

# STUDIO PANICIERI

Geologia Tecnica ed Ambientale

di Dott. Geol. Paolo Panicieri

Via Matteotti n° 9, 43035 FELINO (Parma)

PROVINCIA DI PARMA  
COMUNE DI LESIGNANO DE' BAGNI  
Frazione di Mulazzano Ponte

## ISTANZA DI INSERIMENTO AREA NEL R.U.E.

Richiedente:  
Società Agricola Saliceto s.s.

## RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

**E**

LESIGNANO DE' BAGNI  
COMUNE DI LESIGNANO DE' BAGNI

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE DIGITALE

Protocollo N.0008956/2021 del 26/10/2021

Firmatario: Paolo Panicieri

## INDICE

|   |                |
|---|----------------|
| <i>Premessa</i> .....   | <i>pag. 3</i>  |
| <i>1. Inquadramento geografico</i> .....  | <i>pag. 5</i>  |
| <i>2. Geomorfologia ed idrografia di superficie</i> .....   | <i>pag. 5</i>  |
| <i>3. Inquadramento geologico</i> .....   | <i>pag. 6</i>  |
| <i>4. Riclassificazione sismica del territorio nazionale</i> .....                                | <i>pag. 7</i>  |
| <i>5. Macrozonazione sismica regionale</i> .....  | <i>pag. 9</i>  |
| <i>5.1 Inquadramento geologico regionale</i> .....  | <i>pag. 9</i>  |
| <i>5.2 Strutture attive dell'Emilia - Romagna</i> .....   | <i>pag. 11</i> |
| <i>5.3 Sismicità regionale</i> .....  | <i>pag. 12</i> |
| <i>5.4 Classificazione dei Comuni dell'Emilia – Romagna e<br/>        sismicità storica</i> ..... | <i>pag. 13</i> |
| <i>6. Indagine geognostica</i> .....  | <i>pag. 18</i> |
| <i>6.1 Tomografia elettrica di superficie</i> .....   | <i>pag. 18</i> |
| <i>6.2 Acquisizione Masw</i> .....  | <i>pag. 20</i> |
| <i>7. Assetto litostratimetrico</i> .....   | <i>pag. 21</i> |
| <i>8. Modello geologico</i> .....   | <i>pag. 22</i> |
| <i>9. Risposta sismica locale</i> .....   | <i>pag. 26</i> |
| <i>10. Conclusioni</i> .....  | <i>pag. 28</i> |

*Allegati*

## **Premessa**

Il presente studio di fattibilità geologica, redatto su incarico della Richiedente Società Agricola Saliceto s.s. al fine di valutare sia gli aspetti geolitologici e idromorfologici che la pericolosità sismica locale dell'areale oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E. comunale per la realizzazione di un'area di parcheggio inghiaata, è stato effettuato in ottemperanza a quanto previsto dai seguenti riferimenti normativi:

- L.R. 07 dicembre 1978 n. 47 "Tutela ed uso del territorio" e s.m.i;
- Circolare Regionale 11 febbraio 1983 n. 1288 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre a corredo dei piani urbanistici comunali";
- L.R. 24 marzo 2000 n. 20 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio";
- Ordinanza P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Ordinanza P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- D.M. 14.01.2008 "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni" e ss.mm.ii.;
- L.R. 30 ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico";
- Legge Regionale n. 6 del 2009 "Governo e riqualificazione solidale del territorio";
- Circolare Regione Emilia – Romagna Reg. PG/2010/23900 del 01/02/2010 "Indicazioni illustrative delle innovazioni in materia di governo del territorio introdotte dai Titoli I e II della L.R. n. 6 del 2009";
- D.G.R. 21 Dicembre 2015 n. 2193 "Art. 16, comma 1 della L.R. 20/2000 – Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato *Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia – Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*, di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112;
- L.R. 21 dicembre 2017, n. 24 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio";
- D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*";

- D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)”;
- D.G.R. 12 Aprile 2021 n. 476 “Aggiornamento dell’ “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 Aprile 2019 n. 630”.

Il parere di fattibilità geologica espresso per l’areale considerato è stato formulato tenendo conto sia di quanto emerso nel corso dei sopralluoghi effettuati sia di dati stratigrafici e sismici acquisiti con indagini geognostiche appositamente eseguite sia di quanto riportato nella sottostante cartografia:

- elaborati cartografici P.T.C.P.;
- elaborati cartografici del P.S.C.;
- Mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvioni del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R. - Direttiva alluvioni 2019;
- Cartografia Geologica della Regione Emilia – Romagna;
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e 1:5.000.

Per quanto concerne la pericolosità sismica che caratterizza l’areale in esame, la valutazione dei possibili effetti attesi e, quindi, di eventuali fenomeni locali di amplificazione sismica è stata effettuata facendo riferimento sia alla D.G.R. 29 Aprile 2019 n. 630 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” che alla D.G.R. 12 Aprile 2021 n. 476 “Aggiornamento dell’ “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 Aprile 2019 n. 630”.

**Si precisa che il parere di fattibilità geologica espresso nel presente elaborato non è da considerarsi sostitutivo di specifici studi geologico – geotecnici che dovranno essere eseguiti, ai sensi della normativa vigente in materia (Decreto Ministeriale 17.01.2018), nel corso della successiva fase di progettazione.**

## **1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'areale oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E., ubicato nella frazione di Mulazzano Ponte, nelle immediate adiacenze orientali della sponda destra del T. Parma, circa 160 metri ad WSW dell'intersezione fra Via Ponticella e Via Toscanini, è inserito, dal punto di vista geografico, nella Sezione 199160 "Langhirano" della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (Allegato 1) ed è catastalmente censito alle particelle nn. 118, 159, 160 e 169 del foglio n. 28 del Catasto del Comune di Lesignano dé Bagni (Allegato 2).

