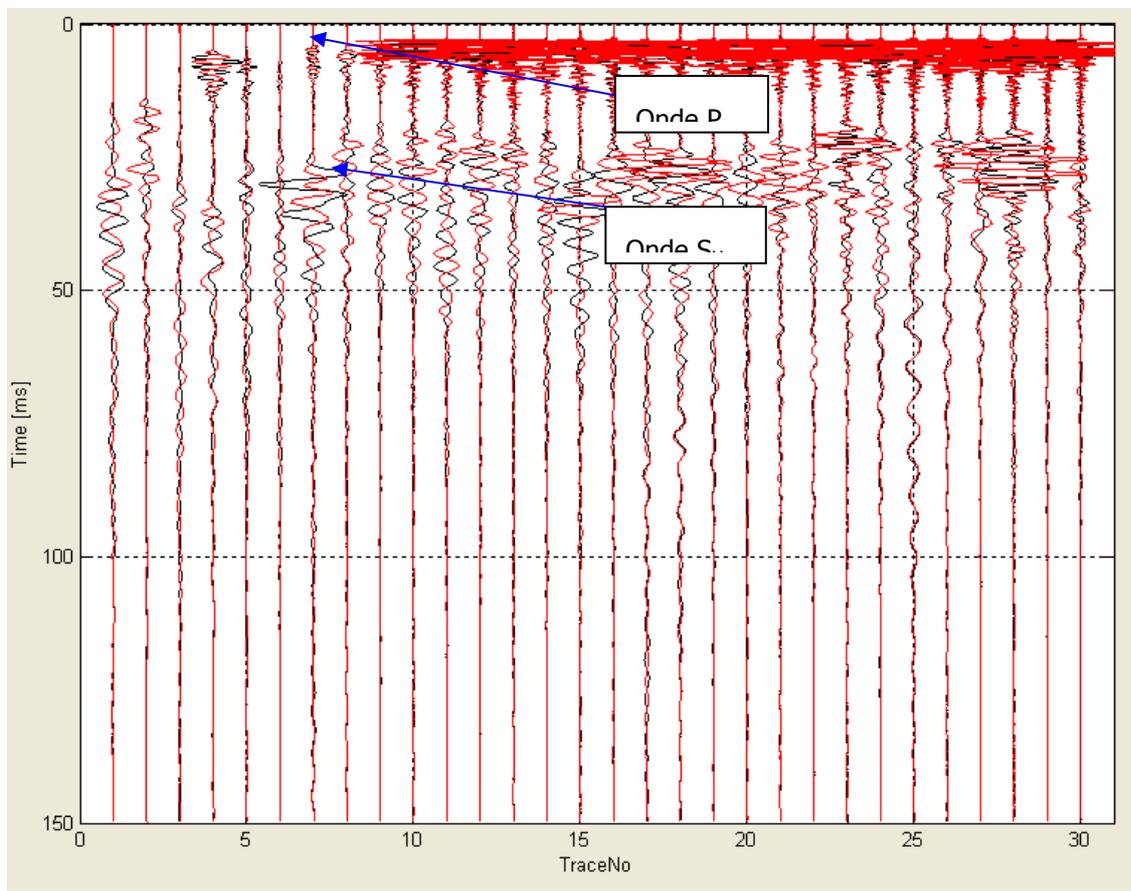


Figura 5.2 – Sezione sismica complessiva dei sismogrammi registrati (BH 219 – CH 219). In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

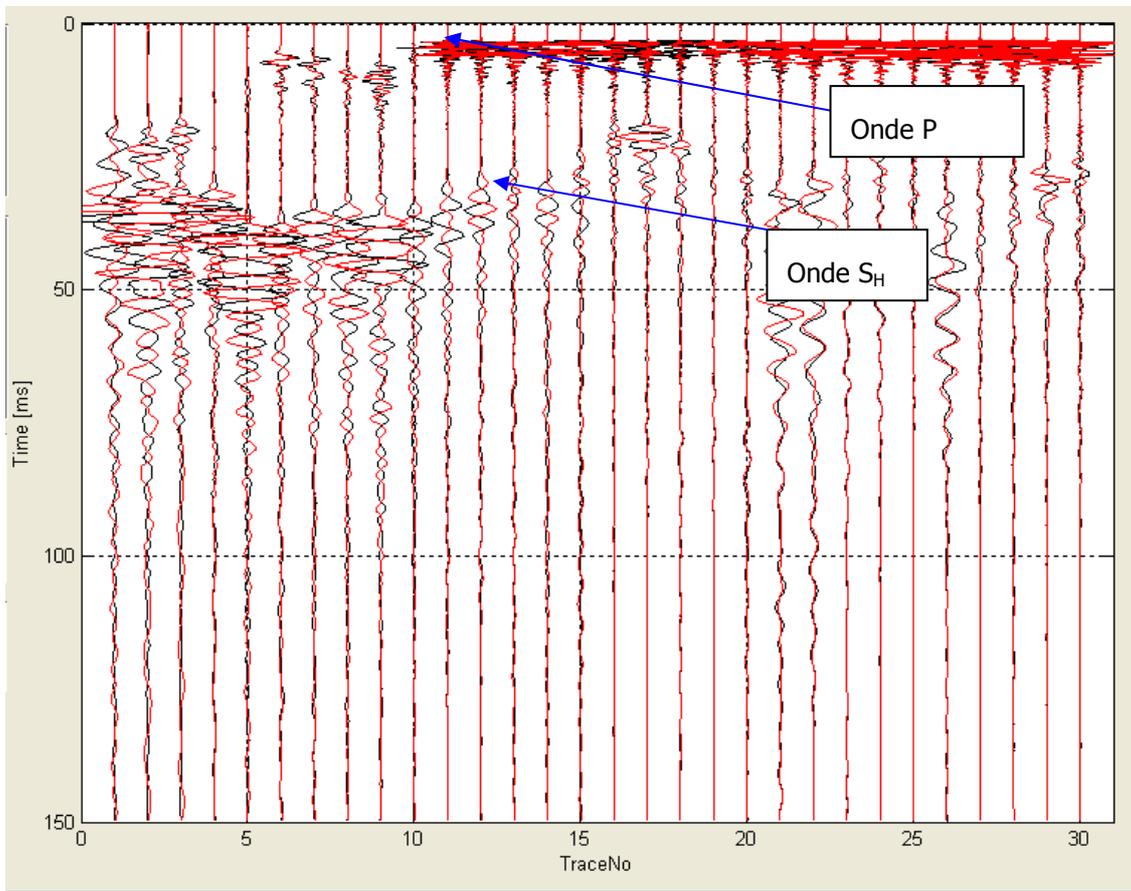


Figura 5.3 – Sezione sismica complessiva dei sismogrammi registrati (BH 229 – CH 229). In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

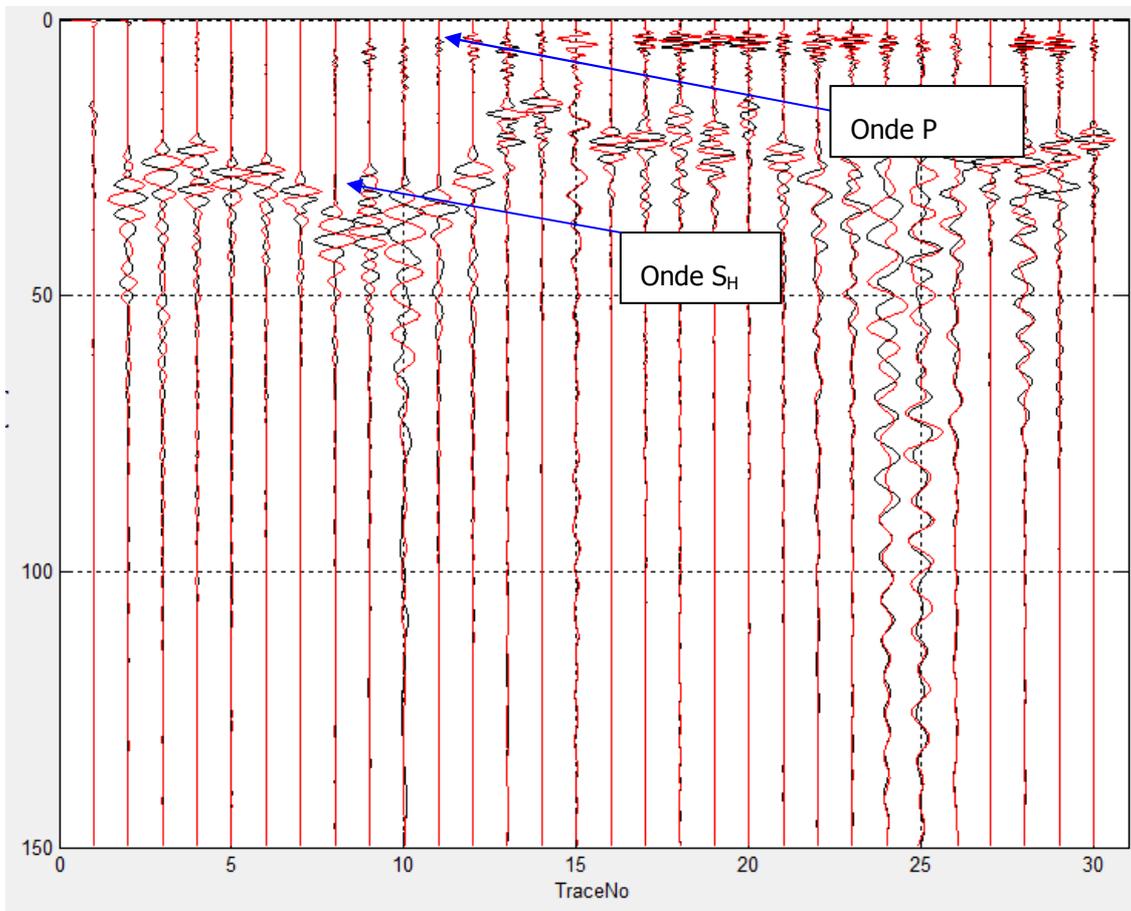


Figura 5.4 – Sezione sismica compressiva dei sismogrammi registrati (BH 255 – CH 255). In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

