

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 1 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

## METANODOTTO

**Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera**  
**DN 100 (4") – 75 bar**

### Allegato 02 – Indagine geofisica

*Prospezione sismica attiva MASW e passiva Re.Mi.*

0	Emissione per permessi	V. VACCARO	G. VECCHIO	M.BEGINI	30/04/19
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 2 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW E RE.MI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Generalità .....	4
2.2. Attrezzatura e metodologia utilizzata .....	4
2.3. Processo di elaborazione dati .....	5
2.4. Prospezione sismica MASW.....	5
<b>3. RAPPORTO FOTOGRAFICO .....</b>	<b>11</b>
<b>4. UBICAZIONE INDAGINI.....</b>	<b>12</b>

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/16378/R-L01</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE PUGLIA</b>	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera</b> <b>DN 100 (4") – 75 bar</b>	Pagina 3 di 12	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

## 1. PREMESSA

La presente relazione illustra e sintetizza i risultati di una campagna di indagine geofisica costituita da una n. 1 prospezione sismica attiva di tipo MASW e passiva di tipo Re.Mi, eseguita nel Comune di Lucera, nell'ambito del progetto "Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar" di proprietà della Snam Rete Gas.

Lungo lo stesso stendimento utilizzato per l'acquisizione di dati di sismica attiva MASW, sono stati registrati segnali in sismica passiva utili all'inversione mediante tecnica Re.Mi., in modo da ottenere, mediante tecniche diverse ed acquisizioni a diverse lunghezze d'onda, una curva di dispersione che identifichi il comportamento sismico del sottosuolo. In fase di pianificazione delle indagini infatti, è stato ritenuto opportuno l'acquisizione di segnali sismici con diverse tecniche geofisiche in modo da avere diversi set di dati ridondanti che riducano al minimo l'influenza dei rumori generati da disturbi elettromagnetici e/o correnti vaganti ed ottenere una curva di dispersione che identifichi in modo univoco l'andamento verticale delle onde sismiche di taglio nel sottosuolo.

Le indagini sono state eseguite con lo scopo di acquisire i dati necessari utili alla definizione del profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio). Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni locali di natura litologica).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni in accordo alla normativa vigente (D.M. 17.01.2018).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 4 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

## 2. PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW E RE.MI

### 2.1 Generalità

MASW è l'acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie). Ciò indica che il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie.

La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie (specificatamente delle onde di Rayleigh). Più in dettaglio, le onde di Rayleigh vengono generate da una sorgente ad impatto verticale (in genere mediante massa battente del peso di 10 Kg su piastra in alluminio) o da un cannoncino sismico e vengono poi registrate tramite geofoni a componente verticale a frequenza propria di 4.5Hz.

La metodologia Re.Mi (Refractor Microtremor), come la MASW, studia le proprietà dispersive delle onde superficiali (specificatamente le onde di Rayleigh). L'unica differenza tra le 2 metodologie è che per le prove MASW la sorgente è nota (l'energizzazione delle onde è eseguita dagli operatori) mentre per le prove Re.Mi. la registrazione delle onde avviene in passivo, ovvero sono registrati per un tempo determinato i microtremori provenienti da sorgenti ignote e lontane.

Con entrambe le metodologie si acquisiscono pertanto onde di superficie (attive o passive) ed è possibile ottenere una stratigrafia delle onde S fornendo un valore del parametro Vs30.

Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie sapendo che frequenze diverse e quindi lunghezze d'onda diverse – viaggiano a velocità diversa. Il principio di base quindi è piuttosto semplice: le varie componenti (frequenze) del segnale (cioè della perturbazione sismica che si propaga) viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo. In particolare, le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda (in altre termini "sentono" gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale. Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte. L'andamento delle velocità di fase in funzione della frequenza (o della lunghezza d'onda) è detta *curva di dispersione* e fornisce informazioni sul profilo di velocità nel sottosuolo.

### 2.2. Attrezzatura e metodologia utilizzata

La strumentazione utilizzata è il sismografo SoilSpy Rosina della Micromed® S.P.A. dalle seguenti caratteristiche tecniche: campionamento 89 kHz per canale in modo continuo; conversione a/d 25 bit a 128 Hz; frequenze di output (fs) 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096, 8.192, 16.384, 32.768 Hz; durata registrazione continua - nessun limite per fs < 2.048 Hz; dinamica 142 db; banda dc - 360 Hz; visualizzazione continua in tempo reale (per fs < 2.048 Hz).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITA</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 5 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

L'attrezzatura è completata da 25 geofoni verticali e orizzontali "Geospace" con frequenza propria di 4,5 Hz, geofono trigger avente funzione di interruttore starter, cavo trigger montato su bobina e fucile sismico armato con cartucce industriali calibro 8 a carica ridotta e massa battente del peso di 10 Kg su piastra in alluminio.

