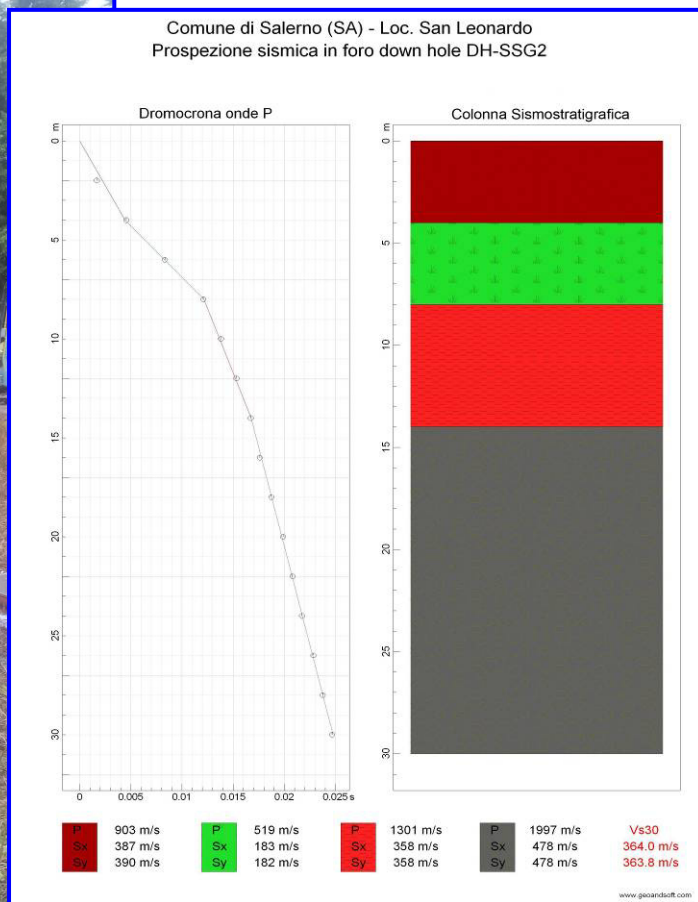


COMUNE DI SALERNO

PROVINCIA DI SALERNO



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO PROPEDEUTICA AGLI STUDI ED INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA ZONA OMOGENEA B1_5.

<p><i>I Committenti</i></p> <p>Germani Sacco</p>	<p>Geomed s.r.l.</p> <p><i>Il Tecnico</i></p> <p>Dr. Geol. G. Di Maio</p>
<p>Scafati, gennaio 2015</p>	<p>REV. 0</p>

1. INDICE

1.	INDICE	2
2.	PREMESSA	3
3.	PROSPEZIONI SISMICHE IN FORO.....	4
4.	INDAGINE ESEGUITA.....	9
5.	ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....	11
6.	INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI.....	18
7.	RISPOSTA SISMICA LOCALE	20
8.	CONCLUSIONI.....	30

2. PREMESSA

Su incarico dei Germani Sacco, è stata eseguita una prospezione sismica in foro down hole per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito propedeutica agli studi ed indagini geognostiche per la zona omogenea B1_5 (coordinate geografiche WGS84 del sito 40.64972° N - 14.82214° E) in loc. San Leonardo (prop. Sacco) nel territorio comunale di Salerno (SA) (Fig. 1), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del suolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 14 gennaio 2008).



Fig. 1 – Down hole DH-SSG2.

3. PROSPEZIONI SISMICHE IN FORO

Lo scopo di tali prove consiste nel determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P), di taglio (onde S) ed indirettamente, utilizzando i valori delle velocità acquisiti (V_P , V_S), alcune proprietà meccaniche (moduli dinamici) delle litologie investigate.

Le indagini sismiche che utilizzano i fori dei sondaggi sono utili per avere una sismostratigrafia dettagliata del sottosuolo. Si possono applicare vari metodi di indagine in foro. Il metodo down hole, il più utilizzato, prevede la sistemazione della sorgente energizzante in superficie e la misura delle onde d'arrivo in foro.

La prospezione sismica down hole, schematizzata in Fig. 2, prevede la sorgente energetica in superficie ed i sensori all'interno del perforo. Si adoperano geofoni particolarmente assemblati per essere calati e fissati a profondità via via crescenti (o decrescenti) contro la parete del perforo opportunamente condizionato. Energizzando il terreno in superficie e misurando i tempi di arrivo delle onde P ed S (Figg. 3 - 5) ai geofoni, si ha la possibilità di determinare le velocità dei litotipi riscontrati nella perforazione ed i loro moduli elastici.

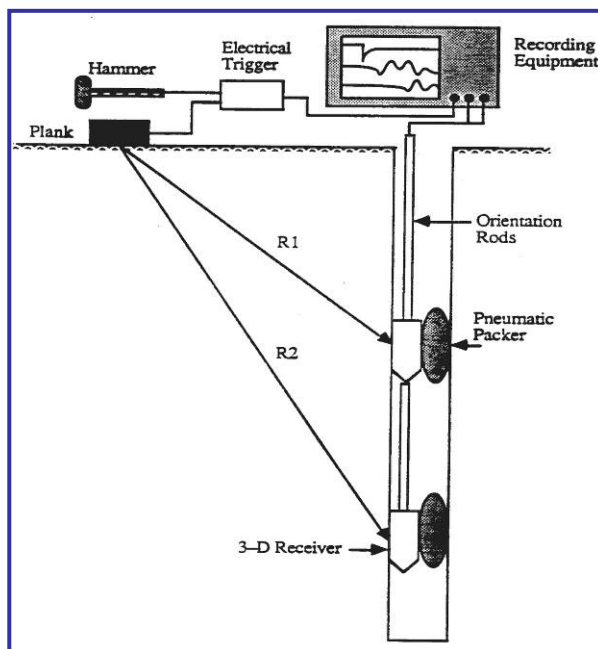


Fig. 2 – Diagramma schematico della strumentazione completa richiesta per effettuare una prospezione sismica down hole.

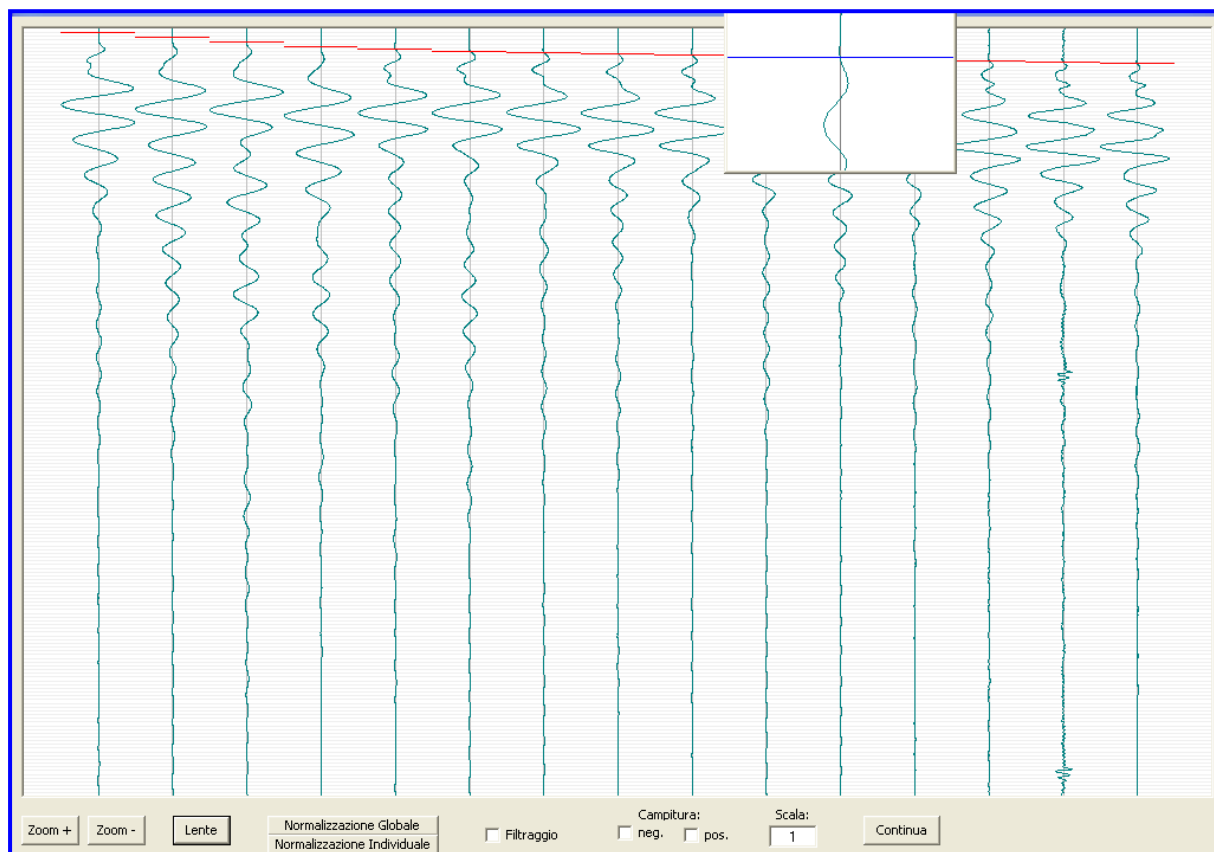


Fig. 3 – Determinazione dei primi arrivi delle onde P per la down hole DH-SSG2.