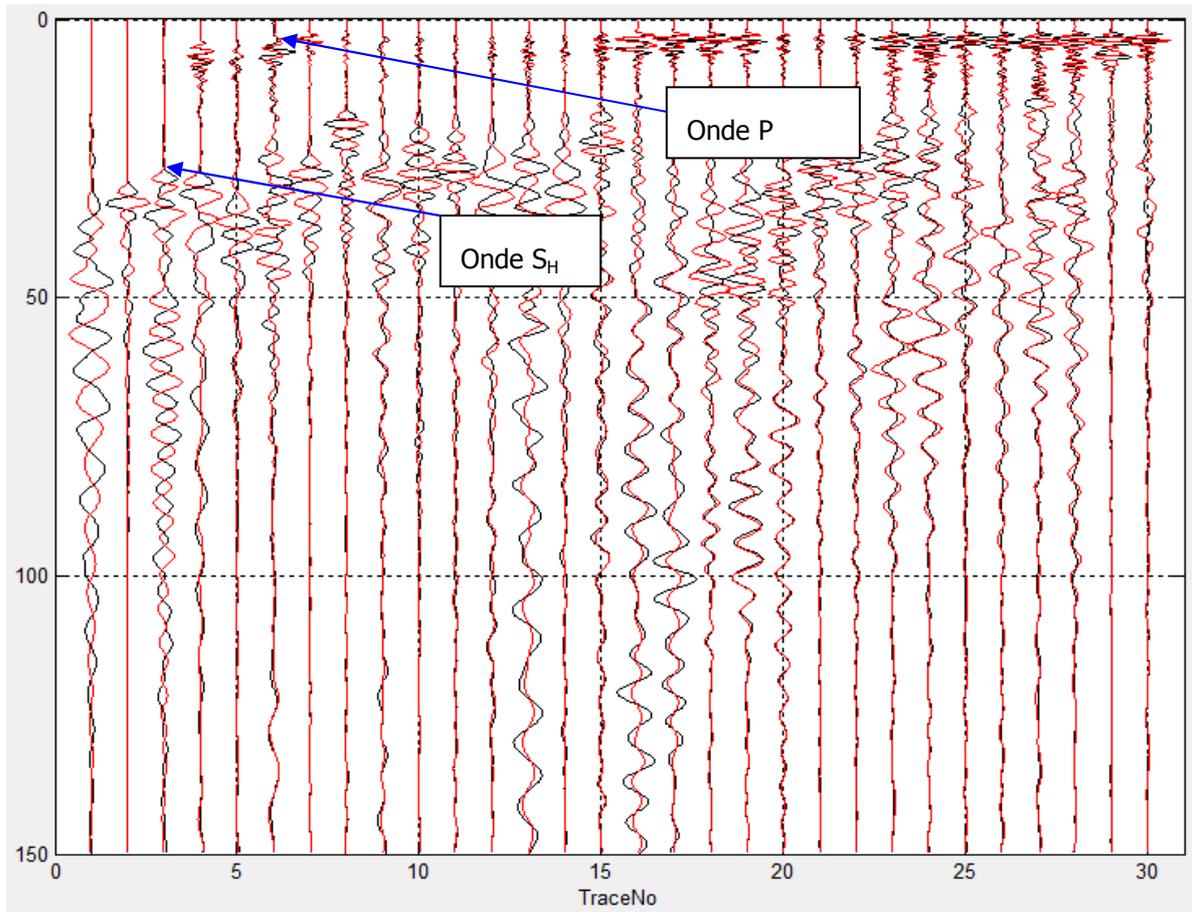


Figura 5.5 – Sezione sismica complessiva dei sismogrammi registrati (BH 210 – CH 210). In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

I tempi di arrivo delle onde P e delle onde SH misurate permettono in funzione della distanza di calcolare le velocità sismiche delle varie litologie incontrate alle diverse profondità.

## 6. ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI

### 6.1. CROSS-HOLE BH 202 – CH 202 (LOC. SAN FELICE SUL PANARO)

Le misure di velocità sismica (velocità di propagazione delle onde sismiche) calcolate sulla base delle distanze reali tra sorgente e ricevitore, sono riportate nella tabella sottostante.

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
1,0	9.15	18.68	490	49.68	184
2,0	9.15	17.3	529	46.36	197
3,0	9.15	17.3	529	48.85	187
4,0	9.16	8.44	1085	47.74	192
5,0	9.15	8.16	1122	46.63	196
6,0	9.14	7.33	1248	48.29	189
7,0	9.16	6.23	1470	54.66	168
8,0	9.18	6.15	1492	54.38	169
9,0	9.17	6.15	1492	56.6	162
10,0	9.19	5.51	1667	48.29	190
11,0	9.19	5.51	1668	47.46	194
12,0	9.20	5.51	1670	37.78	244
13,0	9.22	6.02	1532	46.63	198
14,0	9.22	5.51	1674	44.97	205
15,0	9.22	5.51	1674	41.37	223
16,0	9.24	5.51	1676	45.25	204

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
17,0	9.23	5.51	1674	43.04	214
18,0	9.23	5.51	1676	38.88	237
19,0	9.24	5.51	1677	33.07	279
20,0	9.25	5.51	1679	35.56	260
21,0	9.25	5.51	1680	40.82	227
22,0	9.24	5.51	1677	43.04	215
23,0	9.25	5.51	1678	41.37	224
24,0	9.25	5.51	1678	40.82	227
25,0	9.25	5.51	1678	39.44	234
26,0	9.26	5.51	1681	39.44	235
27,0	9.26	5.51	1681	31.96	290
28,0	9.26	5.51	1681	31.96	290
29,0	9.27	5.51	1683	39.71	233
30,0	9.28	5.51	1683	43.87	211

Sulla base delle velocità sismiche, per ogni metro di profondità, è stato possibile calcolare, attribuendo ai differenti litotipi i valori di densità desunti da bibliografia, i moduli elastici dinamici dei terreni indagati, di cui si riporta la tabella seguente:

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
0,0	1,0	18.0	490	184	0.42	6.22E+04	1.76E+05	3.57E+05
1,0	2,0	18.0	529	197	0.42	7.14E+04	2.03E+05	4.18E+05
2,0	3,0	18.0	529	187	0.43	6.44E+04	1.84E+05	4.27E+05
3,0	4,0	18.0	1085	192	0.48	6.75E+04	2.00E+05	2.07E+06
4,0	5,0	18.0	1122	196	0.48	7.07E+04	2.10E+05	2.22E+06
5,0	6,0	18.0	1248	189	0.49	6.58E+04	1.96E+05	2.77E+06
6,0	7,0	18.0	1470	168	0.49	5.15E+04	1.54E+05	3.89E+06
7,0	8,0	18.0	1492	169	0.49	5.22E+04	1.56E+05	4.01E+06
8,0	9,0	18.0	1492	162	0.49	4.82E+04	1.44E+05	4.02E+06
9,0	10,0	18.0	1667	190	0.49	6.64E+04	1.98E+05	5.01E+06
10,0	11,0	18.0	1668	194	0.49	6.88E+04	2.05E+05	5.01E+06
11,0	12,0	18.5	1670	244	0.49	1.12E+05	3.33E+05	5.11E+06
12,0	13,0	18.5	1532	198	0.49	7.37E+04	2.20E+05	4.33E+06
13,0	14,0	18.5	1674	205	0.49	7.93E+04	2.37E+05	5.18E+06
14,0	15,0	18.5	1674	223	0.49	9.37E+04	2.80E+05	5.16E+06
15,0	16,0	18.5	1676	204	0.49	7.86E+04	2.35E+05	5.20E+06
16,0	17,0	18.5	1674	214	0.49	8.67E+04	2.59E+05	5.17E+06
17,0	18,0	18.5	1676	237	0.49	1.06E+05	3.17E+05	5.15E+06
18,0	19,0	18.5	1677	279	0.49	1.47E+05	4.37E+05	5.10E+06
19,0	20,0	19.0	1679	260	0.49	1.31E+05	3.90E+05	5.29E+06