L'indagine è stata svolta adottando la seguente configurazione geometrica e strumentale:

*Numero di geofoni: 24*

*Spaziatura tra i geofoni: 1 m*

*Numero di offset: 4 rispettivamente a 5; 6; 7 e 8 m dal primo geofono*

*Lunghezza stendimento: 30 m*

*Intervallo di campionamento: 0.977 ms*

*Durata acquisizione: 1 s*

*Guadagno: 2 mV/digit (uguale per tutti i geofoni) senza AGC (Automatic Gain Control)*

Per l'interpretazione dei dati è stato utilizzato il software *WinMasw Pro 4.4.8* della *Eliosoft* e il software *Grilla*. I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (.sgy format file).

### 2.3. Processo di elaborazione dati

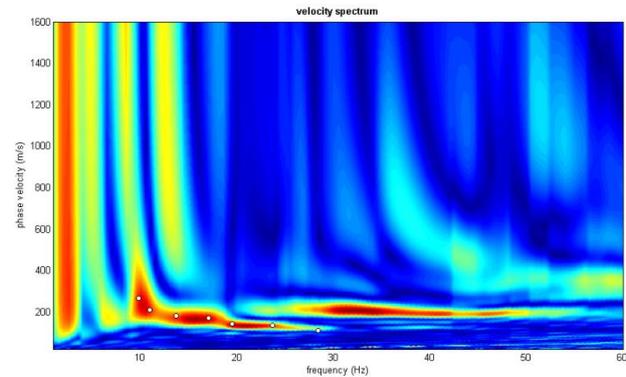
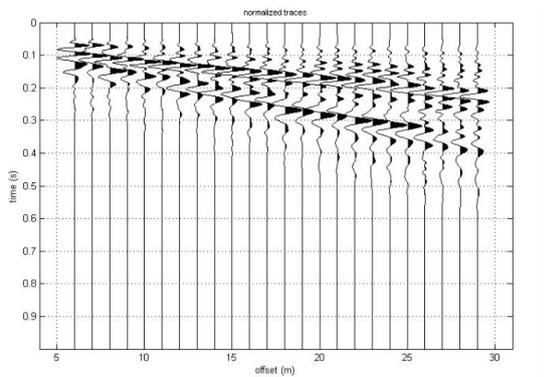
L'analisi delle tracce acquisite in campagna e il processo di elaborazione dati consistono nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica adottata. Dallo spettro bidimensionale ottenuto dalle registrazioni è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

### 2.4. Prospezione sismica MASW

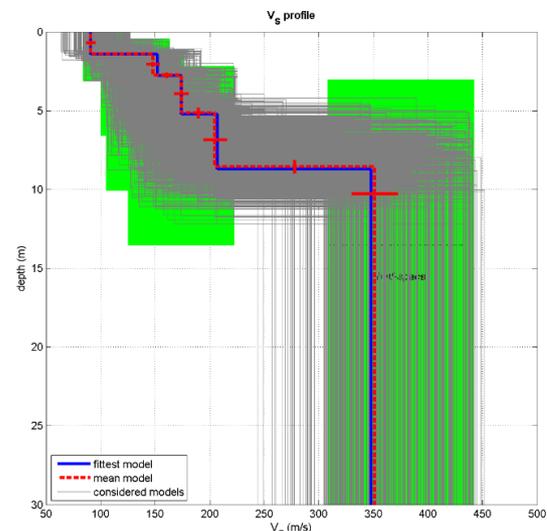
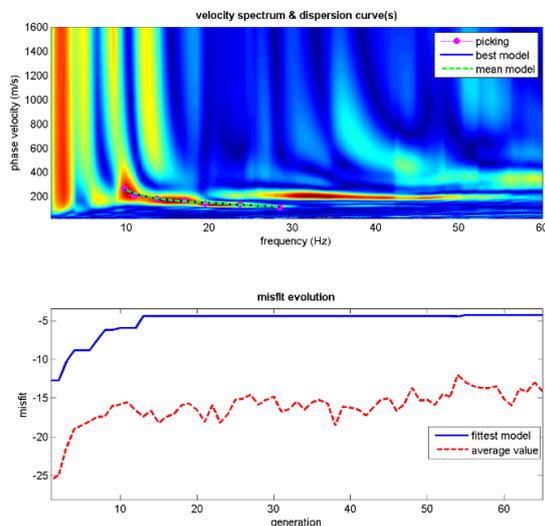
Di seguito le tracce sismiche acquisite in campagna relativamente allo stendimento denominato MASW e lo spettro di velocità ad esse corrispondente su cui è stato eseguito il *picking* del modo fondamentale e dei modi superiori:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 6 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047