## **2. GEOMORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DI SUPERFICIE**

L'areale oggetto di studio, dato il suo inserimento nella pianura di fondovalle posta in destra idraulica del Torrente Parma, è caratterizzato da morfologia pianeggiante e da ottime condizioni di stabilità; si segnala, tuttavia, la presenza, al limite settentrionale dell'areale oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E., di una ristretta fascia (ampiezza: m. 3.00÷4.00 circa), originata da interventi antropici di scavo eseguiti in passato, posta a quota inferiore di circa m 1.20÷1.50 rispetto a quella della rimanente parte dello stesso la quale si raccorda alle aree cortilive delle porcilaie esistenti.

La quota media è pari a m. 259.0 s.l.m..

Il corpo idrico principale della zona è rappresentato dal già citato Torrente Parma che scorre, con direzione SSW - NNE, circa 40.0÷50.0 metri ad Ovest dell'area oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E. che, secondo quanto cartografato nella Tav. C.1.12 "Tutela ambientale, paesistica e storico – culturale" del P.T.C.P., rientra in "zone di tutela ambientale ed idraulica dei corsi d'acqua"; la consultazione dell'elaborato P2b "Carta delle tutele ambientali, storico – culturali e dei vincoli sovraordinati" del P.S.C. ha consentito di rilevare che la stessa, oltre ad essere inserita in "ambiti di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua integrata con zone di tutela idraulica", appartiene alla perimetrazione relativa a "fasce laterali di 150 metri dai limiti demaniali dei corsi d'acqua sottoposti a vincolo paesaggistico (D.Lgs. 42/2004)".

L'elaborato cartografico Tav. C.1.12 del P.T.C.P. in precedenza citato evidenzia, inoltre, l'inserimento dell'areale oggetto del presente studio in "zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei".

L'idrografia minore della zona è costituita da rari fossi presenti nel versante collinare sovrastante, dal canale irriguo intubato posto nella zona orientale della proprietà e dalle opere idrauliche di urbanizzazione.

Quanto riportato nella Tav. C.4.2 – “Carta del rischio ambientale e dei principali interventi di difesa” del predetto strumento di pianificazione territoriale provinciale mostra che l'areale oggetto di studio è esposto sia a rischio idraulico elevato in quanto inserito in “area urbana a rischio di esondazione” sia a rischio di inquinamento degli acquiferi principali poiché ricompreso in “area di ricarica delle falde acquifere”.

A completamento di quanto in precedenza esposto in merito al rischio idraulico si precisa che all'area oggetto di studio viene attribuito, nelle mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvioni del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R. - Direttiva alluvioni 2019, uno “scenario di pericolosità Alluvioni poco frequenti M – P2” riferito al Reticolo Secondario Collinare e Montano.

Si precisa che il reticolo idrografico minore ha originato, nei tempi, alcune criticità nella zona comprendente i terreni in esame in corrispondenza di eventi pluviali estremi.

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

Secondo quanto riportato nella Cartografia Geologica della Regione Emilia – Romagna, della quale si allega stralcio ridisegnato in allegato 3, i terreni presenti in corrispondenza dell'area oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E. appartengono al Subsistema di Ravenna e, più in particolare, all'Unità di Modena (Olocene) rappresentata da depositi intravallivi terrazzati litologicamente costituiti da ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso – argillosa discontinua.

La potenza complessiva dei depositi continentali quaternari poggianti sul substrato, rappresentato dal Flysch di M. Sporno - Membro di Calestano, è localmente sempre inferiore a m. 10.00.

#### 4. RICLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

Le mappe riportate nelle figure sottostanti, di cui all'OPCM n° 3274, mostrano

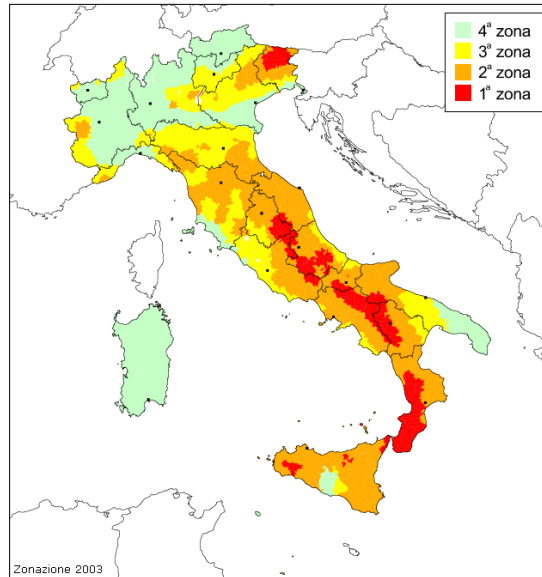


Fig. 1: mappa delle zone sismiche

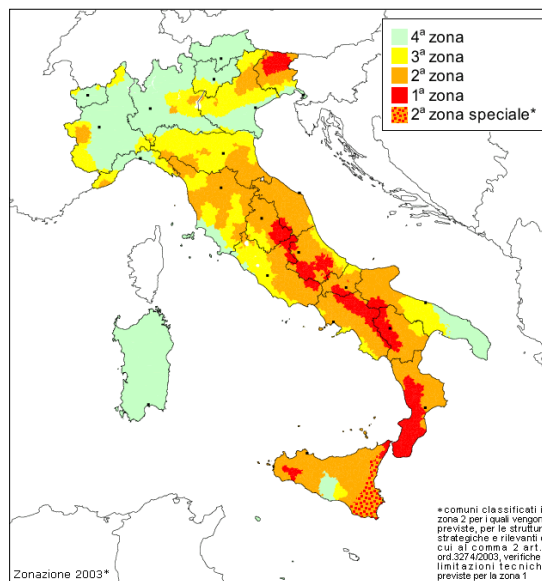


Fig. 2: zone sismiche del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a Marzo 2004)

come il territorio nazionale sia stato suddiviso in quattro “**zone sismiche**” ciascuna individuata da una specifica classe di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni secondo lo schema seguente:

| Zona | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni (Ag/g) | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Ag/g) |
|------|---|---|
| 1    | $Ag/g > 0,25$   | 0,35  |
| 2    | $0,15 < Ag/g \leq 0,25$   | 0,25  |
| 3    | $0,05 < Ag/g \leq 0,15$   | 0,15  |
| 4    | $< 0,05$  | 0,05  |