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
20,0	21,0	19.0	1680	227	0.49	9.95E+04	2.97E+05	5.33E+06
21,0	22,0	19.0	1677	215	0.49	8.93E+04	2.66E+05	5.33E+06
22,0	23,0	19.0	1678	224	0.49	9.67E+04	2.88E+05	5.32E+06
23,0	24,0	19.0	1678	227	0.49	9.94E+04	2.96E+05	5.32E+06
24,0	25,0	19.0	1678	234	0.49	1.06E+05	3.17E+05	5.31E+06
25,0	26,0	19.0	1681	235	0.49	1.07E+05	3.18E+05	5.33E+06
26,0	27,0	19.0	1681	290	0.48	1.63E+05	4.83E+05	5.25E+06
27,0	28,0	19.0	1681	290	0.48	1.63E+05	4.83E+05	5.26E+06
28,0	29,0	19.0	1683	233	0.49	1.06E+05	3.15E+05	5.34E+06
29,0	30,0	19.0	1683	211	0.49	8.66E+04	2.58E+05	5.37E+06

## 6.2. CROSS-HOLE BH 219 – CH 219 (LOC. FINALE EMILIA)

Le misure di velocità sismica (velocità di propagazione delle onde sismiche) calcolate sulla base delle distanze reali tra sorgente e ricevitore, sono riportate nella tabella sottostante.

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
1,0	4.66	14.46	323	41.83	111
2,0	4.67	13.53	345	25.83	181
3,0	4.67	5.99	779	21.2	220
4,0	4.67	4.45	1049	34.56	135
5,0	4.68	4.14	1132	27.29	172
6,0	4.67	4.14	1127	26.36	177
7,0	4.65	4.14	1123	26.36	176
8,0	4.63	3.81	1215	21.6	214
9,0	4.62	3.01	1536	18.16	255
10,0	4.64	3.01	1541	19.88	233
11,0	4.64	3.01	1541	18.29	254
12,0	4.63	3.01	1538	24.77	187
13,0	4.61	3.01	1532	22.26	207
14,0	4.60	3.01	1527	21.86	210
15,0	4.59	3.01	1526	27.29	168
16,0	4.57	3.01	1519	23.72	193
17,0	4.56	3.01	1514	21.86	208
18,0	4.55	3.01	1512	23.45	194

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde SH (m/s)
19,0	4.54	3.01	1508	26.23	173
20,0	4.54	3.01	1510	24.38	186
21,0	4.56	3.01	1514	23.19	196
22,0	4.54	3.01	1509	25.83	176
23,0	4.53	3.01	1503	20.81	217
24,0	4.51	3.01	1499	19.09	236
25,0	4.51	3.01	1498	21.86	206
26,0	4.52	3.01	1501	21.73	208
27,0	4.51	3.01	1499	20.81	217
28,0	4.49	3.01	1491	20.81	216
29,0	4.48	3.01	1490	21.2	211
30,0	4.48	3.01	1488	18.69	240

Sulla base delle velocità sismiche, per ogni metro di profondità, è stato possibile calcolare, attribuendo ai differenti litotipi i valori di densità desunti da bibliografia, i moduli elastici dinamici dei terreni indagati, di cui si riporta la tabella seguente:

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
0,0	1,0	18.0	323	111	0.43	2.28E+04	6.53E+04	1.60E+05
1,0	2,0	18.0	345	181	0.31	6.00E+04	1.57E+05	1.39E+05
2,0	3,0	18.0	779	220	0.46	8.89E+04	2.59E+05	9.95E+05
3,0	4,0	18.0	1049	135	0.49	3.35E+04	9.99E+04	1.97E+06
4,0	5,0	18.0	1132	172	0.49	5.41E+04	1.61E+05	2.28E+06
5,0	6,0	18.0	1127	177	0.49	5.75E+04	1.71E+05	2.25E+06
6,0	7,0	18.0	1123	176	0.49	5.71E+04	1.70E+05	2.24E+06
7,0	8,0	18.0	1215	214	0.48	8.43E+04	2.50E+05	2.60E+06
8,0	9,0	18.0	1536	255	0.49	1.19E+05	3.53E+05	4.17E+06
9,0	10,0	18.0	1541	233	0.49	9.99E+04	2.97E+05	4.23E+06
10,0	11,0	18.0	1541	254	0.49	1.18E+05	3.51E+05	4.20E+06
11,0	12,0	18.5	1538	187	0.49	6.59E+04	1.97E+05	4.37E+06
12,0	13,0	18.5	1532	207	0.49	8.09E+04	2.41E+05	4.32E+06
13,0	14,0	18.5	1527	210	0.49	8.34E+04	2.48E+05	4.29E+06
14,0	15,0	18.5	1526	168	0.49	5.34E+04	1.60E+05	4.32E+06
15,0	16,0	18.5	1519	193	0.49	7.01E+04	2.09E+05	4.26E+06
16,0	17,0	18.5	1514	208	0.49	8.19E+04	2.44E+05	4.21E+06
17,0	18,0	18.5	1512	194	0.49	7.10E+04	2.12E+05	4.22E+06
18,0	19,0	18.5	1508	173	0.49	5.65E+04	1.69E+05	4.21E+06
19,0	20,0	19.0	1510	186	0.49	6.73E+04	2.01E+05	4.32E+06

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
20,0	21,0	19.0	1514	196	0.49	7.48E+04	2.23E+05	4.34E+06
21,0	22,0	19.0	1509	176	0.49	5.99E+04	1.79E+05	4.33E+06
22,0	23,0	19.0	1503	217	0.49	9.16E+04	2.73E+05	4.26E+06
23,0	24,0	19.0	1499	236	0.49	1.08E+05	3.22E+05	4.21E+06
24,0	25,0	19.0	1498	206	0.49	8.24E+04	2.46E+05	4.24E+06
25,0	26,0	19.0	1501	208	0.49	8.37E+04	2.49E+05	4.25E+06
26,0	27,0	19.0	1499	217	0.49	9.10E+04	2.71E+05	4.23E+06
27,0	28,0	19.0	1491	216	0.49	9.00E+04	2.68E+05	4.18E+06
28,0	29,0	19.0	1490	211	0.49	8.66E+04	2.58E+05	4.18E+06
29,0	30,0	19.0	1488	240	0.49	1.11E+05	3.31E+05	4.14E+06

### 6.3. CROSS-HOLE BH 229 – CH 229 (LOC. FINALE EMILIA)

Le misure di velocità sismica (velocità di propagazione delle onde sismiche) calcolate sulla base delle distanze reali tra sorgente e ricevitore, sono riportate nella tabella sottostante.

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
1,0	5.01	17.57	285	28.14	178
2,0	5.03	17.57	286	27.48	183
3,0	5.05	17.57	287	27.48	184
4,0	5.06	8.95	565	28.25	179
5,0	5.06	6.93	730	33.15	153
6,0	5.05	5.46	926	33.71	150
7,0	5.07	5.46	928	35.27	144
8,0	5.06	4.73	1069	34.04	149
9,0	5.08	4.97	1021	36.05	141
10,0	5.05	3.52	1436	33.15	152
11,0	5.07	3.23	1571	29.7	171
12,0	5.07	3.23	1569	24.58	206
13,0	5.07	3.23	1569	23.91	212
14,0	5.07	3.21	1581	26.58	191
15,0	5.06	3.21	1577	21.24	238
16,0	5.08	3.21	1583	16.46	309
17,0	5.08	3.21	1581	16.4	309
18,0	5.08	3.21	1583	16.34	311
19,0	5.09	3.21	1587	16.34	312
20,0	5.10	3.21	1589	17.46	292

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
21,0	5.11	3.21	1593	23.69	216
22,0	5.09	3.21	1586	21.46	237
23,0	5.09	3.18	1600	19.68	259
24,0	5.07	3.21	1579	18.68	271
25,0	5.08	3.21	1582	17.01	299
26,0	5.10	3.21	1589	23.13	220
27,0	5.11	3.21	1591	23.58	217
28,0	5.09	3.21	1586	23.91	213
29,0	5.10	3.21	1588	22.13	230
30,0	5.10	3.21	1589	20.91	244

Sulla base delle velocità sismiche, per ogni metro di profondità, è stato possibile calcolare, attribuendo ai differenti litotipi i valori di densità desunti da bibliografia, i moduli elastici dinamici dei terreni indagati, di cui si riporta la tabella seguente:

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	1.0	18.0	285	178	0.18	5.81E+04	1.37E+05	7.15E+04
1.0	2.0	18.0	286	183	0.15	6.15E+04	1.42E+05	6.84E+04
2.0	3.0	18.0	287	184	0.15	6.19E+04	1.43E+05	6.89E+04
3.0	4.0	18.0	565	179	0.44	5.88E+04	1.70E+05	5.07E+05
4.0	5.0	18.0	730	153	0.48	4.28E+04	1.26E+05	9.22E+05
5.0	6.0	18.0	926	150	0.49	4.12E+04	1.23E+05	1.52E+06
6.0	7.0	18.0	928	144	0.49	3.79E+04	1.13E+05	1.53E+06
7.0	8.0	18.0	1069	149	0.49	4.05E+04	1.21E+05	2.04E+06
8.0	9.0	18.0	1021	141	0.49	3.64E+04	1.08E+05	1.87E+06
9.0	10.0	18.0	1436	152	0.49	4.27E+04	1.27E+05	3.73E+06
10.0	11.0	18.0	1571	171	0.49	5.35E+04	1.60E+05	4.46E+06
11.0	12.0	18.5	1569	206	0.49	8.02E+04	2.39E+05	4.54E+06
12.0	13.0	18.5	1569	212	0.49	8.47E+04	2.53E+05	4.53E+06
13.0	14.0	18.5	1581	191	0.49	6.87E+04	2.05E+05	4.62E+06
14.0	15.0	18.5	1577	238	0.49	1.07E+05	3.19E+05	4.55E+06
15.0	16.0	18.5	1583	309	0.48	1.80E+05	5.32E+05	4.49E+06
16.0	17.0	18.5	1581	309	0.48	1.81E+05	5.35E+05	4.47E+06
17.0	18.0	18.5	1583	311	0.48	1.82E+05	5.40E+05	4.48E+06
18.0	19.0	18.5	1587	312	0.48	1.83E+05	5.42E+05	4.50E+06

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
19.0	20.0	19.0	1589	292	0.48	1.65E+05	4.90E+05	4.67E+06
20.0	21.0	19.0	1593	216	0.49	9.03E+04	2.69E+05	4.80E+06
21.0	22.0	19.0	1586	237	0.49	1.09E+05	3.25E+05	4.73E+06
22.0	23.0	19.0	1600	259	0.49	1.29E+05	3.85E+05	4.79E+06
23.0	24.0	19.0	1579	271	0.48	1.43E+05	4.23E+05	4.64E+06
24.0	25.0	19.0	1582	299	0.48	1.73E+05	5.11E+05	4.62E+06
25.0	26.0	19.0	1589	220	0.49	9.42E+04	2.81E+05	4.76E+06
26.0	27.0	19.0	1591	217	0.49	9.08E+04	2.71E+05	4.78E+06
27.0	28,0	19.0	1586	213	0.49	8.78E+04	2.62E+05	4.76E+06
28.0	29,0	19.0	1588	230	0.49	1.03E+05	3.06E+05	4.75E+06
29.0	30,0	19.0	1589	244	0.49	1.15E+05	3.43E+05	4.74E+06

#### 6.4. CROSS-HOLE BH 255 – CH 255 (LOC. S.AGOSTINO)

Le misure di velocità sismica (velocità di propagazione delle onde sismiche) calcolate sulla base delle distanze reali tra sorgente e ricevitore, sono riportate nella tabella sottostante.

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
1,0	3.51	10.69	328	23.60	149
2,0	3.51	5.85	600	22.38	157
3,0	3.51	2.56	1371	21.70	162
4,0	3.51	2.21	1586	20.34	173
5,0	3.51	2.46	1428	24.50	143
6,0	3.52	3.10	1136	23.84	148
7,0	3.54	2.98	1188	27.20	130
8,0	3.53	3.49	1013	27.70	127
9,0	3.55	2.84	1250	25.46	139
10,0	3.57	2.72	1311	27.52	130
11,0	3.57	2.70	1323	26.16	137
12,0	3.58	2.33	1537	22.49	159
13,0	3.61	2.16	1673	13.90	260
14,0	3.60	2.04	1767	12.34	292
15,0	3.61	2.33	1548	13.35	270
16,0	3.60	2.21	1626	19.33	186
17,0	3.60	2.16	1670	15.64	230
18,0	3.60	2.27	1586	15.18	237
19,0	3.60	2.27	1587	13.87	260

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
20,0	3.61	2.21	1629	12.38	291
21,0	3.61	2.23	1618	20.01	181
22,0	3.62	2.27	1595	17.43	208
23,0	3.63	2.33	1560	18.35	198
24,0	3.64	2.57	1418	21.63	169
25,0	3.65	2.56	1427	19.69	186
26,0	3.68	2.26	1631	16.23	227
27,0	3.71	2.32	1601	19.71	188
28,0	3.71	2.32	1604	17.50	212
29,0	3.73	2.37	1570	17.48	213
30,0	3.74	2.43	1540	17.88	209

Sulla base delle velocità sismiche, per ogni metro di profondità, è stato possibile calcolare, attribuendo ai differenti litotipi i valori di densità desunti da bibliografia, i moduli elastici dinamici dei terreni indagati, di cui si riporta la tabella seguente:

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	1.0	18.0	328	149	0.37	4.06E+04	1.11E+05	1.44E+05
1.0	2.0	18.0	600	157	0.46	4.50E+04	1.32E+05	6.00E+05
2.0	3.0	18.0	1371	162	0.49	4.80E+04	1.43E+05	3.39E+06
3.0	4.0	18.0	1586	173	0.49	5.46E+04	1.63E+05	4.54E+06
4.0	5.0	18.0	1428	143	0.49	3.77E+04	1.13E+05	3.69E+06
5.0	6.0	18.0	1136	148	0.49	4.00E+04	1.19E+05	2.32E+06
6.0	7.0	18.0	1188	130	0.49	3.12E+04	9.31E+04	2.55E+06
7.0	8.0	18.0	1013	127	0.49	2.98E+04	8.90E+04	1.84E+06
8.0	9.0	18.0	1250	139	0.49	3.56E+04	1.06E+05	2.82E+06
9.0	10.0	18.0	1311	130	0.49	3.08E+04	9.22E+04	3.11E+06
10.0	11.0	18.0	1323	137	0.49	3.42E+04	1.02E+05	3.17E+06
11.0	12.0	18.5	1537	159	0.49	4.78E+04	1.43E+05	4.39E+06
12.0	13.0	18.5	1673	260	0.49	1.27E+05	3.78E+05	5.11E+06
13.0	14.0	18.5	1767	292	0.49	1.61E+05	4.78E+05	5.67E+06
14.0	15.0	18.5	1548	270	0.48	1.38E+05	4.09E+05	4.33E+06
15.0	16.0	18.5	1626	186	0.49	6.55E+04	1.95E+05	4.90E+06
16.0	17.0	18.5	1670	230	0.49	1.00E+05	2.98E+05	5.12E+06
17.0	18.0	18.5	1586	237	0.49	1.06E+05	3.16E+05	4.60E+06
18.0	19.0	18.5	1587	260	0.49	1.27E+05	3.78E+05	4.58E+06
19.0	20.0	19.0	1629	291	0.48	1.64E+05	4.88E+05	4.92E+06

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
20.0	21.0	19.0	1618	181	0.49	6.31E+04	1.89E+05	4.98E+06
21.0	22.0	19.0	1595	208	0.49	8.37E+04	2.50E+05	4.81E+06
22.0	23.0	19.0	1560	198	0.49	7.60E+04	2.27E+05	4.61E+06
23.0	24.0	19.0	1418	169	0.49	5.53E+04	1.65E+05	3.82E+06
24.0	25.0	19.0	1427	186	0.49	6.68E+04	1.99E+05	3.86E+06
25.0	26.0	19.0	1631	227	0.49	9.98E+04	2.98E+05	5.02E+06
26.0	27.0	19.0	1601	188	0.49	6.86E+04	2.05E+05	4.87E+06
27.0	28,0	19.0	1604	212	0.49	8.72E+04	2.60E+05	4.86E+06
28.0	29,0	19.0	1570	213	0.49	8.81E+04	2.63E+05	4.66E+06
29.0	30,0	19.0	1540	209	0.49	8.50E+04	2.53E+05	4.48E+06

## 6.5. CROSS-HOLE BH 210 – CH 210 (LOC. SAN FELICE SUL PANARO)

Le misure di velocità sismica (velocità di propagazione delle onde sismiche) calcolate sulla base delle distanze reali tra sorgente e ricevitore, sono riportate nella tabella sottostante.