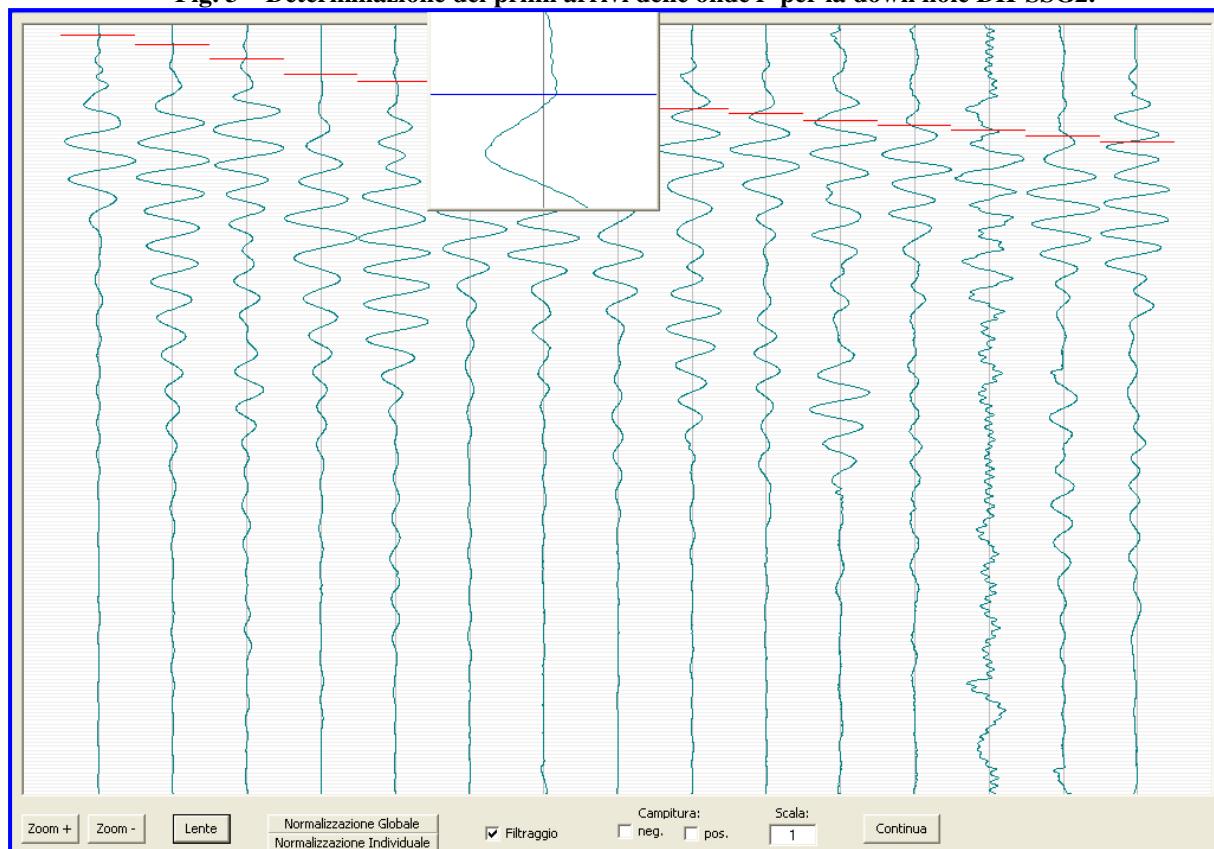


Fig. 4 – Picking delle onde S_x per la down hole DH-SSG2.

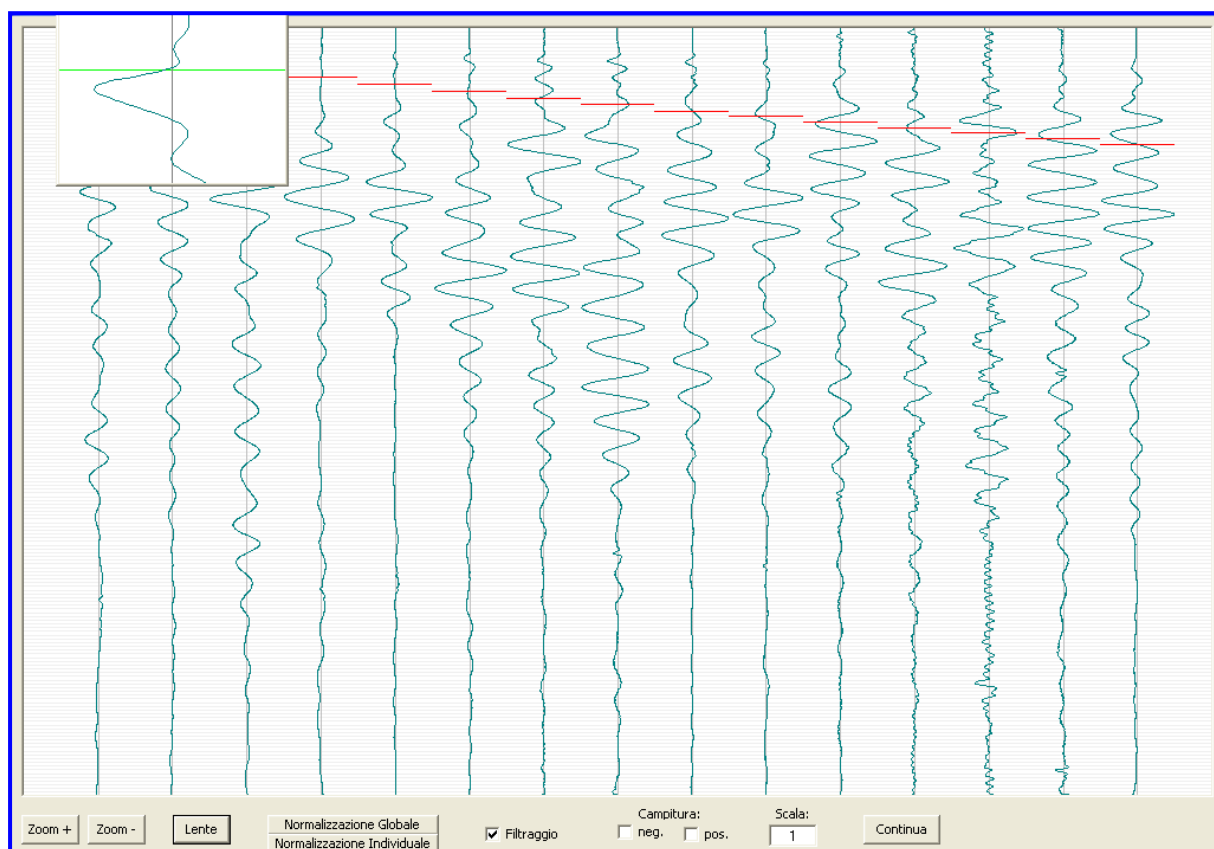


Fig. 5 – Picking delle onde Sy per la down hole DH- SSG2.

L'energizzazione genera onde elastiche longitudinali (P) e trasversali (S) che si propagano in tutte le direzioni; in particolare le onde longitudinali (Fig. 6) si propagano mediante oscillazioni delle particelle che costituiscono il mezzo attraversato nella stessa direzione della propagazione dell'onda. Di conseguenza, il mezzo sarà soggetto principalmente a sforzi di compressione e dilatazione e la velocità dell'onda sarà anche funzione del modulo di incompressibilità (bulk) (k), che esprime la resistenza del mezzo a questo tipo di sforzo, oltre che del modulo di rigidità (μ) detto anche modulo di taglio (shear) (G) e della densità (ρ):

$$V_p = \sqrt{\frac{k + 4\mu/3}{\rho}}$$

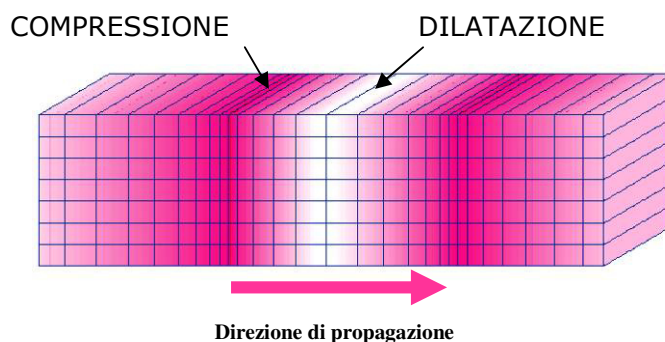


Fig. 6 - Rappresentazione grafica della direzione di oscillazione delle particelle che costituiscono il mezzo nel caso della propagazione di onde longitudinali P (direzione di oscillazione coincidente con quella di propagazione dell'onda).