In figura 3 è riportata la distribuzione sul territorio nazionale del parametro  $a_{max}$  con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

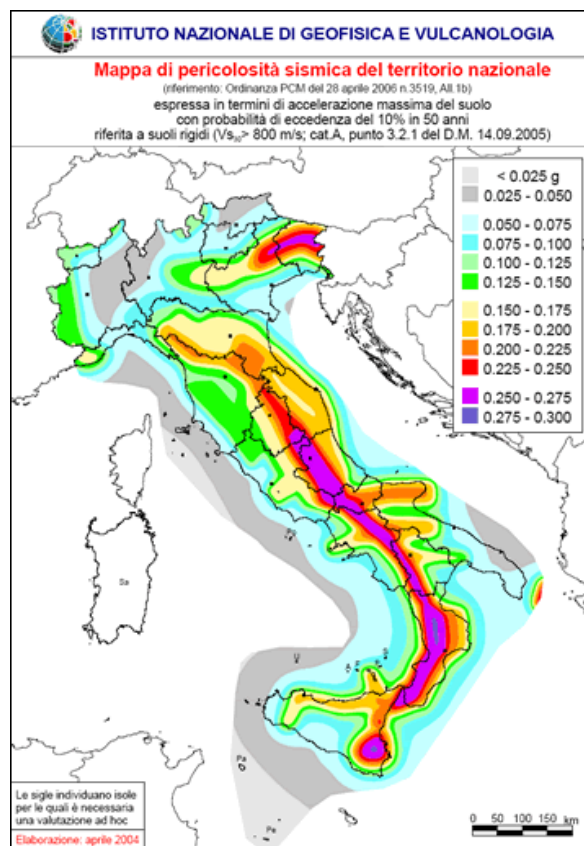


Fig. 3: mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

Come da bibliografia esistente, la superficie di territorio nazionale attribuibile alla **Zona 4** ( $a_{max} < 0.050g$ ) è pari al **15% circa** (Sardegna compresa); tale percentuale può raggiungere, al massimo, il 28% circa con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza  $0.050g - 0.075g$ .

Viene associato alla **Zona 1** ( $a_{max} > 0.250g$ ) il **7% circa** della superficie di territorio nazionale che può arrivare al 12% circa con il pieno utilizzo della fascia di

tolleranza 0.225g – 0.255g; il rimanente **60%** del territorio è suddiviso fra le **Zone 2 e 3**.

## 5. MACROZONAZIONE SISMICA REGIONALE

### 5.1 Inquadramento geologico regionale

Il territorio regionale è formato dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a Sud del fiume Po.

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino settentrionale e la Pianura Padana sono strettamente correlati; il fronte della catena appenninica, infatti, non coincide con il limite morfologico catena – pianura (margine appenninico – padano) ma con gli archi esterni delle pieghe emiliane e ferraresi sottostanti i sedimenti Quaternari padani (si veda la seguente figura 4).

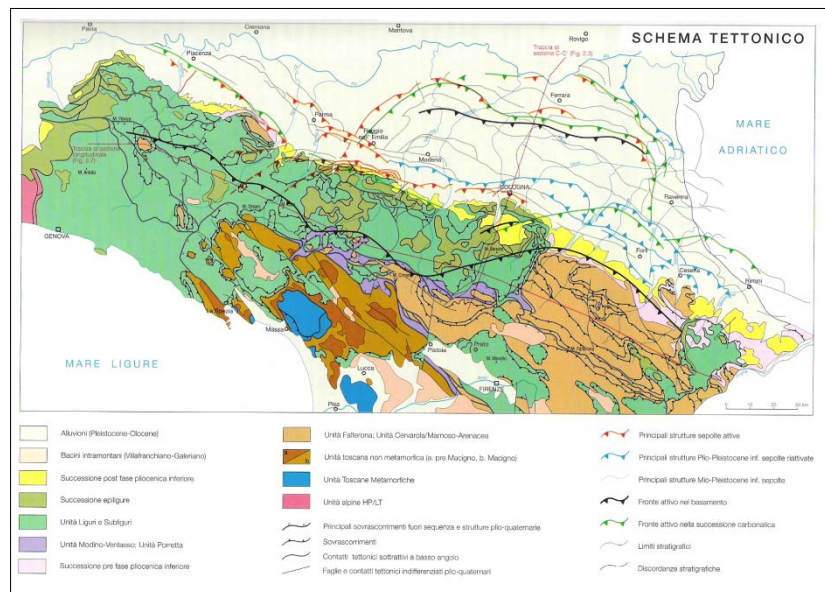


Fig. 4: schema tettonico

Il vero fronte appenninico, quindi, circa all'altezza del fiume Po, sovrascorre verso Nord sulla piattaforma padano –veneta; è possibile, pertanto, asserire che l'evoluzione del territorio dell'Emilia – Romagna coincide con quella del settore esterno della catena nord - appenninica, catena a thrusts facente parte del sistema alpino, formatosi, perlopiù, a spese della placca adriatica per effetto dell'interazione fra la placca Africana e la Placca Euroasiatica.

Si tratta di un edificio costituito da una serie di Unità Tettoniche riferibili a due principali Domini:

- **Dominio Ligure**, i cui sedimenti si sono originariamente depositi su crosta oceanica;
- **Dominio Tosco – Umbro – Marchigiano**, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria.