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10-3)	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10-3)	Velocità sismica onde SH (m/s)
1,0	4.65	10.06	463	28.95	161
2,0	4.65	4.91	947	28.95	161
3,0	4.66	4.73	984	26.85	174
4,0	4.66	3.92	1188	26.85	173
5,0	4.66	3.82	1219	26.85	174
6,0	4.66	3.05	1526	21.45	217
7,0	4.65	2.99	1556	19.95	233
8,0	4.65	2.87	1619	15.75	295
9,0	4.66	3.07	1517	15.45	301
10,0	4.64	2.99	1552	15.75	295
11,0	4.63	2.89	1602	16.95	273
12,0	4.61	2.99	1543	17.55	263
13,0	4.62	2.87	1610	17.25	268
14,0	4.63	2.87	1613	16.05	289
15,0	4.65	2.85	1631	16.35	284
16,0	4.67	2.85	1636	15.34	304
17,0	4.69	2.85	1645	16.65	282
18,0	4.70	2.85	1646	16.95	277
19,0	4.68	2.87	1631	18.45	254
20,0	4.67	2.87	1628	19.35	241

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde SH (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde SH (m/s)
21,0	4.67	2.87	1628	21.75	215
22,0	4.67	2.87	1628	20.49	228
23,0	4.67	2.75	1697	15.45	303
24,0	4.67	2.73	1709	14.96	312
25,0	4.67	2.65	1761	15.07	310
26,0	4.67	2.75	1696	14.00	333
27,0	4.67	2.73	1711	14.55	321
28,0	4.67	2.75	1696	13.42	348
29,0	4.66	2.75	1693	14.30	326
30,0	4.67	2.73	1709	14.41	324

Sulla base delle velocità sismiche, per ogni metro di profondità, è stato possibile calcolare, attribuendo ai differenti litotipi i valori di densità desunti da bibliografia, i moduli elastici dinamici dei terreni indagati, di cui si riporta la tabella seguente:

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
0,0	1,0	18.0	463	161	0.43	4.74E+04	1.36E+05	3.30E+05
1,0	2,0	18.0	947	161	0.49	4.74E+04	1.41E+05	1.58E+06
2,0	3,0	18.0	984	174	0.48	5.52E+04	1.64E+05	1.70E+06
3,0	4,0	18.0	1188	173	0.49	5.52E+04	1.64E+05	2.52E+06
4,0	5,0	18.0	1219	174	0.49	5.53E+04	1.65E+05	2.65E+06
5,0	6,0	18.0	1526	217	0.49	8.64E+04	2.57E+05	4.16E+06
6,0	7,0	18.0	1556	233	0.49	9.98E+04	2.97E+05	4.31E+06
7,0	8,0	18.0	1619	295	0.48	1.60E+05	4.74E+05	4.60E+06
8,0	9,0	18.0	1517	301	0.48	1.67E+05	4.93E+05	4.00E+06
9,0	10,0	18.0	1552	295	0.48	1.59E+05	4.72E+05	4.21E+06
10,0	11,0	18.0	1602	273	0.49	1.37E+05	4.07E+05	4.52E+06
11,0	12,0	18.5	1543	263	0.49	1.30E+05	3.87E+05	4.31E+06
12,0	13,0	18.5	1610	268	0.49	1.35E+05	4.02E+05	4.71E+06
13,0	14,0	18.5	1613	289	0.48	1.57E+05	4.66E+05	4.70E+06
14,0	15,0	18.5	1631	284	0.48	1.53E+05	4.53E+05	4.81E+06
15,0	16,0	18.5	1636	304	0.48	1.74E+05	5.17E+05	4.82E+06
16,0	17,0	18.5	1645	282	0.48	1.50E+05	4.45E+05	4.90E+06
17,0	18,0	18.5	1646	277	0.49	1.45E+05	4.30E+05	4.92E+06
18,0	19,0	18.5	1631	254	0.49	1.22E+05	3.61E+05	4.86E+06
19,0	20,0	19.0	1628	241	0.49	1.13E+05	3.36E+05	4.98E+06

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
20,0	21,0	19.0	1628	215	0.49	8.94E+04	2.67E+05	5.01E+06
21,0	22,0	19.0	1628	228	0.49	1.01E+05	3.00E+05	5.00E+06
22,0	23,0	19.0	1697	303	0.48	1.77E+05	5.26E+05	5.34E+06
23,0	24,0	19.0	1709	312	0.48	1.89E+05	5.60E+05	5.41E+06
24,0	25,0	19.0	1761	310	0.48	1.86E+05	5.53E+05	5.76E+06
25,0	26,0	19.0	1696	333	0.48	2.15E+05	6.38E+05	5.28E+06
26,0	27,0	19.0	1711	321	0.48	2.00E+05	5.92E+05	5.40E+06
27,0	28,0	19.0	1696	348	0.48	2.34E+05	6.92E+05	5.26E+06
28,0	29,0	19.0	1693	326	0.48	2.06E+05	6.10E+05	5.28E+06
29,0	30,0	19.0	1709	324	0.48	2.03E+05	6.03E+05	5.38E+06

## APPENDICE – PROVE DI VERTICALITA'

### Sondaggio BH 202

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

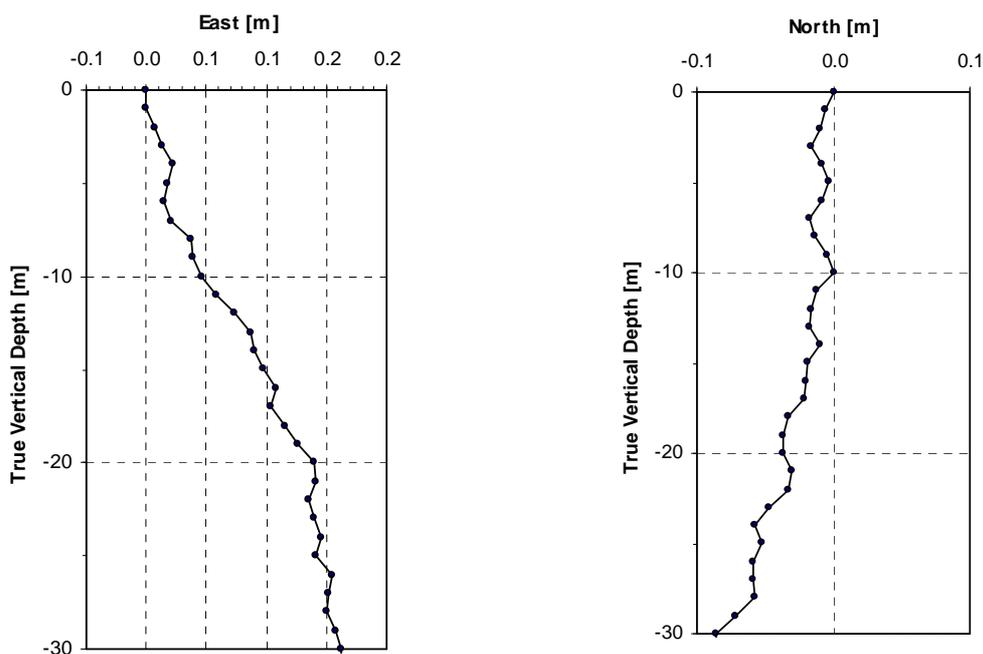
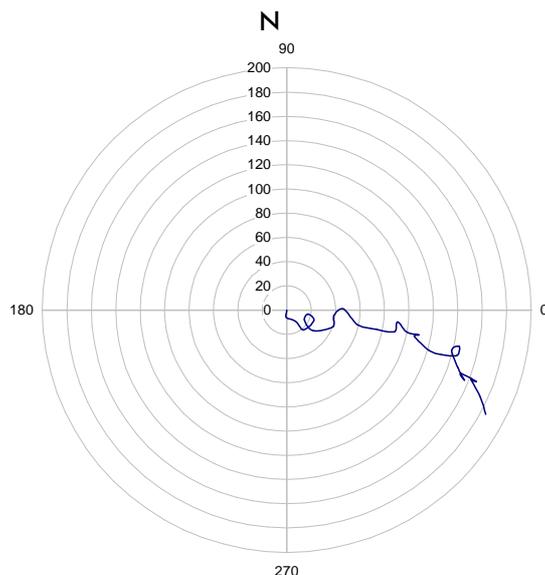