Le onde trasversali (Fig. 7) si propagano mediante oscillazioni delle particelle del mezzo perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda. Di conseguenza, il mezzo sarà soggetto a sforzi di taglio e la velocità delle onde sarà funzione della resistenza del mezzo a questo tipo di sforzo, che è espressa dal modulo di rigidità (μ):

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

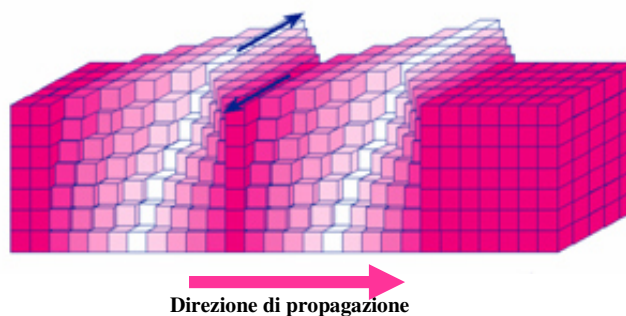


Fig. 7 - Rappresentazione grafica delle direzioni di oscillazione delle particelle che costituiscono il mezzo nel caso della propagazione di onde di taglio S (direzione di oscillazione perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda).

Le onde sismiche non sono caratterizzate da un trasporto di materia, ma da un trasferimento di energia. Tenendo presente che lo sforzo impulsivo può ripartirsi in componenti normali e tangenziali, si deduce che le onde longitudinali (P) possono anche essere chiamate onde di compressione in quanto generate dalla reazione

elastica che si oppone a variazioni di volume e/o di lunghezza del corpo e di cui sono responsabili le componenti normali dello sforzo.

Le onde trasversali (S) sono anche dette onde di taglio in quanto generate da reazione elastica che si oppone a variazioni di forma del corpo e di cui sono responsabili le componenti tangenziali dello sforzo.

Logicamente onde di compressione e di taglio si generano contemporaneamente in seguito ad uno sforzo impulsivo, ma sono caratterizzate da differenti velocità di propagazione.

Attraverso lo studio dei tempi di percorso delle onde di compressione e di taglio e quindi delle velocità, si può risalire alla disposizione geometrica e alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi presenti nell'area di indagine.

Le onde di volume P ed S , che attraversano un mezzo omogeneo e isotropo (condizioni ideali) hanno ben definite equazioni di moto. Note le densità e le velocità V_P e V_S che vengono ottenute tramite misure dirette, possono essere ricavate alcune proprietà meccaniche, quali il modulo di Young o modulo elastico E , il modulo di taglio G o modulo di rigidità μ , il coefficiente di Poisson ν e il modulo di incompressibilità o bulk k . Le relative equazioni sono le seguenti:

$$\nu = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \right] \right\}$$

poiché nei fluidi $V_S=0$, ν risulta uguale a 0.5. Nei solidi, il valore ν varia generalmente da 0.1 a 0.4. Pertanto, valori più elevati di ν possono essere indicativi della presenza di frazioni di liquido nel mezzo attraversato.

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

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$k = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

4. INDAGINE ESEGUITA

L'indagine eseguita è stata condotta sulla base di n° 1 prospezione sismica down hole in foro di sondaggio ubicato sul sito di interesse progettuale. Il sondaggio DH-SSG2 è stato perforato e condizionato fino alla profondità di 30m dal p.c..

La prospezione sismica è stata effettuata mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali (Re.Mi., S.A.S.W., M.A.S.W.).

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale: Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves). Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo. L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 8) è costituita da una massa battente (maglio dal peso di 10kg) in oscillazione libera ed urtante verticalmente una piastra circolare in alluminio (generazione onde P) ed urtante orizzontalmente un cuneo in acciaio infisso nel terreno (generazione onde S_x ed S_y); come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della sorgente energizzante posizionata alla distanza di 3m dal boccaforo (Fig. 8).

Le oscillazioni del terreno sono state rilevate da una sonda geofonica tridimensionale (3 geofoni Geospace a 4.5Hz ortogonali tra loro) (Fig. 9) calata nel perforo a profondità decrescenti (da quota fondo foro a quota bocca foro) con intervalli di 2m.

Quando la battuta non risultava netta, o comunque il segnale non era significativo per la presenza di noise ambientale, la prova veniva ripetuta.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (Intersism 2.1 della Geo&Soft International) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



Fig. 8 – Sorgente energizzata, costituita da massa battente su piastra di alluminio e su un cuneo di acciaio infisso nel suolo. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.



Fig. 9 – Sonda geofonica da foro a tre componenti (3 geofoni Geospace a 4.5Hz).

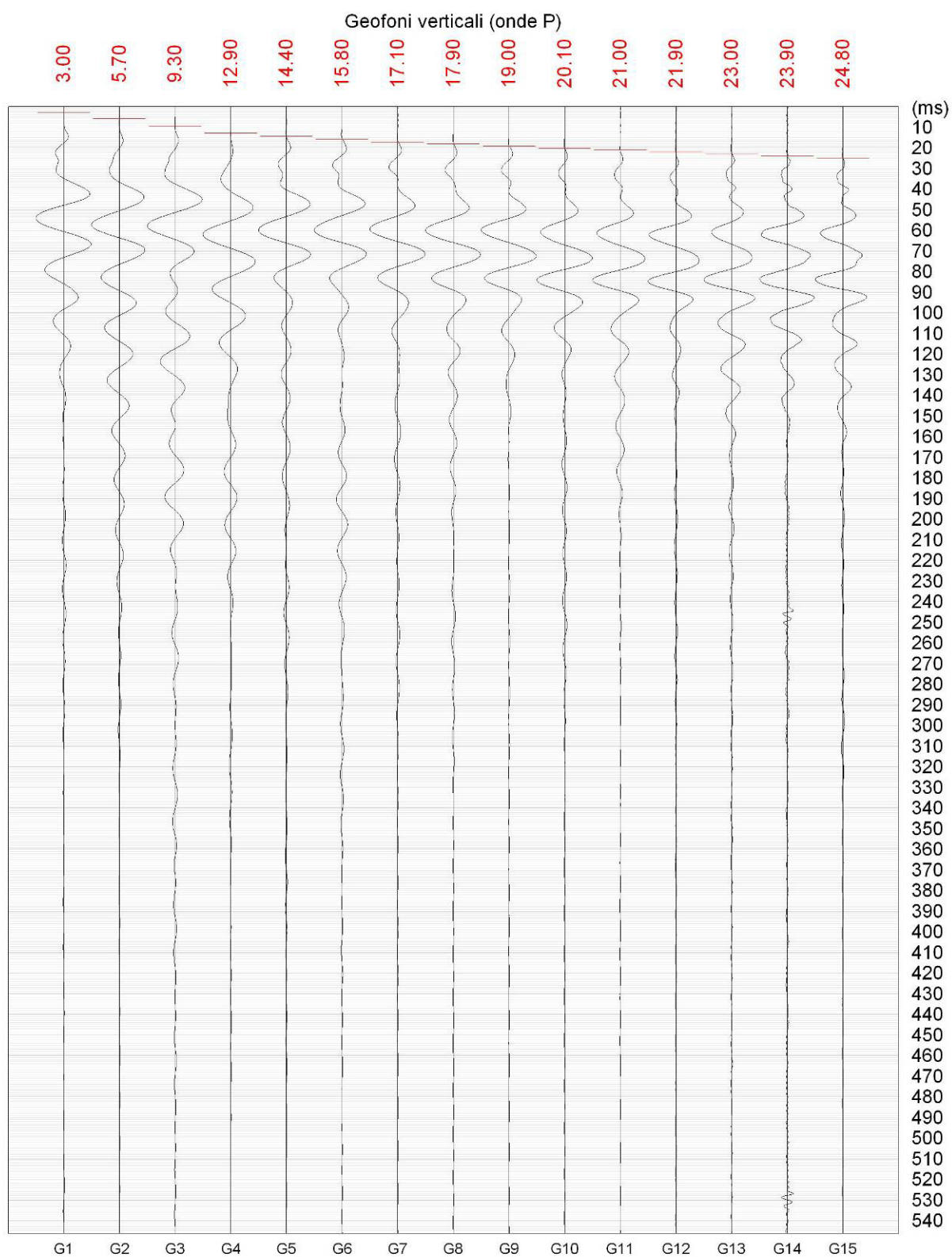
5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=0.546s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.266ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{campionamento}=1/dt=3750Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{Nyquist}=1/2dt=1875Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{min}=1/T=1.831Hz$.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il programma Intersism 2.1 della Geo&soft International che permette di eseguire l'intero processo di elaborazione di una colonna sismostratigrafica.