### **APPENNINO EMILIANO ROMAGNOLO**

Tale settore appenninico può essere suddiviso in due zone principali:

- **zona assiale;**
- **zona del margine appenninico – padano.**

#### **Zona assiale**

Si tratta della parte morfologicamente più elevata della catena esterna che costituisce l'edificio le cui principali strutturazioni arrivano fino al Pliocene Inferiore e le cui Unità Tettoniche sono rappresentate dalle Unità Liguri e Subliguri con la sovrastante Successione Epiligure e dalle Unità Oligo – Mioceniche Toscane nonché dall'Unità Umbro – Marchigiano – Romagnola.

#### **Margine appenninico – padano**

Si tratta della zona posta a cavallo del limite morfologico Appennino – Pianura Padana formata dalle colline del basso appennino e dalla fascia pedemontana della pianura padana.

I terreni che affiorano nella zona collinare appartengono, essenzialmente, alla successione post – evaporitica, litologicamente costituita da peliti prevalenti sedimentate sul margine interno dell'avanfossa padano – adriatica (Formazione di Tetto, Formazione a Colombacci, Argille Azzurre) e delimitata da due *unconformities* di importanza regionale; alla base, infatti, essa poggia sulle evaporiti messiniane (Formazione Gessoso - Solfifera) mentre, al tetto, sono presenti i depositi continentali della Pianura Padana.

Localmente, le evaporiti messiniane hanno subito fenomeni di erosione e processi di risedimentazione; in questi casi alla discordanza basale è associata anche una lacuna erosiva ed il substrato della successione post – evaporitica è rappresentato, nell'Appennino Romagnolo, dalle peliti di chiusura dell'avanfossa romagnola o, nell'Appennino Emiliano e nel Montefeltro, dalle peliti sommitali della Successione Epiligure (Marne del Termina, Argille di Casa i Gessi) o dalle Unità Liguri.

## 5.2 Strutture attive dell'Emilia – Romagna

La convergenza tra le Placche Europea ed Africana è associata, nell'Appennino Settentrionale, ad un pattern deformativo e ad un'attività sismica complessi; il settore tirrenico della catena è, infatti, interessato da un prevalente campo deformativo estensionale mentre nel settore adriatico della medesima prevale una compressione attiva.

In quest'ultimo settore, in cui rientra l'Emilia – Romagna, l'attività tettonica è da ricondursi alla presenza di strutture compressive, quali sovrascorrimenti e piegamenti; nello specifico, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno origine agli archi di Piacenza – Parma, Reggio Emilia e Ferrara.

A tali strutture, in particolare alla Dorsale Ferrarese, possono essere associate le fagliazioni superficiali osservabili in alcune aree della Pianura Padana, nelle Province di Reggio Emilia e Modena.

Lungo il margine, è attivo il thrust pede – appenninico tra Bologna e Parma mentre blind thrust attivi caratterizzano il settore a Sud – Est di Bologna.

Le principali strutture attive in Emilia – Romagna sono sintetizzate nella sottostante figura 5.

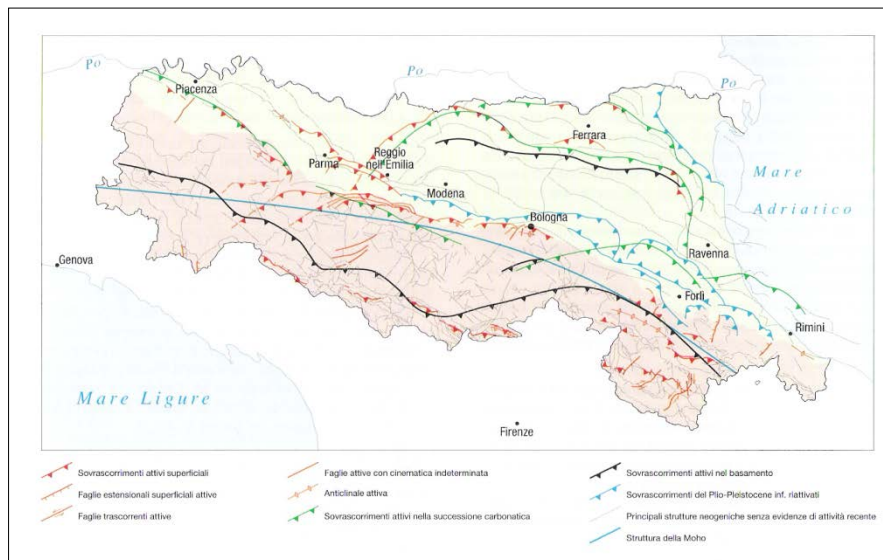


Fig. 5: principali strutture attive in Emilia – Romagna

L'esame di tale rappresentazione cartografica consente di riscontrare come le strutture attive nell'ambito del territorio regionale possano essere raggruppate in tre differenti settori:

- allineamento pressoché continuo in corrispondenza del crinale appenninico, all'incirca coincidente con il fronte di accavallamento delle Unità Tettoniche Cervarola e Falterona sulle Liguridi, in Emilia, e sulla Marnoso – Arenacea, in Romagna;
- allineamento coincidente con gran parte del margine appenninico – padano, a sua volta suddivisibile, procedendo da NW verso SE, in tre ulteriori settori:
  - settore ad Ovest della Val Taro;
  - settore compreso tra le valli del Taro e dell'Idice (ad Est di Bologna);
  - settore ad Est della Valle dell'Idice, corrispondente con il margine romagnolo;
- allineamento coincidente con l'alto delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Emiliane.

### **5.3 Sismicità regionale**

La Regione Emilia – Romagna è interessata da una sismicità media in rapporto alla sismicità nazionale, con terremoti storici di Magnitudo massima compresa fra 5.5 e 6.0 della scala Richter ed intensità del IX – X grado della scala MCS.