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



## Sondaggio CH 202

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

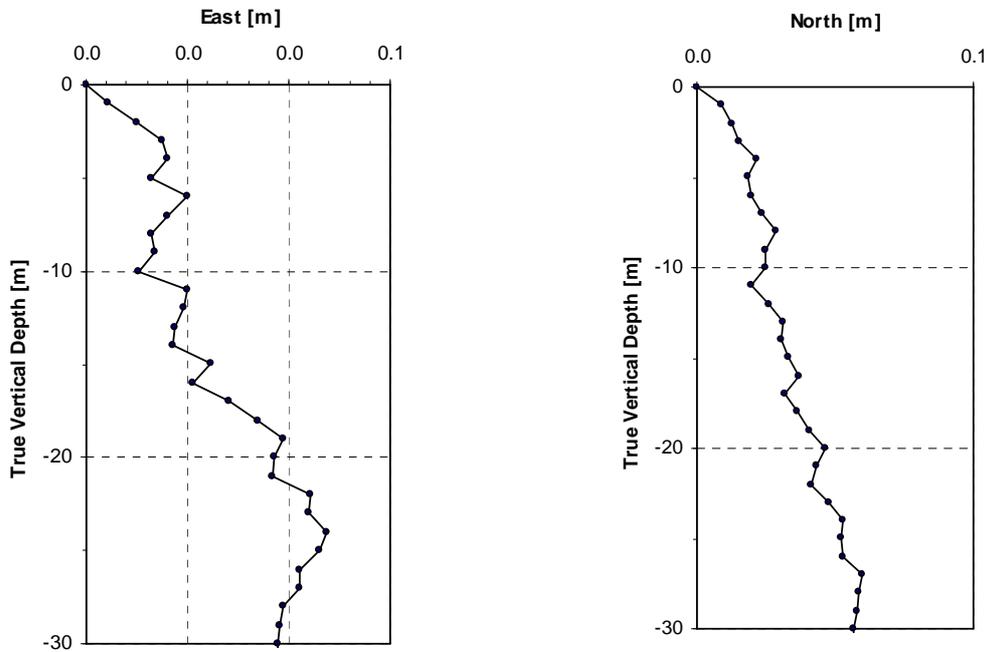
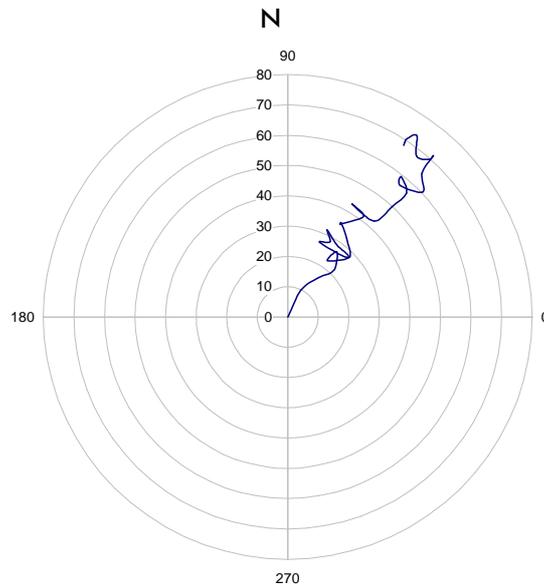


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



**Sondaggio BH 219**

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

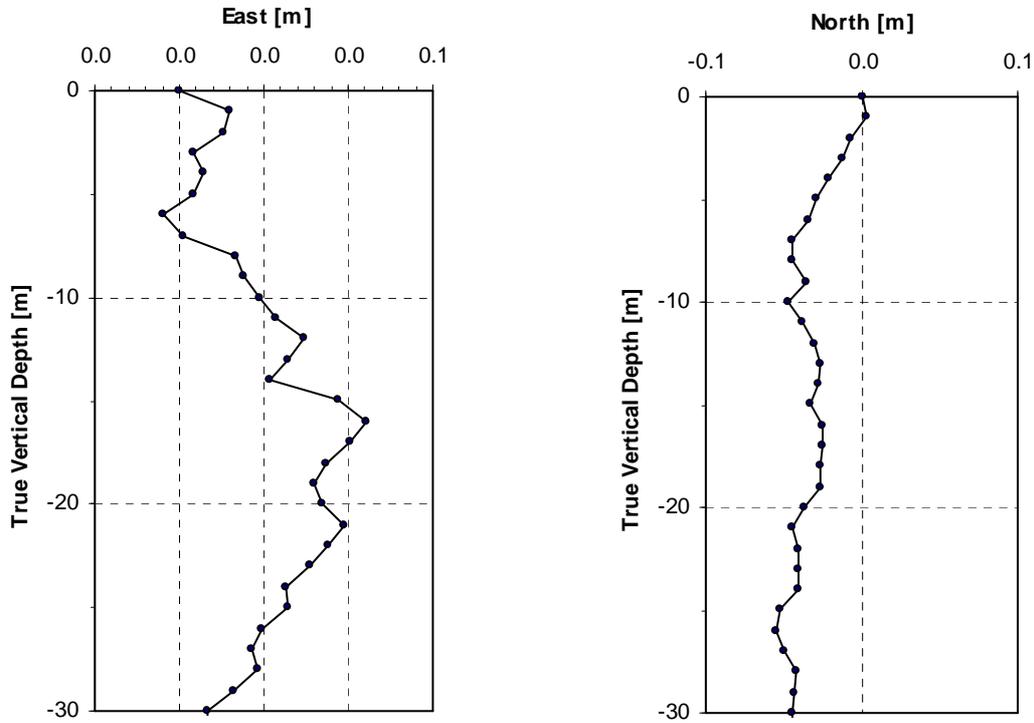
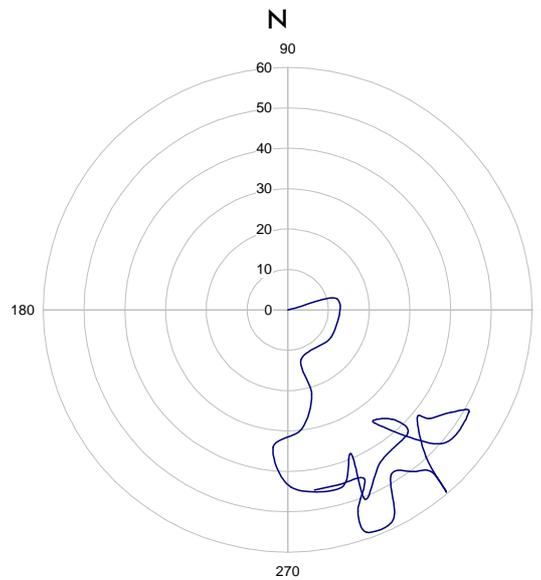


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



*Son*

**Sondaggio CH 219**

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

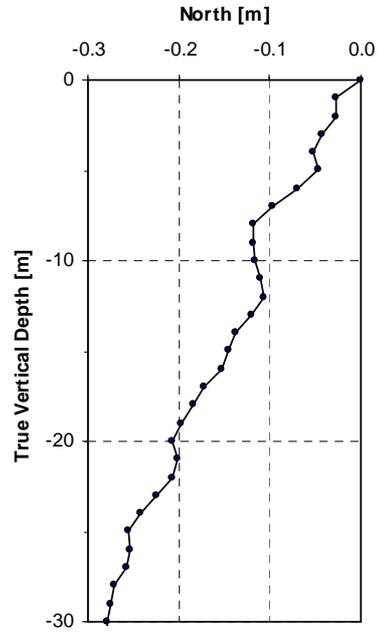
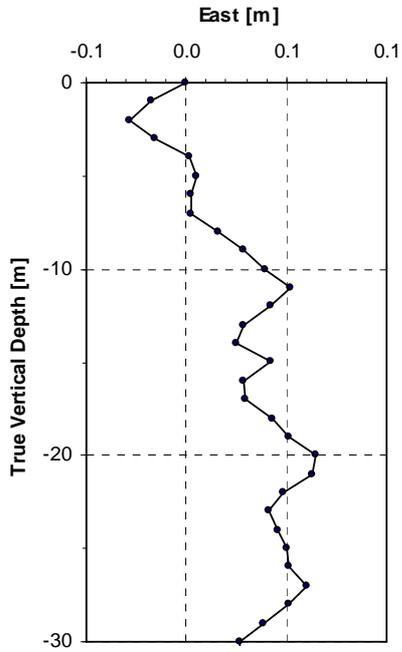
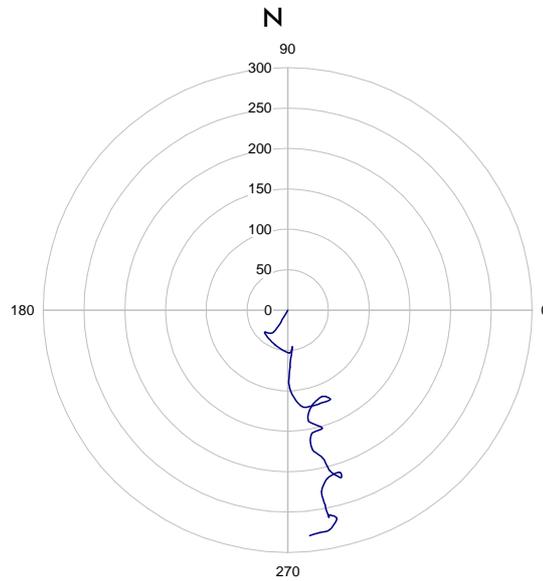