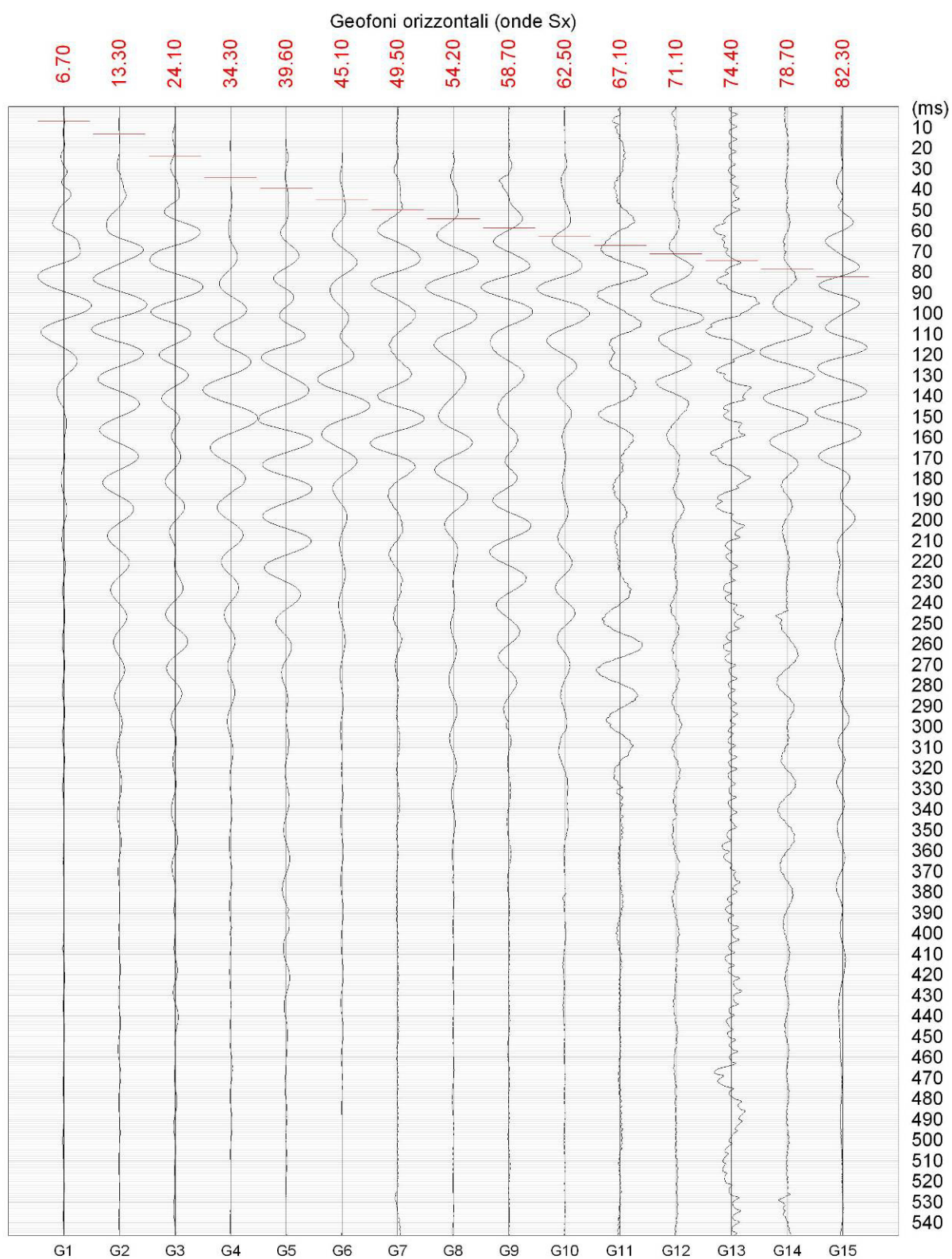
Gli elaborati relativi all'indagine sismica down hole DH-SSG2 effettuata sono di seguito riportati in forma grafica e numerica.

Comune di Salerno (SA) - Loc. San Leonardo
 Prospezione sismica in foro down hole DH-SSG2



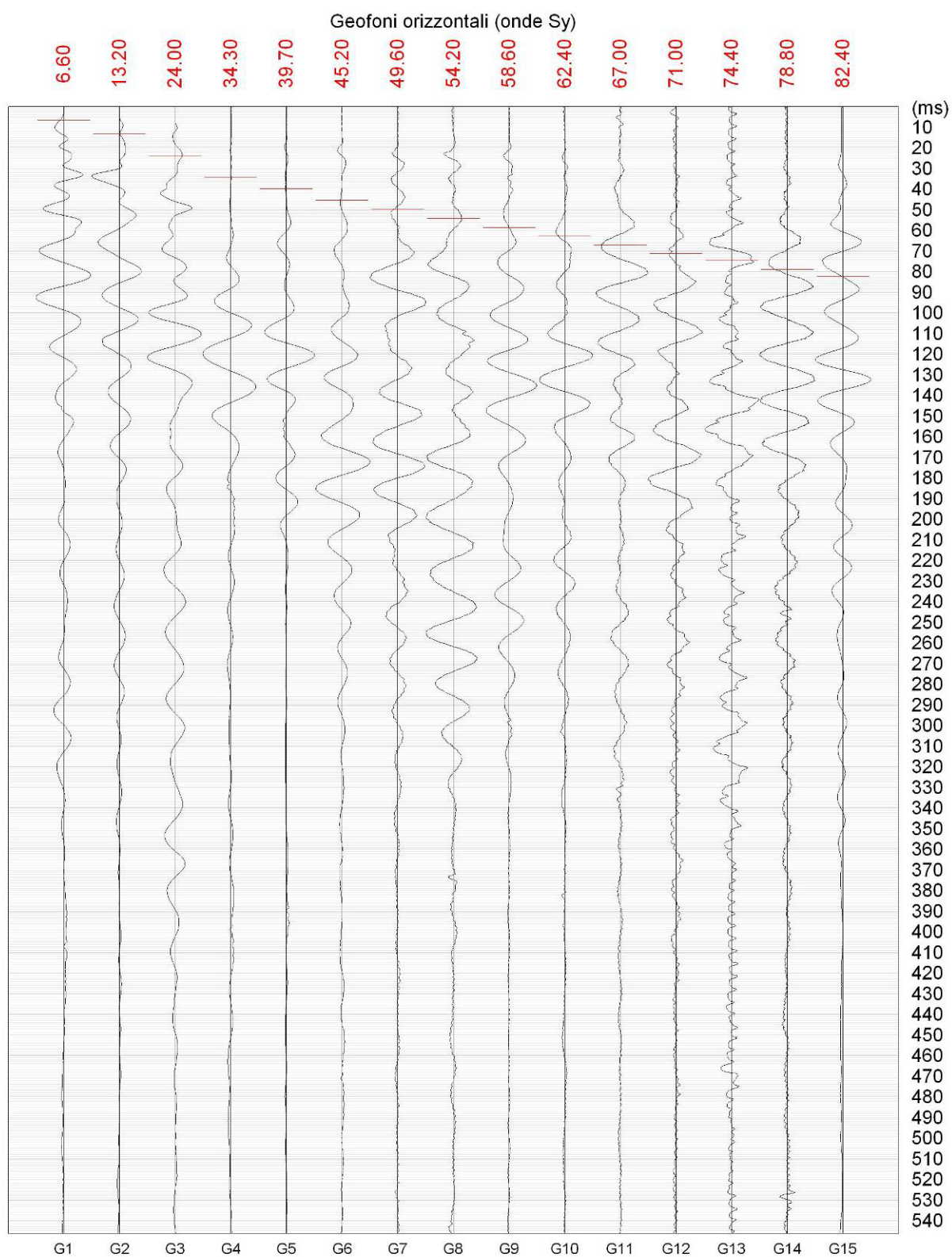
www.geoandsoft.com

Comune di Salerno (SA) - Loc. San Leonardo
 Prospezione sismica in foro down hole DH-SSG2