Nelle figure sottostanti sono riportati i risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati della MASW. In alto a sinistra lo spettro osservato bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f) su cui sono sovrapposte le curve di dispersione piccate e le curve del modello medio individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale della velocità delle onde di taglio  $V_S$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (misfit evolution) ovvero delle varie combinazioni che l'algoritmo utilizzato dal software esegue per l'inversione delle curve di dispersione e che appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici (Dal Moro et al., 2007).

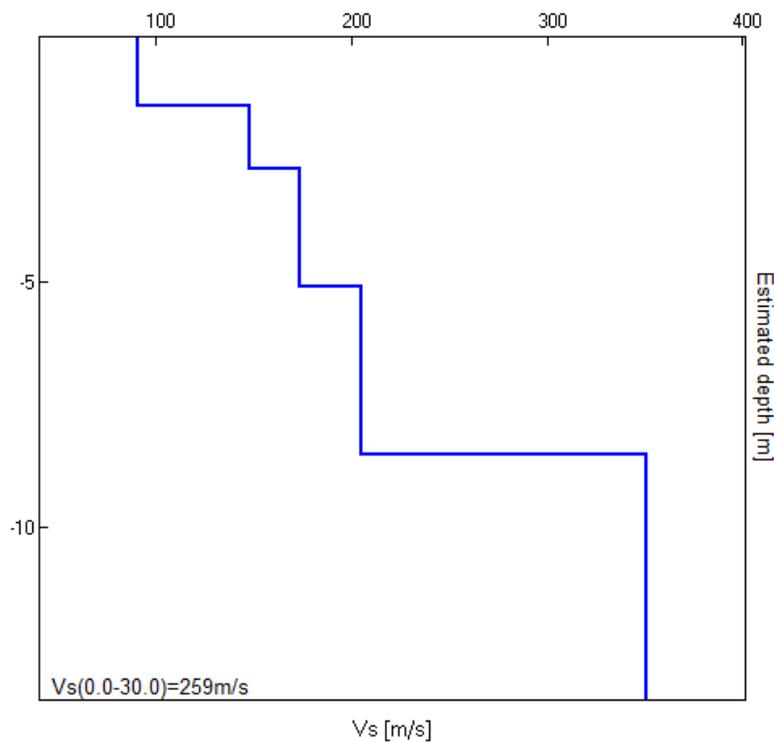
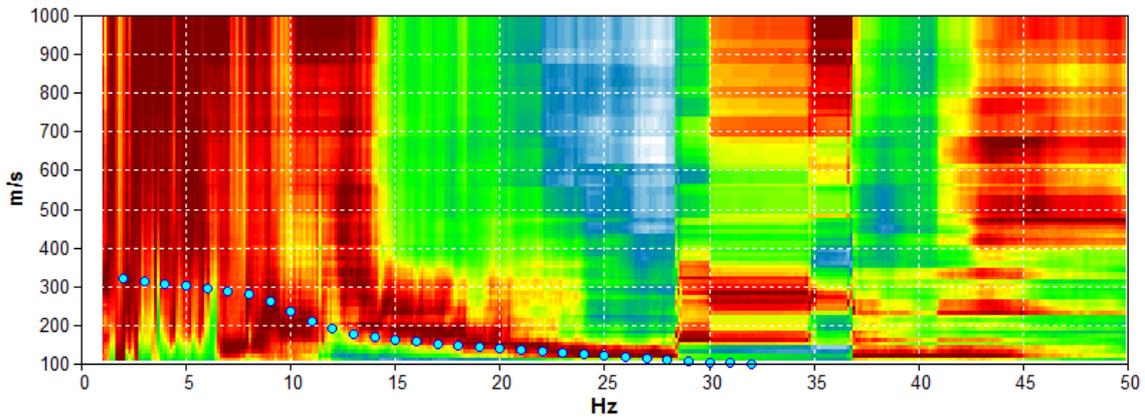


Sullo stesso allineamento della prospezione sismica attiva MASW, come già precedentemente detto, sono state acquisite registrazioni in passivo elaborate con tecnica Re.Mi.