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



**Sondaggio BH 229**

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

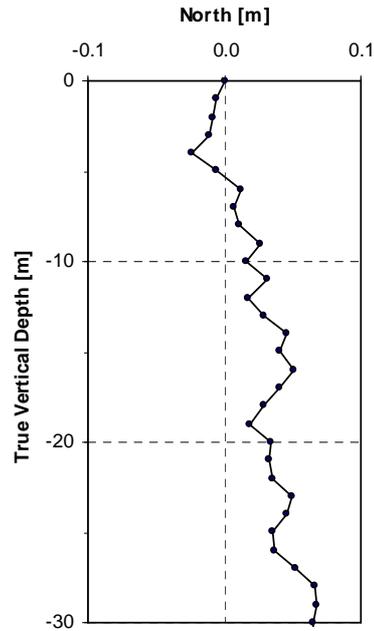
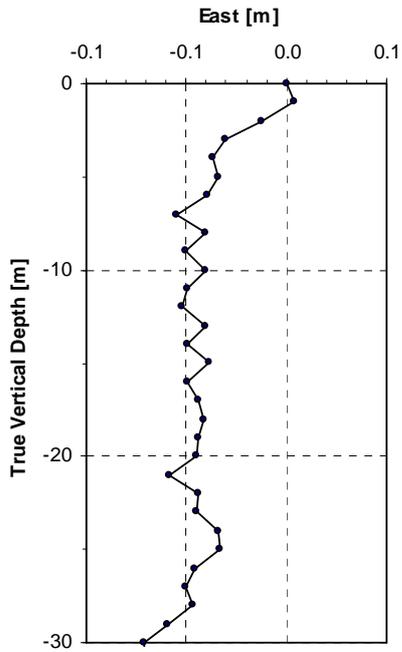
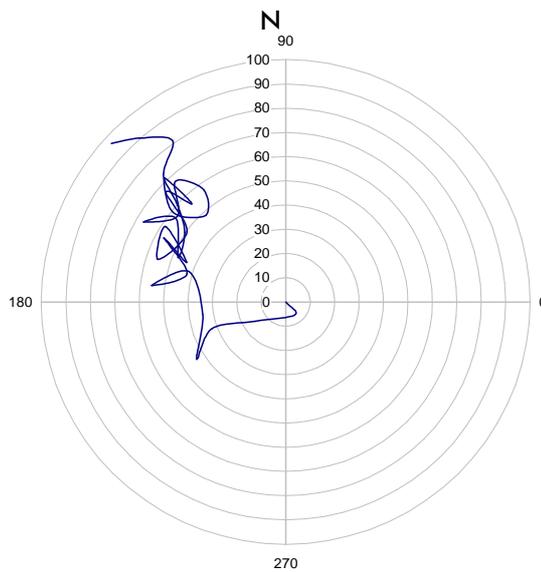


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



## Sondaggio CH 229

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

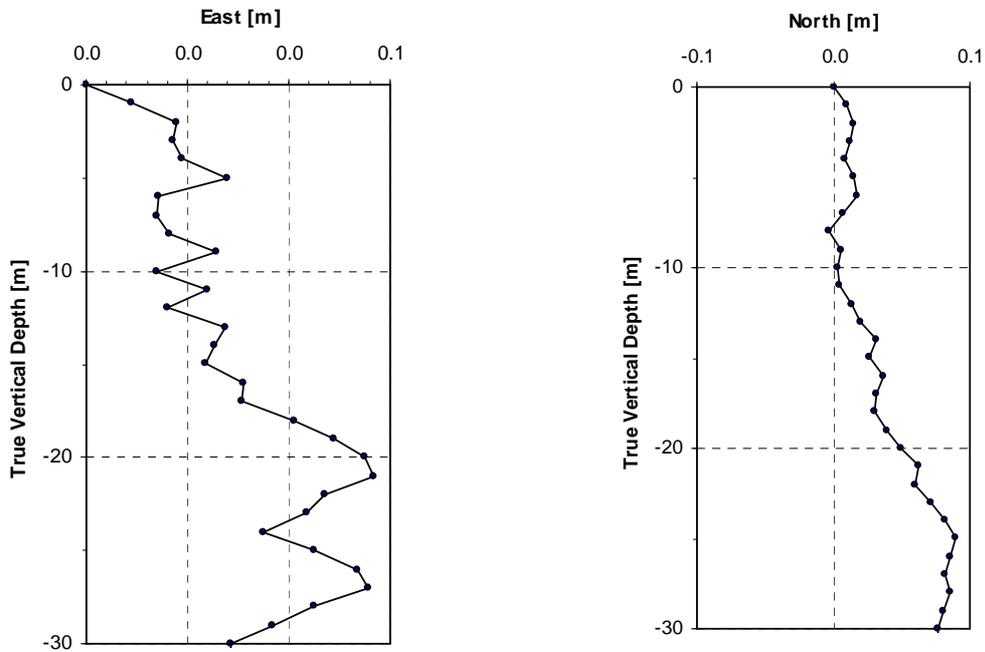
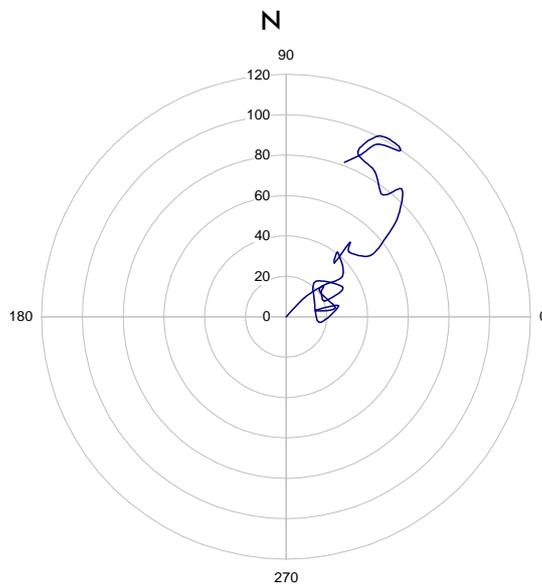


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



**Sondaggio BH 255**

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

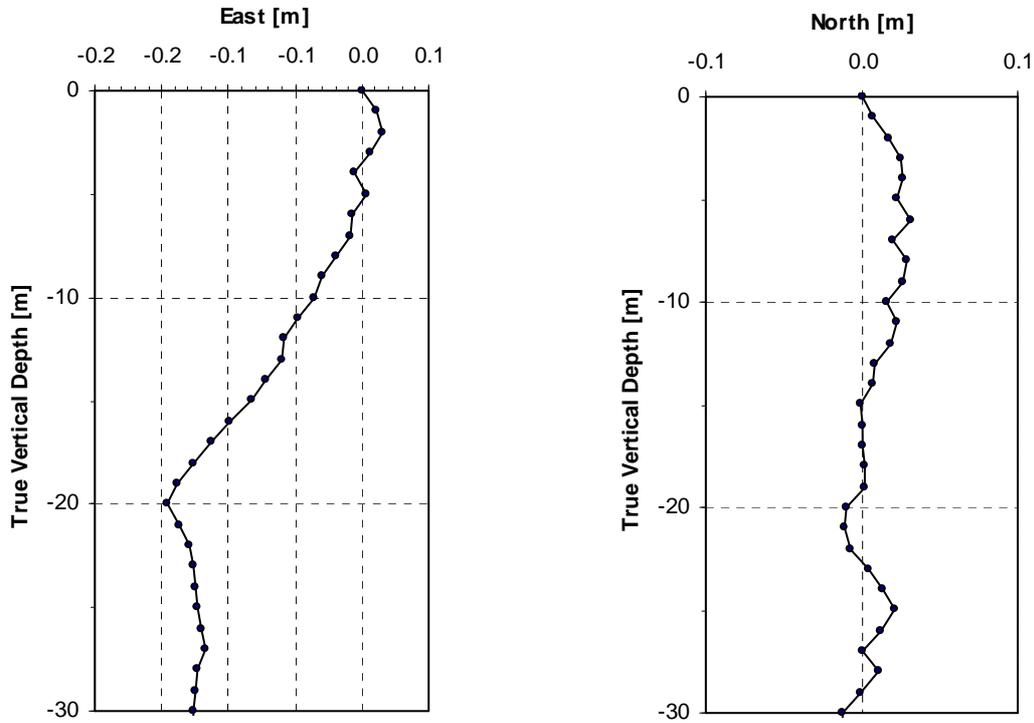
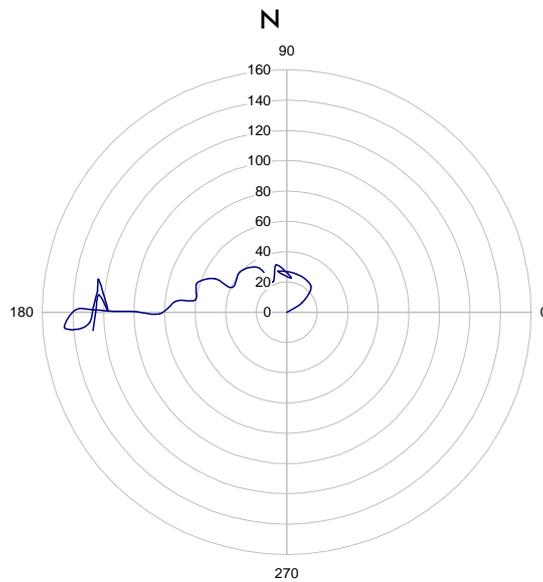