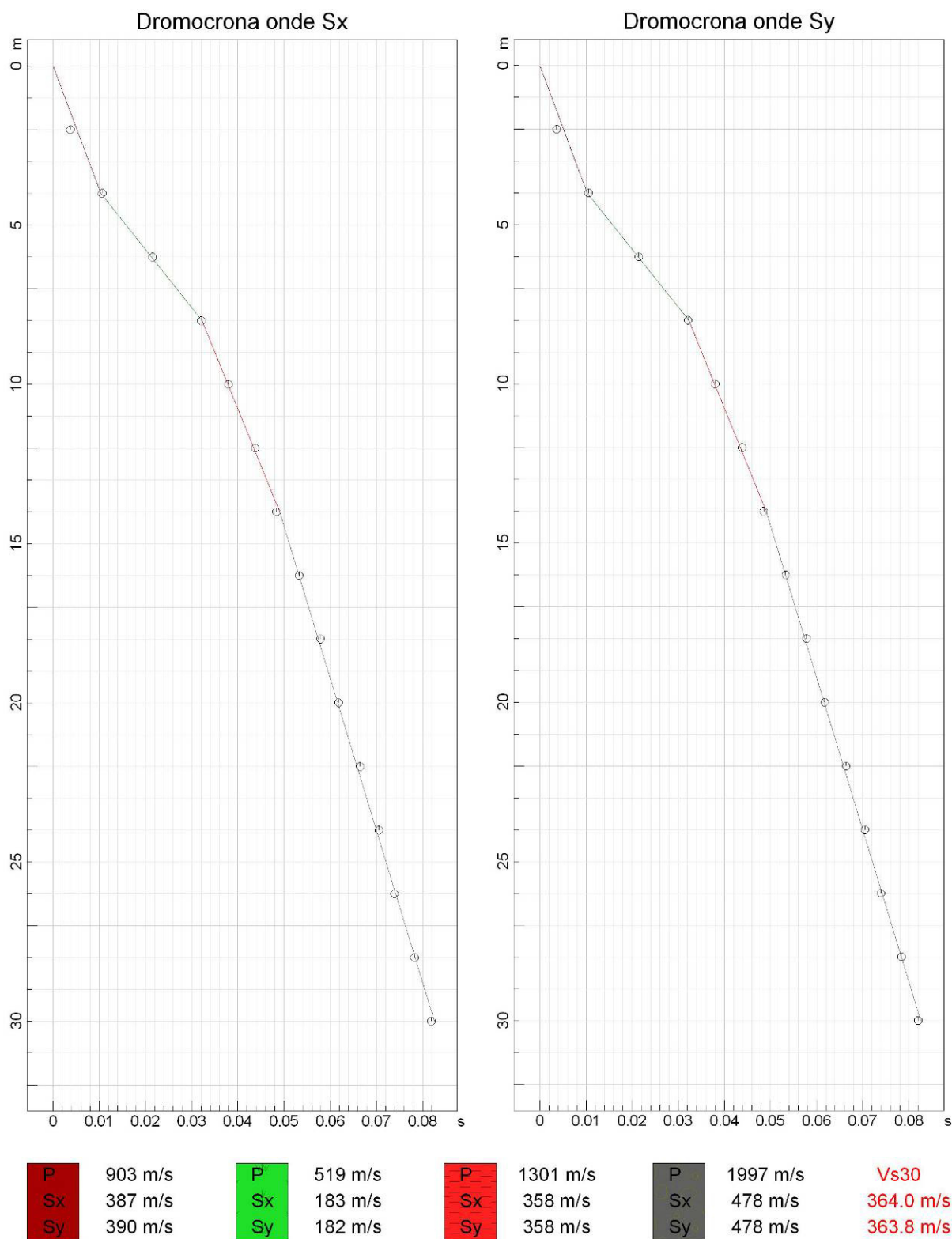
www.geoandsoft.com

Comune di Salerno (SA) - Loc. San Leonardo
 Prospezione sismica in foro down hole DH-SSG2



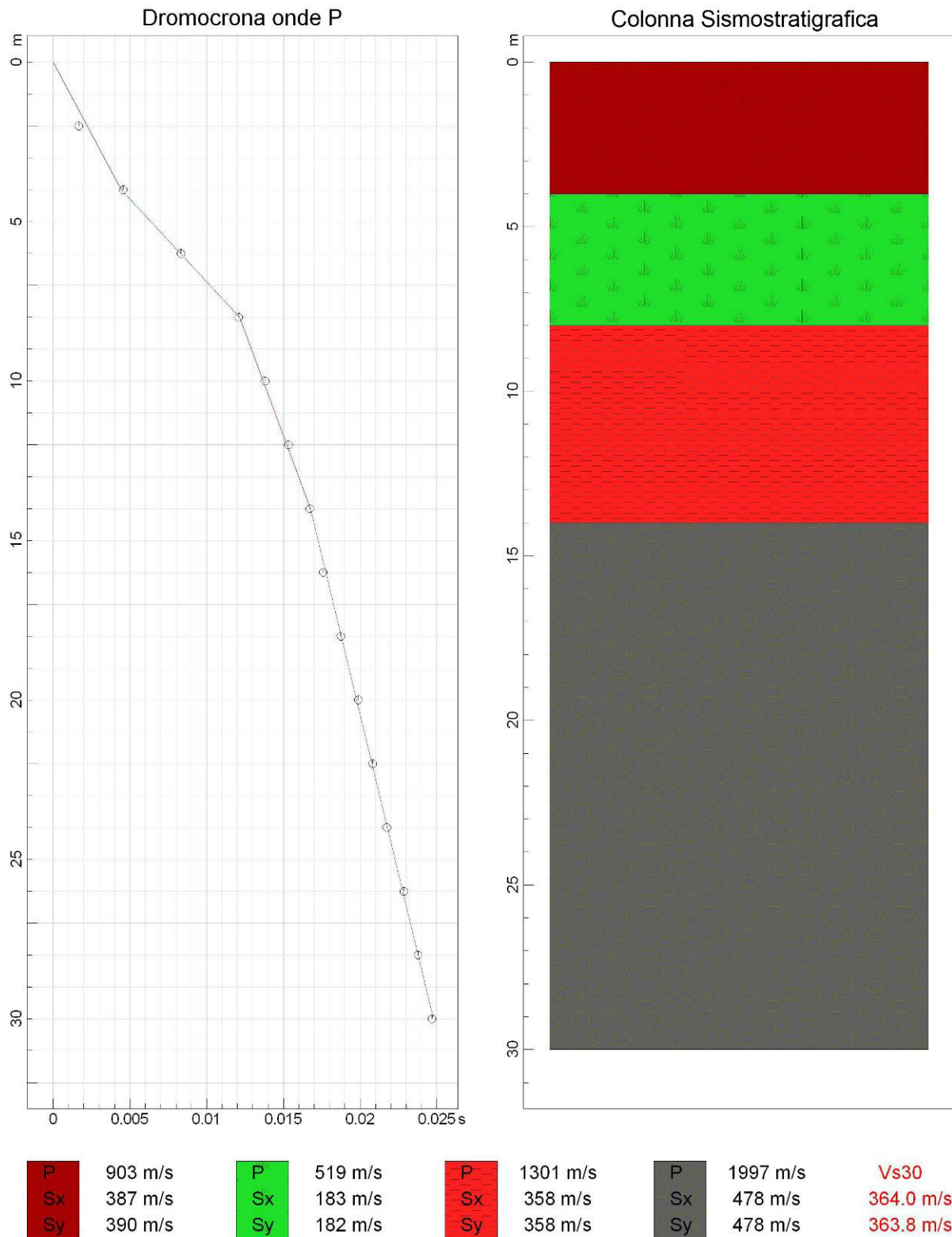
www.geoandsoft.com

Comune di Salerno (SA) - Loc. San Leonardo
 Prospezione sismica in foro down hole DH-SSG2



www.geoandsoft.com

Comune di Salerno (SA) - Loc. San Leonardo
 Prospezione sismica in foro down hole DH-SSG2



www.geoandsoft.com

COMUNE DI SALERNO (SA) - LOC. SAN LEONARDO
PROSPEZIONE SISMICA IN FORO DOWN HOLE DH-SSG2

DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO = 3.00 [m]

PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]	Onde S (Y) (corretti) [ms]
1	2.00	3.00	6.70	6.60	1.66	3.72	3.66
2	4.00	5.70	13.30	13.20	4.56	10.64	10.56
3	6.00	9.30	24.10	24.00	8.32	21.56	21.47
4	8.00	12.90	34.30	34.30	12.08	32.12	32.12
5	10.00	14.40	39.60	39.70	13.79	37.93	38.03
6	12.00	15.80	45.10	45.20	15.33	43.75	43.85
7	14.00	17.10	49.50	49.60	16.72	48.40	48.50
8	16.00	17.90	54.20	54.20	17.59	53.27	53.27
9	18.00	19.00	58.70	58.60	18.74	57.90	57.80
10	20.00	20.10	62.50	62.40	19.88	61.81	61.71
11	22.00	21.00	67.10	67.00	20.81	66.48	66.39
12	24.00	21.90	71.10	71.00	21.73	70.55	70.45
13	26.00	23.00	74.40	74.40	22.85	73.91	73.91
14	28.00	23.90	78.70	78.80	23.76	78.25	78.35
15	30.00	24.80	82.30	82.40	24.68	81.89	81.99