I più intensi terremoti (Magnitudo > 5.5) si sono verificati nel settore sud – orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese; altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minor energia (Magnitudo < 5.5) sono il margine appenninico – padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese ed il crinale appenninico.

Quest'ultimo risente della sismicità di due importanti aree sismogenetiche della Toscana, il Mugello e la Garfagnana dove, nell'ordine, nel 1919 e nel 1920, si sono verificati terremoti di Magnitudo superiore a 6.0.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, è molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE – SW che NW – SE; i meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari.

Ne consegue che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi fra 15 e 35 km, ha una distribuzione simile a quella più superficiale ma è caratterizzata da una minore densità.

I meccanismi focali sono, anche in questo caso, compressivi e trascorrenti con direzione di compressione sia NW – SE che NE – SW; i meccanismi focali distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, essenzialmente a bassa Magnitudo con ipocentri da 35 km di profondità fin oltre i 50 km, interessa, perlopiù, il settore di catena ed il margine appenninico – padano e, solo raramente, la pianura.

Ne risulta un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali e quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti ed inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

#### **5.4 Classificazione dei comuni dell'Emilia - Romagna e sismicità storica**

In riferimento alla Nuova classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia - Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003 n° 3274 (Allegato 1, punto 3, della medesima Ordinanza), **105 Comuni del territorio regionale sono stati inseriti in Zona 2, 214 in Zona 3 e 22 in Zona 4.**

Rientrano in Zona 2, ovvero nell'area a maggior sismicità regionale, l'intero territorio delle Province di Forlì, Cesena e Rimini, quasi tutta la Provincia di Ravenna, ad esclusione del Comune Capoluogo classificato in Zona 3, la parte orientale della Provincia di Bologna, il Comune di Argenta (Ferrara), quasi tutti i Comuni dell'alto Appennino Modenese, Reggiano e Parmense, i Comuni del Margine Appenninico Padano a Sud di Reggio Emilia e Modena.

Sono classificati in Zona 4, cioè nella zona a minor sismicità, le estremità Nord – Ovest e Nord – Est della Regione, ovvero, rispettivamente la parte nord – occidentale della Provincia di Piacenza e la parte nord – orientale della Provincia di Ferrara.

I rimanenti Comuni, tra i quali quello di Lesignano dé Bagni, sono stati classificati in Zona 3, vale a dire nella zona a sismicità medio – bassa (si veda la seguente figura 6).

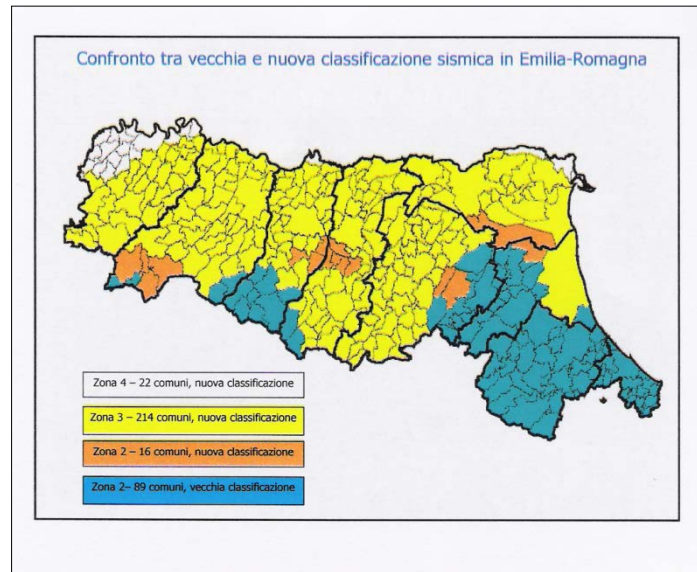


Fig. 6: nuova classificazione sismica regionale

La succitata riclassificazione sismica dei Comuni della R.E.R., secondo la quale il territorio comunale del **Comune di Lesignano dé Bagni** (Codice ISTAT **8034019**) rientra in **Zona 3**, è stata recepita dal Decreto 14.01.2008 del Ministero delle Infrastrutture recante “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04.02.2008.

Con la Deliberazione della Giunta Regionale 23 Luglio 2018 n. 1164 è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia – Romagna, disposta con propria D.G.R. n. 1435 del 2003 (prime disposizioni di attuazione dell’Ordinanza del P.C.M. n. 3274/2003), con riferimento al passaggio di 20 Comuni dalla zona 4 alla zona 3 (sismicità medio – bassa), al passaggio dei 7 Comuni dell’Alta Val Marecchia dalla Regione Marche (Provincia di Pesaro – Urbino) alla Regione Emilia – Romagna (Provincia di Rimini) ed all’aggiornamento dei nuovi Comuni ottenuti per fusione di più Comuni così come elencati nell’allegato A alla D.G.R. n. 1164 del 23/07/2018 e come rappresentati nella cartografia di cui all’allegato B della succitata deliberazione, riportata nella seguente figura 7.

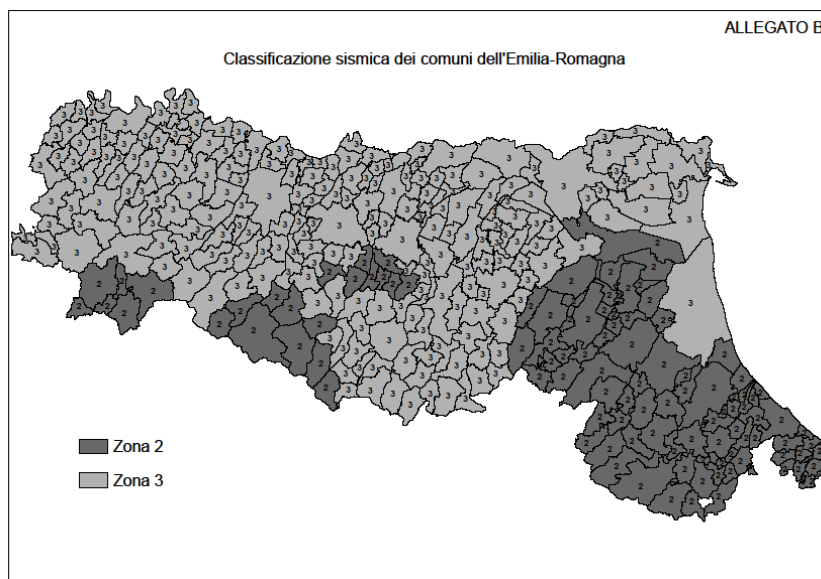


Fig. 7: classificazione sismica regionale dei comuni - Allegato B D.G.R. n. 1164 2 del 23/07/2018

La consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha consentito la ricostruzione della seguente casistica storica relativamente ai sismi più significativi per il territorio della provincia parmense nella finestra temporale 1800 - 2014 (terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o pari a 5 e con magnitudo strumentale equivalente, secondo i metodi e le conversioni descritte nel succitato catalogo, a Mw 4.0 o superiore):

| Giorno –<br>Mese - Anno | Ora – Minuto<br>- Secondo | Area epicentrale    | n. MDP<br>(Macroseismic<br>Data Point) | Intensità<br>epicentrale Io | Magnitudo<br>Momento<br>Mw |
|-------------------------|---------------------------|---------------------|--|-----------------------------|----------------------------|
| 12.02.1806              |                           | Reggiano            | 28                                     | 7                           | 5.21                       |
| 25.12.1810              | 00.45                     | Pianura emiliana    | 33                                     | 6                           | 5.06                       |
| 15.07.1811              | 22.44                     | Modenese - reggiano | 19                                     | 6 - 7                       | 5.13                       |
| 09.12.1818              | 18.55                     | Parmense            | 26                                     | 7                           | 5.24                       |
| 11.09.1831              | 18.15                     | Pianura emiliana    | 25                                     | 7 - 8                       | 5.48                       |
| 11.03.1832              | 06.45                     | Carpi               | 14                                     | 5                           | 4.51                       |
| 13.03.1832              | 03.30                     | Reggiano            | 97                                     | 7-8                         | 5.51                       |
| 04.10.1834              | 19                        | Bolognese           | 12                                     | 6                           | 4.71                       |
| 20.04.1835              | 03                        | Val di Taro         | 1                                      | 5                           | 4.16                       |
| 25.04.1835              | 02.45                     | Val di Taro         | 6                                      | 5 - 6                       | 4.77                       |
| 11.04.1837              | 17.00                     | Lunigiana           | 60                                     | 9                           | 5.94                       |
| 28.11.1849              | 18                        | Val di Taro         | 7                                      | 6                           | 4.63                       |
| 01.02.1857              |                           | Parmense - Reggiano | 22                                     | 6 - 7                       | 5.11                       |
| 16.05.1873              | 19.35                     | Reggiano            | 15                                     | 6 - 7                       | 5.01                       |
| 24.01.1881              | 16.14                     | Bolognese           | 38                                     | 7                           | 5.22                       |
| 25.01.1881              | 07.06                     | Bolognese           | 18                                     | 5                           | 4.59                       |
| 14.02.1881              | 09.00.30                  | Appennino bolognese | 21                                     | 6                           | 4.77                       |
| 26.02.1885              | 20.48                     | Pianura padana      | 78                                     | 6                           | 5.01                       |
| 15.10.1886              | 02.20                     | Collecchio          | 44                                     | 6                           | 4.70                       |
| 08.03.1889              | 02.57.04                  | Bologna             | 38                                     | 5                           | 4.53                       |