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



## Sondaggio CH 255

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

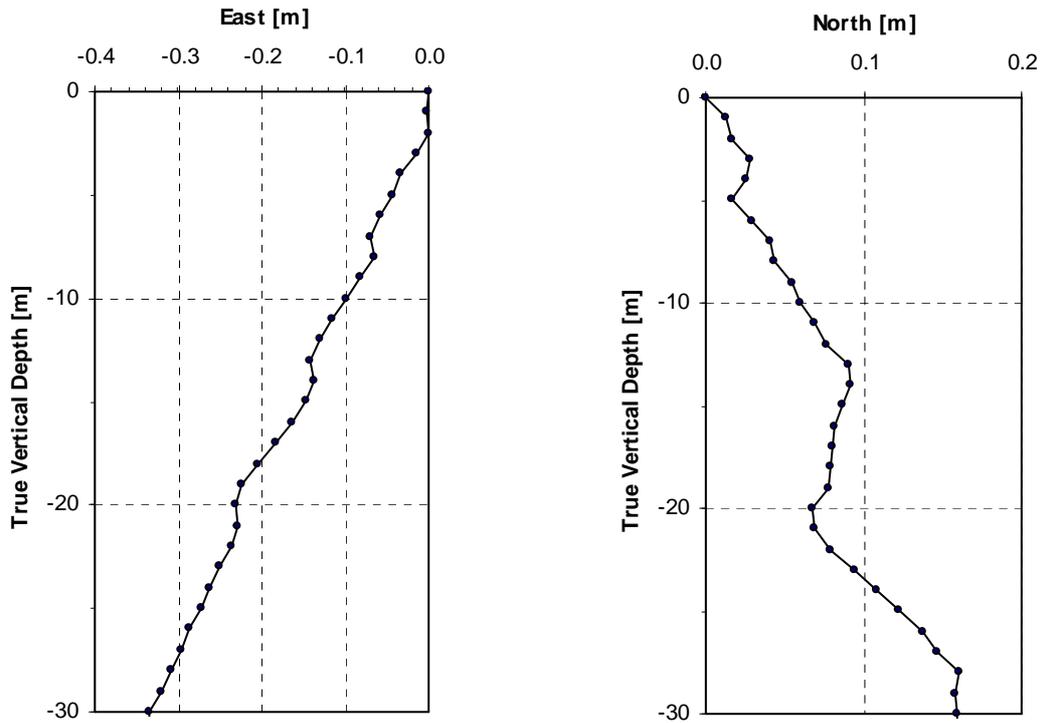
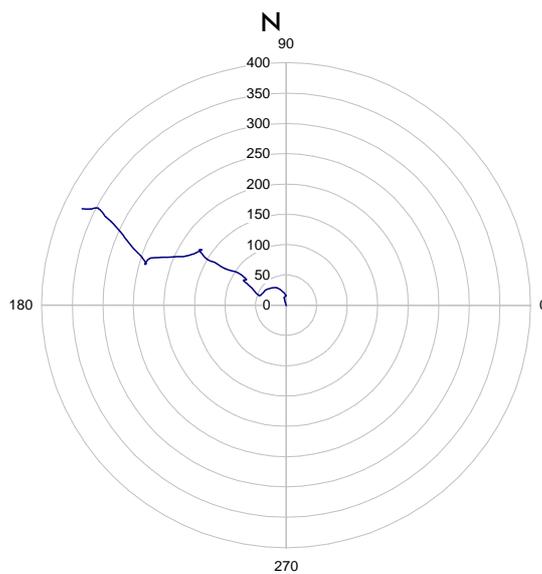


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



**Sondaggio BH 210**

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

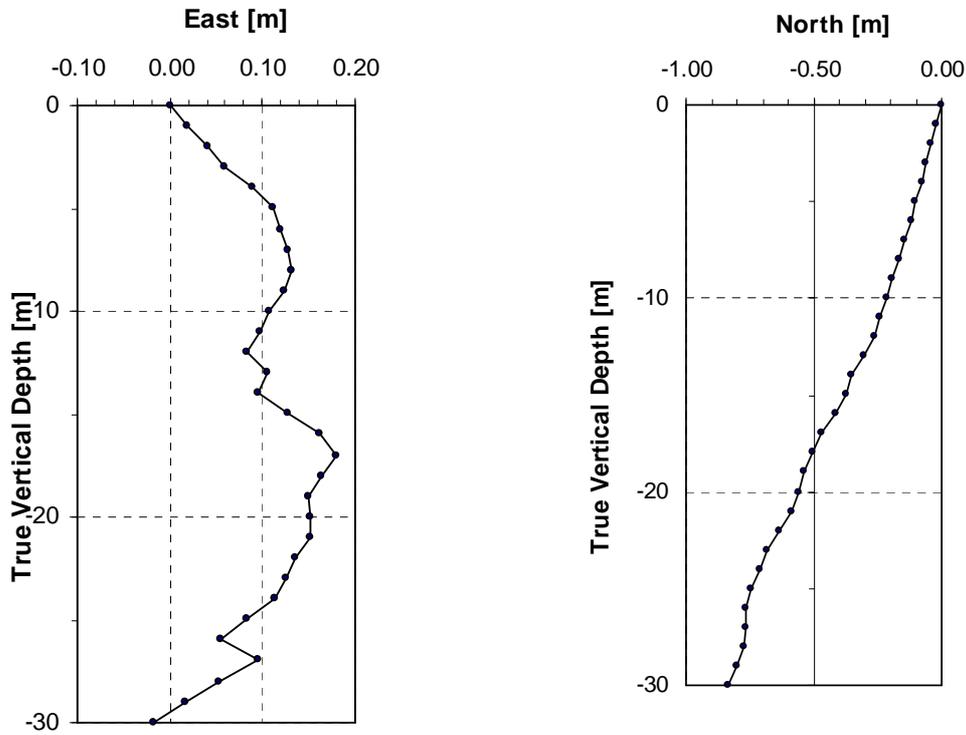
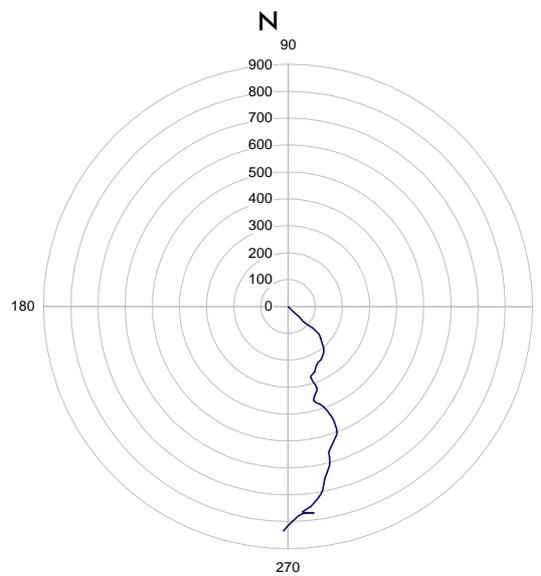


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)



## Sondaggio CH 210

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord

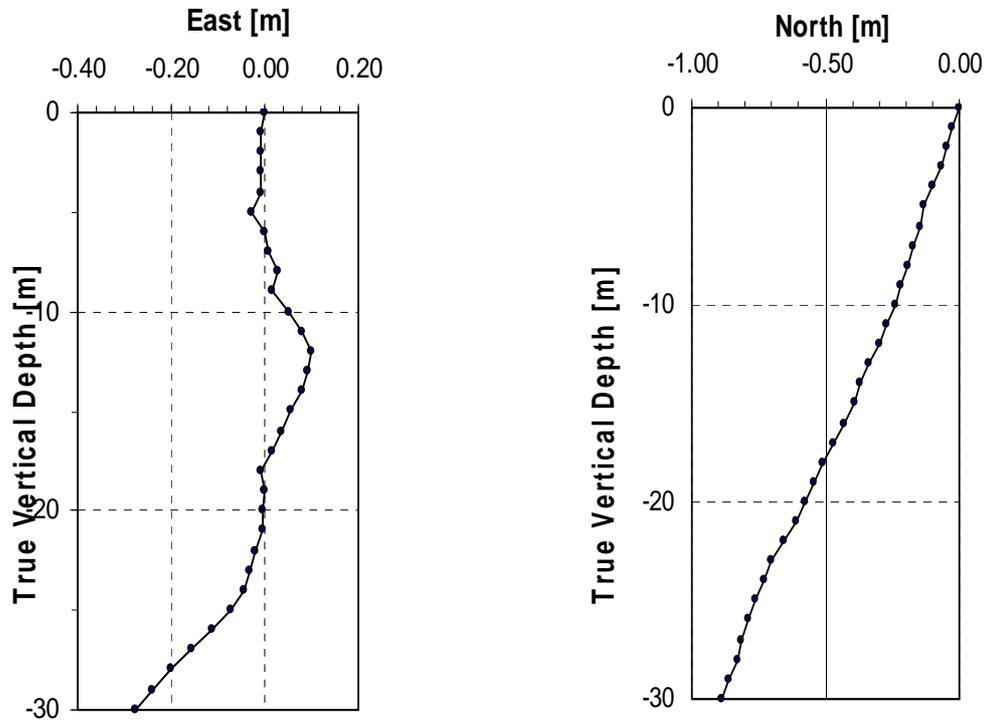


Diagramma polare della deviazione azimutale (mm)