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	4	903
2	8	519
3	14	1301
4	30	1997

PARAMETRI ONDE SX

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	4	387	0.39	239630	664974	985147
2	8	183	0.43	50234	143568	337064
3	14	358	0.46	217879	635787	2586917
4	30	478	0.47	434120	1275975	6998391

PARAMETRI ONDE SY

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson [-]	Shear [kPa]	Young [kPa]	Bulk [kPa]
1	4	390	0.39	243360	674276	980174
2	8	182	0.43	49686	142091	337794
3	14	358	0.46	217879	635787	2586917
4	30	478	0.47	434120	1275975	6998391

VELOCITA' MEDIE VS30

Geofono	VS30 [m/s]
orizzontale Sx	364.0
orizzontale Sy	363.8

6. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica DH-SSG2, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 14 gennaio 2008 (Tab. 1; Tab. 2). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

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

Categoria di suolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti *con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360m/s e 800m/s (ovvero $N_{SPT-30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Categoria topografica T1 = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti 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).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tab. 1 – Categorie Suoli di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008).

<i>Prospezione sismica</i>	<i>$V_{S\ 0-30}$ (m/s)</i>	<i>Categoria Suoli di Fondazione (D.M. 14 gennaio 2008)</i>
DH-SSG2	[364]	<u>B</u>

Tab. 2 – Categoria Suolo di fondazione relativa alla prospezione sismica in foro down hole DH-SSG2 effettuata.

7. RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del suolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 14 gennaio 2008, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica DH-SSG2 precedentemente descritta.

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 3; Fig. 10).

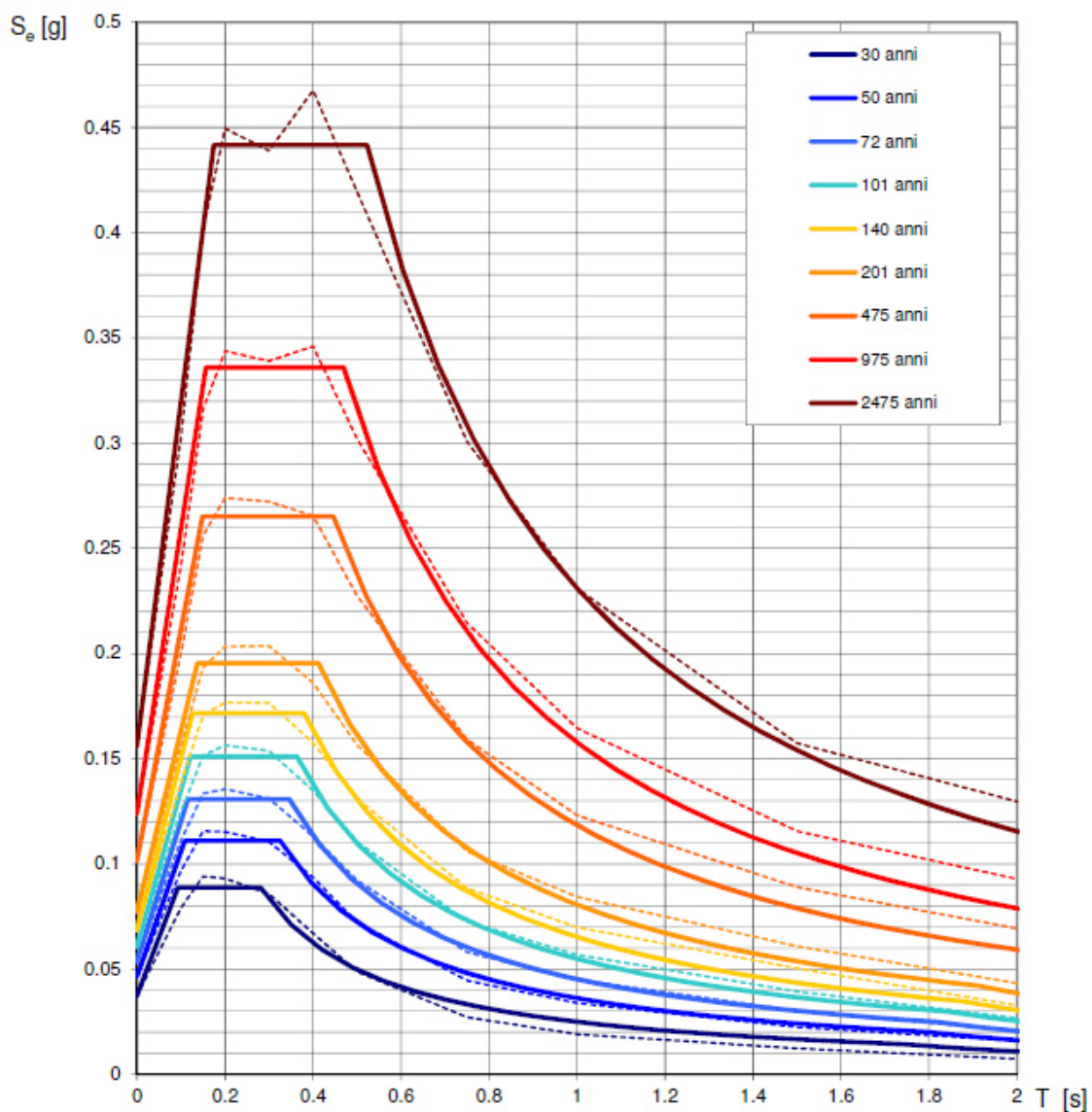
In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III) ed all'azione di progetto di riferimento (Tabb. 4 – 7; Figg. 11 - 12).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di suolo **B** – categoria topografica **T1**) individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 14.82214 – LAT. 40.64972 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.037	2.390	0.281
50	0.046	2.389	0.325
72	0.054	2.435	0.346
101	0.061	2.488	0.363
140	0.069	2.505	0.380
201	0.077	2.523	0.412
475	0.101	2.616	0.446
975	0.124	2.712	0.470
2475	0.156	2.835	0.523

Tab. 3 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 10 – Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento e per categoria di suolo A.

SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SUOLO B E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T1
PUNTO DI COORDINATE LONG. 14.82214 – LAT. 40.64972 (IN GRADI DECIMALI)

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.055 g
F_0	2.443
T_C	0.348 s
S_S	1.200
C_C	1.358
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.158 s
T_C	0.473 s
T_D	1.818 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.066
$T_B \leftarrow$	0.158	0.160
$T_C \leftarrow$	0.473	0.160
	0.537	0.141
	0.601	0.126
	0.665	0.114
	0.729	0.104
	0.793	0.095
	0.858	0.088
	0.922	0.082
	0.986	0.077
	1.050	0.072
	1.114	0.068
	1.178	0.064
	1.242	0.061
	1.306	0.058
	1.370	0.055
	1.434	0.053
	1.498	0.051
	1.562	0.048
	1.626	0.047
	1.690	0.045
	1.754	0.043
$T_D \leftarrow$	1.818	0.042
	1.922	0.037
	2.026	0.034
	2.130	0.030
	2.234	0.028
	2.338	0.025
	2.442	0.023
	2.546	0.021
	2.649	0.020
	2.753	0.018
	2.857	0.017
	2.961	0.016
	3.065	0.015
	3.169	0.014
	3.273	0.013
	3.377	0.012
	3.481	0.011
	3.584	0.011
	3.688	0.010
	3.792	0.010
	3.896	0.009
	4.000	0.009

Tab. 4 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. suolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.017 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	0.770
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.017
$T_B \leftarrow$	0.050	0.028
$T_C \leftarrow$	0.150	0.028
	0.235	0.018
	0.320	0.013
	0.405	0.010
	0.490	0.009
	0.575	0.007
	0.660	0.006
	0.745	0.006
	0.830	0.005
	0.915	0.005
$T_D \leftarrow$	1.000	0.004
	1.094	0.004
	1.188	0.003
	1.281	0.003
	1.375	0.002
	1.469	0.002
	1.563	0.002
	1.656	0.002
	1.750	0.001
	1.844	0.001
	1.938	0.001
	2.031	0.001
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.001
	2.406	0.001
	2.500	0.001
	2.594	0.001
	2.688	0.001
	2.781	0.001
	2.875	0.001
	2.969	0.000
	3.063	0.000
	3.156	0.000
	3.250	0.000
	3.344	0.000
	3.438	0.000
	3.531	0.000
	3.625	0.000
	3.719	0.000
	3.813	0.000
	3.906	0.000
	4.000	0.000

Tab. 5 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. suolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