| Giorno –<br>Mese - Anno | Ora – Minuto<br>- Secondo | Area epicentrale           | n. MDP<br>(Macroseismic<br>Data Point) | Intensità<br>epicentrale I <sub>0</sub> | Magnitudo<br>Momento<br>M <sub>w</sub> |
|-------------------------|---------------------------|----------------------------|--|---|--|
| 20.10.1893              | 20.20.15                  | Appennino parmense         | 25                                     | 4 - 5                                   | 4.04                                   |
| 07.08.1895              | 19.49.32                  | Appennino tosco-emiliano   | 84                                     | 5                                       | 4.67                                   |
| 04.03.1898              | 21.05                     | Parmense                   | 313                                    | 7 - 8                                   | 5.37                                   |
| 25.08.1906              | 03.11                     | Parmense                   | 31                                     | 5                                       | 4.25                                   |
| 10.11.1906              | 17.55                     | Alta Val di Taro           | 43                                     | 5                                       | 4.22                                   |
| 13.01.1909              | 00.45                     | Emilia – Romagna orientale | 867                                    | 6 - 7                                   | 5.36                                   |
| 25.11.1913              | 20.55                     | Appennino parmense         | 73                                     | 4 - 5                                   | 4.65                                   |
| 27.10.1914              | 09.22                     | Lucchesia                  | 660                                    | 7                                       | 5.63                                   |
| 10.10.1915              | 23.10                     | Reggiano                   | 30                                     | 6                                       | 4.87                                   |
| 06.05.1918              | 08.05                     | Reggiano                   | 8                                      | 5 - 6                                   | 4.41                                   |
| 29.06.1919              | 15.06.13                  | Mugello                    | 565                                    | 10                                      | 6.38                                   |
| 07.09.1920              | 05.55.40                  | Garfagnana                 | 750                                    | 10                                      | 6.53                                   |
| 29.11.1921              | 12.04                     | Val di Taro                | 10                                     | 4                                       | 4.15                                   |
| 28.06.1923              | 15.12                     | Modenese                   | 22                                     | 6                                       | 5.04                                   |
| 13.06.1928              | 08                        | Carpi                      | 35                                     | 6                                       | 4.67                                   |
| 20.07.1928              | 19.53                     | Alta Val di taro           | 13                                     | 6                                       | 4.39                                   |
| 10.04.1929              | 05.55                     | Bolognese                  | 87                                     | 6                                       | 5.05                                   |
| 19.04.1929              | 04.16                     | Bolognese                  | 82                                     | 6 - 7                                   | 5.13                                   |
| 20.04.1929              | 01.10                     | Bolognese                  | 109                                    | 7                                       | 5.36                                   |
| 22.04.1929              | 08.26                     | Bolognese                  | 41                                     | 6 - 7                                   | 5.10                                   |
| 22.04.1929              | 14.19                     | Bolognese                  | 12                                     | 5 - 6                                   | 4.61                                   |
| 29.04.1929              | 18.36                     | Bolognese                  | 45                                     | 6                                       | 5.20                                   |
| 11.05.1929              | 19.23                     | Bolognese                  | 64                                     | 6 - 7                                   | 5.29                                   |
| 24.05.1930              | 22.02                     | Appennino tosco - emiliano | 43                                     | 5                                       | 4.91                                   |
| 10.06.1931              | 17.02                     | Modenese                   | 14                                     | 4                                       | 4.59                                   |
| 13.06.1934              | 09.06                     | Val di Taro - Lunigiana    | 29                                     | 6                                       | 5.14                                   |
| 17.09.1937              | 12.19.05                  | Parmense                   | 34                                     | 7                                       | 4.77                                   |
| 10.12.1937              | 18.04                     | Frignano                   | 28                                     | 6                                       | 5.30                                   |
| 15.10.1939              | 14.05                     | Garfagnana                 | 62                                     | 6 - 7                                   | 4.96                                   |
| 01.05.1940              | 09.36.05                  | Parmense                   |  |   | 5.06                                   |
| 12.03.1955              | 06.57.04                  | Parmense                   | 15                                     | 5                                       | 4.15                                   |
| 25.10.1957              | 23.02.05                  | Appennino reggiano         | 79                                     | 5 - 6                                   | 4.27                                   |
| 26.01.1959              | 05.35.40                  | Alta Val di Taro           | 14                                     | 5                                       | 4.27                                   |
| 13.08.1961              | 22.34.18                  | Parmense                   | 22                                     | 5 - 6                                   | 4.37                                   |
| 14.08.1961              | 01.03.02                  | Parmense                   | 14                                     | 5 - 6                                   | 4.47                                   |
| 10.05.1965              | 05.01.54                  | Appennino reggiano         | 11                                     | 4 - 5                                   | 4.29                                   |
| 15.05.1967              | 10.03.34                  | Appennino reggiano         | 2                                      | 4                                       | 4.07                                   |
| 30.12.1967              | 04.19                     | Emilia – Romagna orientale | 40                                     | 6                                       | 5.05                                   |
| 24.06.1969              | 13.25.18                  | Parmense                   | 15                                     | 5                                       | 4.21                                   |
| 03.05.1970              | 04.17.41                  | Parmense                   | 3                                      | 4                                       | 4.08                                   |
| 15.07.1971              | 01.33.23                  | Parmense                   | 228                                    | 8                                       | 5.57                                   |
| 25.06.1972              | 17.10.47                  | Parmense                   |  |   | 4.01                                   |
| 25.10.1972              | 21.56.11                  | Appennino settentrionale   | 198                                    | 5                                       | 4.87                                   |
| 15.05.1974              | 21.49.12                  | Alta Val di Taro           | 13                                     | 5                                       | 4.14                                   |
| 16.11.1975              | 13.04.25                  | Appennino piacentino       | 10                                     | 4 - 5                                   | 4.93                                   |
| 09.11.1983              | 16.29.52                  | Parmense                   | 850                                    | 6 - 7                                   | 5.04                                   |
| 15.08.1985              | 18.58.03                  | Appennino parmense         | 7                                      | 7                                       | 4.51                                   |
| 01.10.1986              | 19.53.39                  | Lunigiana                  | 68                                     | 5                                       | 4.46                                   |
| 10.02.1987              | 21.20                     | Lunigiana                  | 54                                     | 5                                       | 4.09                                   |
| 02.05.1987              | 20.43.53                  | Reggiano                   | 802                                    | 6                                       | 4.71                                   |
| 08.05.1987              | 11.10.27                  | Bassa modenese             | 24                                     | 6                                       | 4.44                                   |
| 15.03.1988              | 12.03.16                  | Reggiano                   | 160                                    | 6                                       | 4.57                                   |
| 03.10.1989              | 09.41.32                  | Appennino parmense         | 91                                     | 4                                       | 4.04                                   |
| 31.10.1991              | 09.31.18                  | Emilia occidentale         | 134                                    | 5                                       | 4.33                                   |
| 03.03.1995              | 16.16.40                  | Lunigiana                  | 43                                     | 5                                       | 4.20                                   |
| 10.10.1995              | 6.54.21                   | Lunigiana                  | 341                                    | 7                                       | 4.82                                   |
| 31.12.1995              | 21.29.47                  | Appennino reggiano         | 96                                     | 4 - 5                                   | 4.51                                   |
| 15.10.1996              | 09.55.59                  | Pianura emiliana           | 135                                    | 7                                       | 5.38                                   |
| 16.12.1996              | 09.09.53                  | Pianura emiliana           | 115                                    | 5 - 6                                   | 4.06                                   |
| 07.07.1999              | 17.16.12                  | Frignano                   | 32                                     | 5                                       | 4.67                                   |
| 18.06.2000              | 07.42.07                  | Pianura emiliana           | 304                                    | 5 - 6                                   | 4.40                                   |
| 09.05.2007              | 06.03.49                  | Pianura emiliana           |  |   | 4.21                                   |
| 30.07.2007              | 19.05.43                  | Pianura emiliana           |  |   | 4.45                                   |
| 28.12.2007              | 04.05.43                  | Appennino parmense         |  |   | 4.18                                   |
| 23.12.2008              | 15.24.21                  | Parmense                   | 291                                    | 6 - 7                                   | 5.36                                   |
| 23.12.2008              | 21.58.26                  | Parmense                   |  |   | 4.81                                   |
| 23.12.2008              | 23.37.06                  | Parmense                   |  |   | 4.08                                   |
| 25.12.2008              | 03.08.29                  | Parmense                   |  |   | 4.09                                   |