Di seguito si riporta lo spettro di velocità corrispondente alla metodologia Re.Mi, la curva di dispersione ottenuta dall'inversione ed il *picking* del modo fondamentale da cui si ricava il profilo di velocità delle onde S corrispondente:

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 7 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

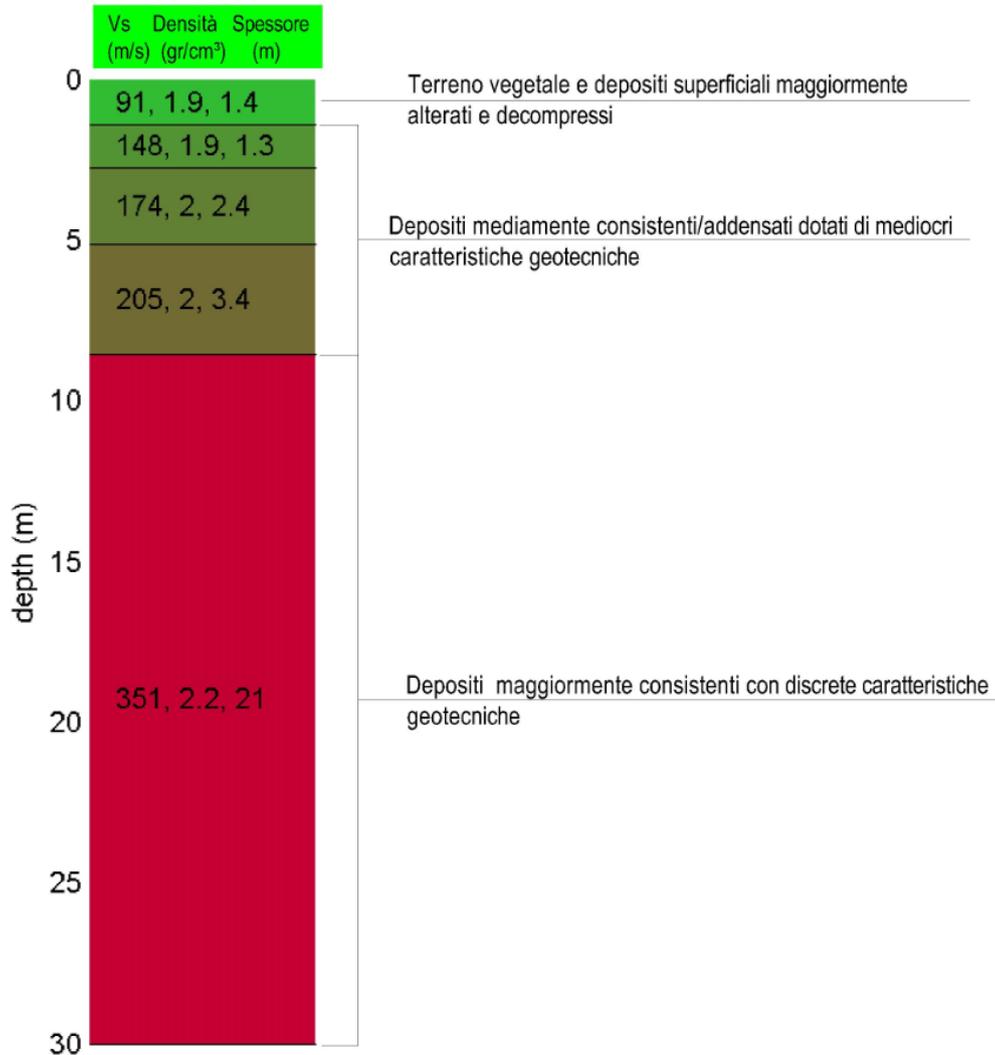


Dalle analisi delle onde di superficie acquisite in attivo e passivo si è giunti ad un modello medio del tutto analogo a cui corrisponde una **Vs<sub>30</sub> di 259 m/s** a partire dal p.c.

Spessore (m)	V <sub>s</sub> (m/s)
1.40	91
1.30	148
2.40	174
3.40	205
semi-spazio	351

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 8 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047



Sintetizzando, il modello sismostratigrafico del sottosuolo è assimilabile a tre unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche rilevate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- Il **primo sismostrato** ha uno spessore di 1,40 m, con velocità delle onde S di 91 m/s, riferibili nel contesto litologico del profilo sismico investigato a terreno vegetale e depositi superficiali maggiormente alterati e decompressi;
- Il **secondo sismostrato** ha uno spessore di 7,10 m, con velocità delle onde S comprese tra 148 e 205 m/s, riferibili a terreni mediamente consistenti/addensati, con mediocri caratteristiche geotecniche che tendono ad aumentare gradualmente con la profondità;
- Segue, a profondità maggiori di 8,50 m e fino alla profondità di 30 m dal p.c., un **terzo sismostrato** caratterizzato da velocità delle onde di taglio di 351 m/s

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 9 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

riferibile depositi maggiormente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche.