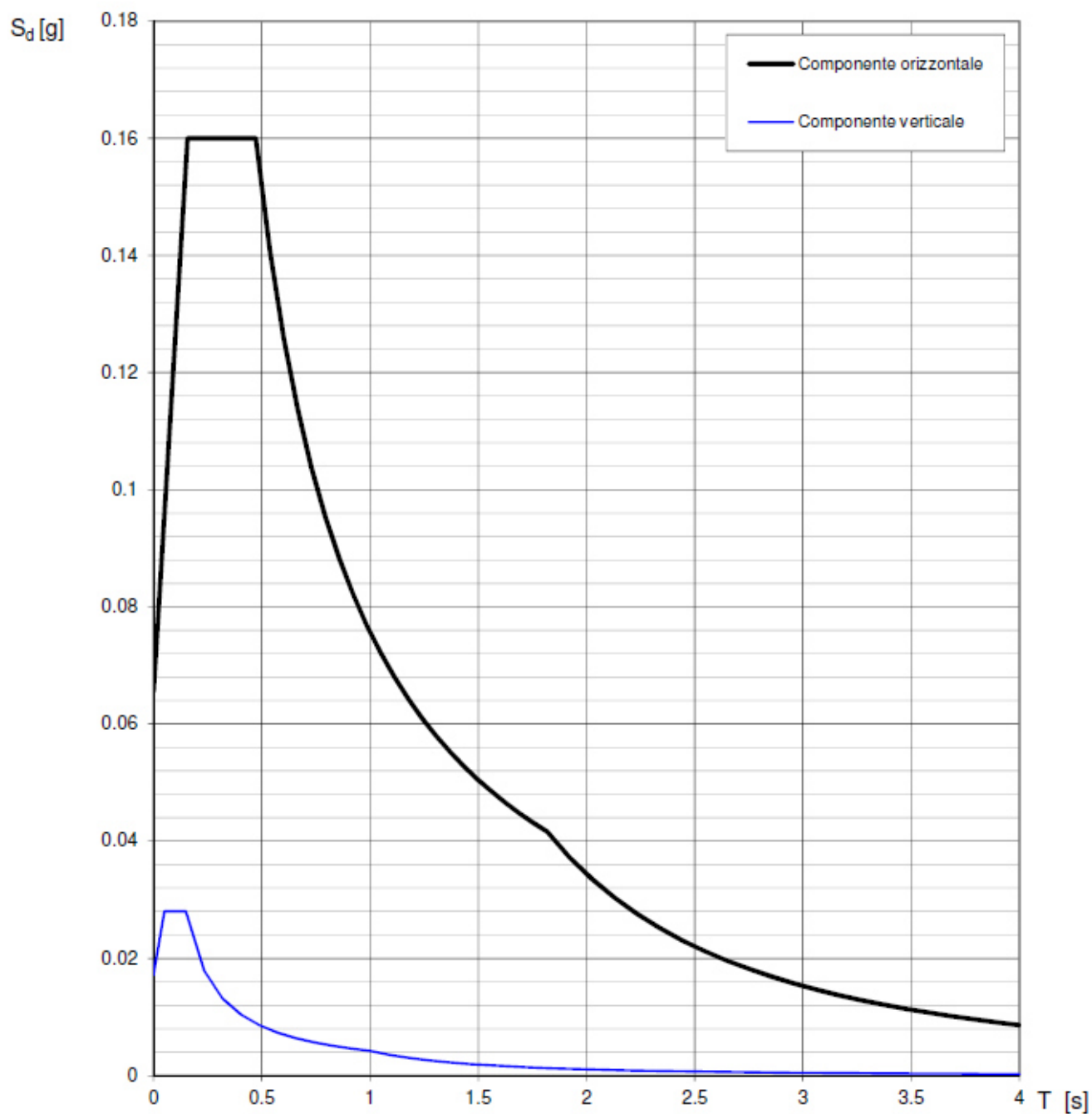


Fig. 11 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. suolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.113 g
F_0	2.670
T_C	0.459 s
S_S	1.200
C_C	1.285
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.197 s
T_C	0.590 s
T_D	2.054 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.136
$T_B \leftarrow$	0.197	0.363
$T_C \leftarrow$	0.590	0.363
	0.660	0.325
	0.730	0.294
	0.799	0.268
	0.869	0.247
	0.939	0.229
	1.008	0.213
	1.078	0.199
	1.148	0.187
	1.218	0.176
	1.287	0.167
	1.357	0.158
	1.427	0.150
	1.496	0.143
	1.566	0.137
	1.636	0.131
	1.705	0.126
	1.775	0.121
	1.845	0.116
	1.914	0.112
	1.984	0.108
$T_D \leftarrow$	2.054	0.104
	2.146	0.096
	2.239	0.088
	2.332	0.081
	2.424	0.075
	2.517	0.070
	2.610	0.065
	2.703	0.060
	2.795	0.056
	2.888	0.053
	2.981	0.050
	3.073	0.047
	3.166	0.044
	3.259	0.041
	3.351	0.039
	3.444	0.037
	3.537	0.035
	3.629	0.033
	3.722	0.032
	3.815	0.030
	3.907	0.029
	4.000	0.028

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. suolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.052 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.214
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.052
$T_B \leftarrow$	0.050	0.092
$T_C \leftarrow$	0.150	0.092
	0.235	0.059
	0.320	0.043
	0.405	0.034
	0.490	0.028
	0.575	0.024
	0.660	0.021
	0.745	0.018
	0.830	0.017
	0.915	0.015
$T_D \leftarrow$	1.000	0.014
	1.094	0.012
	1.188	0.010
	1.281	0.008
	1.375	0.007
	1.469	0.006
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.004
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.003
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.002
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.001
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. suolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

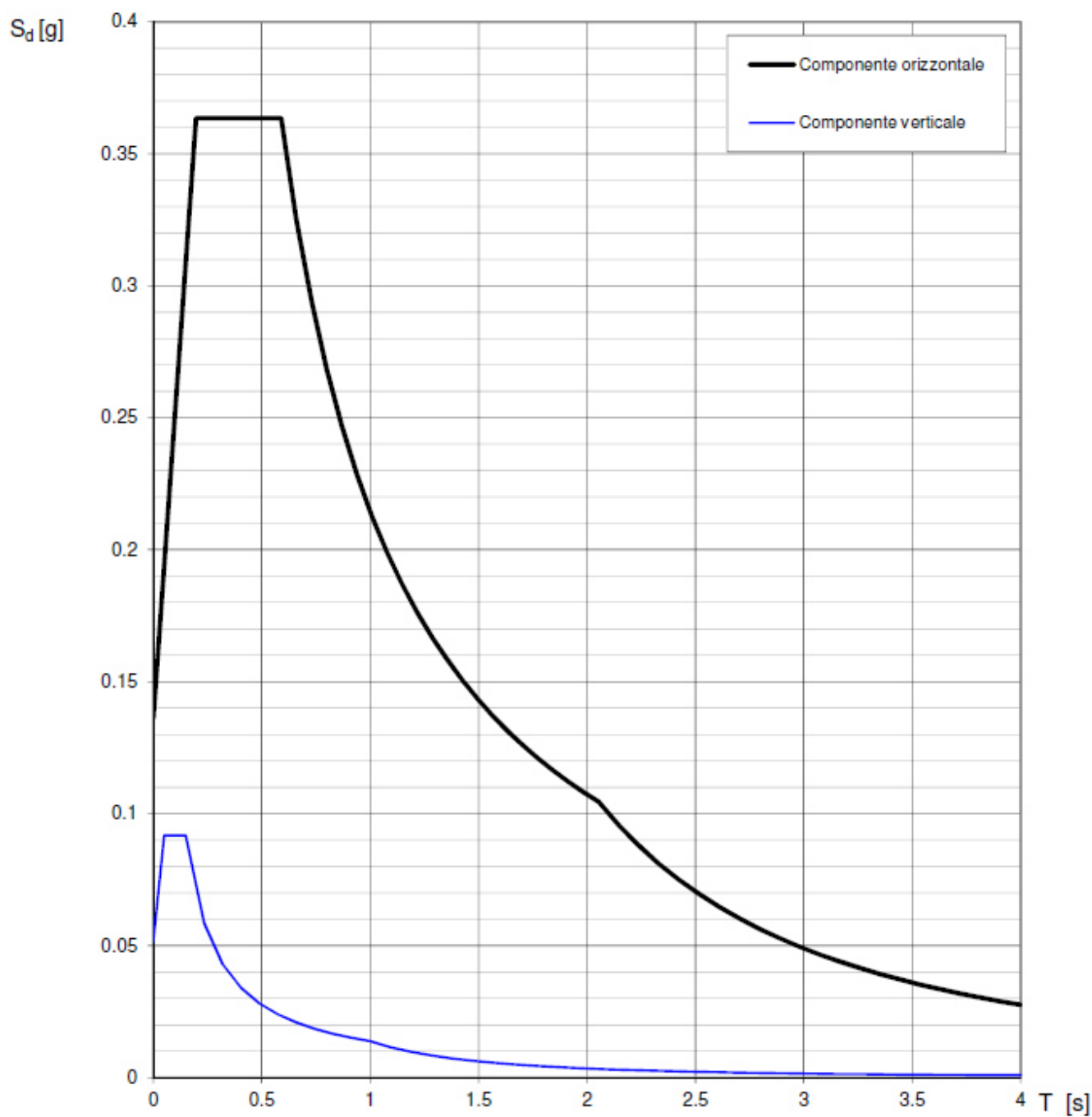


Fig. 12 – Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. suolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d’uso della costruzione III; smorzamento 5%.

8. CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Salerno (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria - $S=9$ - $a_g=0.25g$ (Fig. 13).

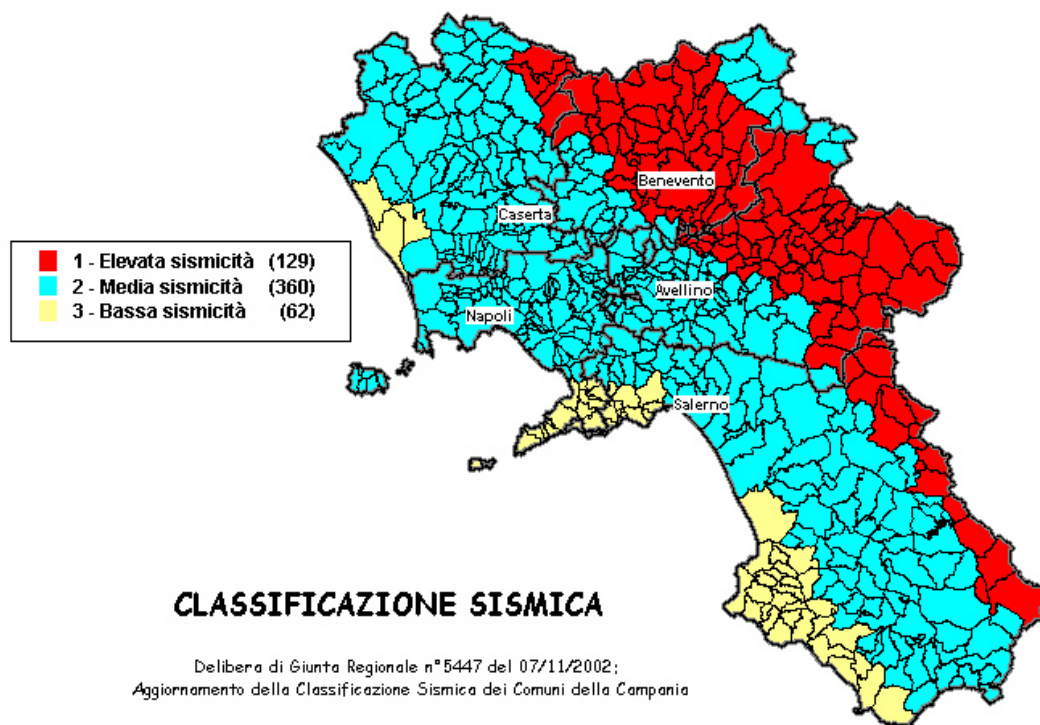


Fig. 13 – Classificazione sismica del 2002 dei Comuni della Regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 14), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di Salerno (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.075 e 0.125 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

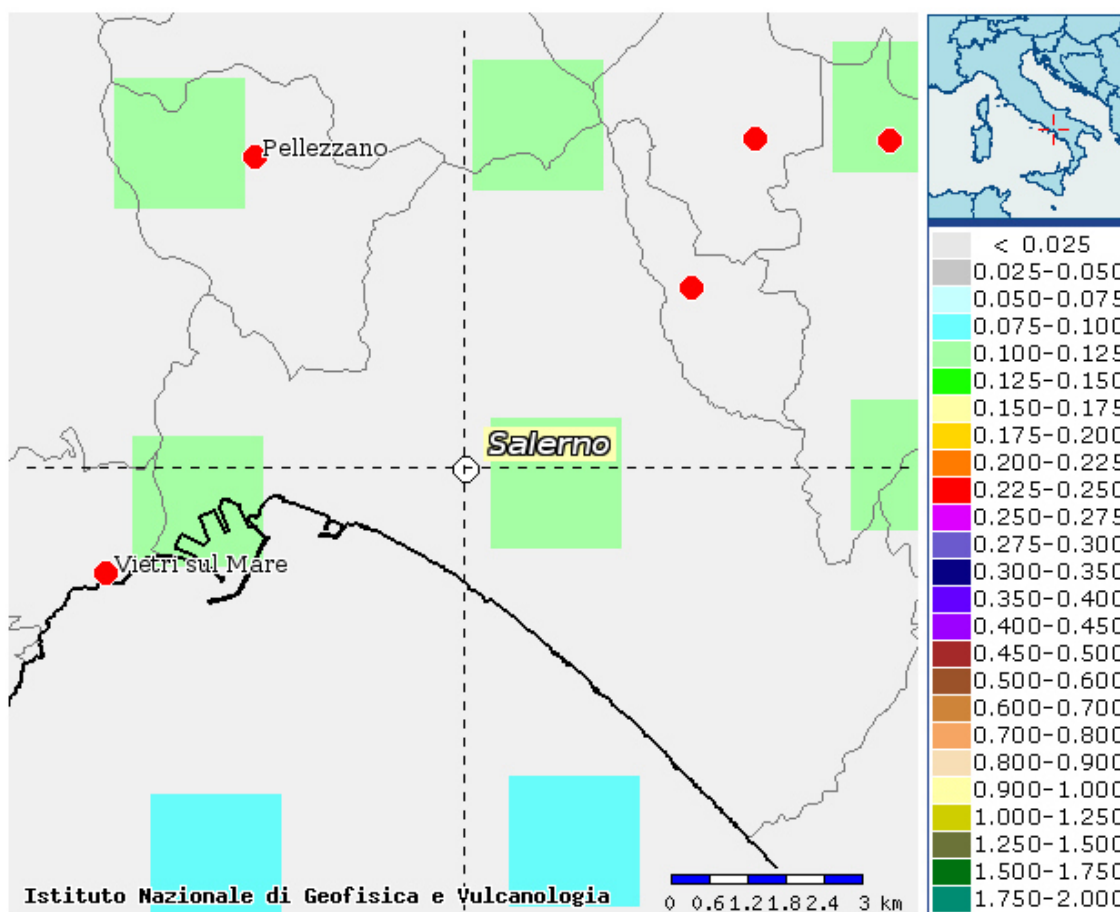


Fig. 14 – Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; Percentile 50.

L'indagine sismica down hole DH-SSG2 effettuata ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 14 gennaio 2008 (vedi par. 6) con valori di V_{S30} calcolati pari a (Tab. 8):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>$V_{S\ 0-30}$ (m/s)</i>
<i>DH-SSG2</i>	<i>[364]</i>

Tab. 8 – Valori di V_{S30} calcolati, relativi alla prospezione sismica DH-SSG2 effettuata.

In funzione della categoria di suolo **B** e della categoria topografica **T1** sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 7) e i moduli dinamici (Tab. 10).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione **III**.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al suolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 4 – 6 – 9), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.055]	[0.113]	[0.160]	[0.363]

Tab. 9 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione **III; smorzamento 5%.**

Note le velocità V_P e V_S ottenute dall'indagine sismica DH-SSG2, e attribuiti i valori di densità noti dal sondaggio geognostico eseguito, sono stati ricavati inoltre i moduli dinamici (Tab. 10), quali il modulo di Young o modulo elastico E , il modulo di taglio o modulo di rigidità G , il coefficiente di Poisson ν e il modulo di incompressibilità k dei sismostrati individuati.

Sismostrato	Profondità (m)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	Densità ρ (kg/m ³)	Coefficiente di Poisson ν (-)	Modulo di taglio G (kPa)	Modulo di Young E (kPa)	Modulo di incompressibilità k (kPa)
S1	0.00 – 4.00	903	389	1600	0.39	241495	669625	982661
S2	4.00 – 8.00	519	183	1500	0.43	49960	142830	337429
S3	8.00 – 14.00	1301	358	1700	0.46	217879	635787	2586917
S4	14.00 – 30.00	1997	478	1900	0.47	434120	1275975	6998391

Tab. 10 - Prospetto delle determinazioni dei moduli dinamici per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica DH-SSG2,

Scafati, gennaio 2015

Geomed s.r.l.

Il tecnico

Dr. Geol. G. Di Maio