A partire dai valori di velocità delle onde sismiche  $V_s$  (m/s) determinate con la prospezione sismica MASW - Re.Mi. e adottando opportuni valori del peso di volume  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) e del coefficiente di Poisson  $\mu$ , rappresentativi dei litotipi presenti, è stato possibile inoltre stimare attraverso relazioni teoriche, i moduli dinamici del sottosuolo per ogni orizzonte sismico individuato. La velocità delle onde P, è stata ricavata indirettamente dalla velocità delle onde S mediante la relazione di seguito riportata, pertanto il suo valore così come quello dei moduli ad essa direttamente correlati, deve essere utilizzato nelle correlazioni ingegneristiche con le dovute approssimazioni.

#### - Velocità delle onde P ( $V_P$ )

$$V_P = \sqrt{\frac{V_S^2 (2-2\mu)}{1-2\mu}}$$

#### - Modulo di taglio dinamico ( $G_0$ )

È definito dalla seguente equazione:

$$G_0 = \gamma \cdot V_s^2$$

Dove  $\gamma$  = densità

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua.

#### - Modulo di Young ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

$$E_d = [V_P^2 \cdot \gamma \cdot (1+\mu) \cdot (1-2\mu)] / (1-\mu)$$

Con  $\mu$  = coeff. di Poisson

#### Rigidità o impedenza sismica

$$R_s = \gamma V_s$$

Tale modulo dipende dalla porosità e dalla pressione litostatica.

#### Modulo di incompressibilità dinamica (Bulk Modulus)

È definito dalla seguente equazione:

$$K = \gamma [V_P^2 - 4/3 \cdot V_S^2]$$

Parametri fisici e dinamici medi del sottosuolo investigato									
Strato	Spessore	$V_p$	$V_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_d$	R	$G_0$	K
		m/s	m/s	gr/cm <sup>3</sup>	(-)	Kg/cm <sup>2</sup>	T/m <sup>2</sup> *s	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
I°	1.40	245	91	1.8	0.42	423	164	149	882
II°	7.10	773	184	1.9	0.47	1891	350	643	10507
III°	-	1475	351	2.0	0.47	7244	702	2464	40246

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 10 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

$V_p$ = velocità onde P (m/s);  $V_s$ = velocità onda S (m/s),  $\gamma$ = densità (g/cm<sup>3</sup>);  $\mu$ = coeff. di Poisson;  $E_d$ = Modulo di Young dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>);  $R$ = rigidità sismica (T/m<sup>2</sup>\*s);  $G_0$ =Modulo di taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>);  $K$ =Modulo di incompressibilità (Kg/cm<sup>2</sup>)

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) e passiva (Re.Mi.) hanno consentito di determinare il profilo verticale della  $V_s$  (e dei moduli dinamici) e di conseguenza del parametro  $V_{s30}$ , risultato per il modello medio pari a **259 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

Linea sismica	$V_{s30}$ (m/sec)	Categoria di Suolo
<b>MASW</b>	<b>259</b>	<b>"C"</b>

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/01/2008) il sito in esame, a partire dal p.c., rientra quindi nella categoria C ovvero:

- *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 11 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

### 3. RAPPORTO FOTOGRAFICO



**Fig. 3.A - Fasi di acquisizione della prospezione sismica MASW/Re.Mi.**

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> NR/16378/R-L01	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE PUGLIA	<b>RE-GEO-001</b> <b>Allegato 2</b>	
	<b>PROGETTO</b> Met. All.to BIO ECOAGRIM S.r.l. di Lucera DN 100 (4") – 75 bar	Pagina 12 di 12	<b>Rev.</b> 0

Rif. TFM: 011-PJM4-003-00-RT-E-5047

#### 4. UBICAZIONE INDAGINI



<b>LEGENDA:</b> <u>MASW/Re.Mi.</u> Prospezione sismica MASW e Re.Mi.	<b>Data:</b> 24 Luglio 2017
Coordinate (UTM WGS84 33N)    A: 5632762 m E 4589612 m N    B: 532736 m E 4589628 m N	