| Giorno –<br>Mese - Anno | Ora – Minuto<br>- Secondo | Area epicentrale   | n. MDP<br>(Macroseismic<br>Data Point) | Intensità<br>epicentrale Io | Magnitudo<br>Momento<br>Mw |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|--|-----------------------------|----------------------------|
| 25.01.2012              | 08.06.37                  | Pianura emiliana   | 25                                     | 5 - 6                       | 4.98                       |
| 27.01.2012              | 14.53.12                  | Appennino parmense |  |                             | 5.05                       |
| 20.05.2012              | 02.03.50                  | Pianura emiliana   | 53                                     | 7                           | 6.09                       |
| 20.05.2012              | 02.07.28                  | Pianura emiliana   |  |                             | 5.17                       |
| 20.05.2012              | 03.02.47                  | Pianura emiliana   |  |                             | 5.04                       |
| 20.05.2012              | 13.18.01                  | Pianura emiliana   |  |                             | 5.16                       |
| 29.05.2012              | 07.00.02                  | Pianura emiliana   | 87                                     | 7 - 8                       | 5.90                       |
| 29.05.2012              | 10.55.56                  | Pianura emiliana   |  |                             | 5.50                       |

Più in dettaglio, nella tabella riportata nella seguente figura 8 viene restituita la “storia sismica” del Comune di Lesignano dé Bagni limitatamente ai terremoti con intensità massima  $\geq 3$  verificatisi tra il 1000 e il 2002 [DBMI15 Release v1.5; Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016) DBMI15, The 2015 version of the Italian Macroseismic Database - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia]:

| Effects | Reported earthquakes |      |    |    |    |    |    |                          |      |     |      |
|---------|----------------------|------|----|----|----|----|----|--------------------------|------|-----|------|
|         | Int.                 | Year | Mo | Da | Ho | Mi | Se | Epicentral area          | NMDP | Io  | Mw   |
| 6-7     | 1818                 | 12   | 09 | 18 | 55 |    |    | Parmense                 | 26   | 7   | 5.24 |
| 4       | 1886                 | 10   | 15 | 02 | 20 |    |    | Collecchio               | 44   | 6   | 4.70 |
| 4-5     | 1887                 | 02   | 23 | 05 | 21 | 5  |    | Liguria occidentale      | 1511 | 9   | 6.27 |
| 4       | 1891                 | 06   | 07 | 01 | 06 | 1  |    | Valle d'Illassi          | 403  | 8-9 | 5.87 |
| 2-3     | 1893                 | 10   | 20 | 20 | 15 |    |    | Appennino parmense       | 25   | 4-5 | 4.04 |
| 3-4     | 1895                 | 05   | 12 | 20 | 29 |    |    | Reggiano                 | 13   | 4-5 | 3.98 |
| NF      | 1895                 | 05   | 18 | 19 | 55 | 1  |    | Fiorentino               | 401  | 8   | 5.50 |
| 7       | 1898                 | 03   | 04 | 21 | 05 |    |    | Parmense                 | 313  | 7-8 | 5.37 |
| NF      | 1904                 | 06   | 10 | 11 | 15 | 2  |    | Frignano                 | 101  | 6   | 4.82 |
| NF      | 1911                 | 02   | 19 | 07 | 18 | 3  |    | Forlivese                | 181  | 7   | 5.26 |
| 6       | 1920                 | 09   | 07 | 05 | 55 | 4  |    | Garfagnana               | 750  | 10  | 6.53 |
| NF      | 1921                 | 05   | 07 | 06 | 15 |    |    | Lunigiana                | 19   | 6   | 4.64 |
| 4       | 1921                 | 11   | 29 | 12 | 04 |    |    | Val di Taro              | 10   | 4   | 4.15 |
| 4       | 1929                 | 04   | 19 | 04 | 16 |    |    | Bolognese                | 82   | 6-7 | 5.13 |
| 4       | 1929                 | 04   | 20 | 01 | 10 |    |    | Bolognese                | 109  | 7   | 5.36 |
| 3       | 1930                 | 05   | 24 | 22 | 02 |    |    | Appennino tosco-emiliano | 43   | 5   | 4.91 |
| NF      | 1937                 | 09   | 17 | 12 | 19 | 0  |    | Parmense                 | 34   | 7   | 4.77 |
| F       | 1957                 | 10   | 25 | 23 | 02 | 0  |    | Appennino reggiano       | 79   | 5-6 | 4.27 |
| 4       | 1961                 | 08   | 13 | 22 | 34 | 1  |    | Parmense                 | 22   | 5-6 | 4.37 |
| 3       | 1967                 | 04   | 03 | 16 | 36 | 1  |    | Reggiano                 | 45   | 5   | 4.44 |
| 3-4     | 1967                 | 05   | 15 | 10 | 03 | 3  |    | Appennino reggiano       | 2    | 4   | 4.07 |
| 4-5     | 1970                 | 05   | 03 | 04 | 17 | 4  |    | Parmense                 | 3    | 4   | 4.08 |
| 6-7     | 1971                 | 07   | 15 | 01 | 33 | 2  |    | Parmense                 | 228  | 8   | 5.51 |
| 5       | 1980                 | 12   | 23 | 12 | 01 | 0  |    | Diacentino               | 69   | 6-7 | 4.57 |
| 6       | 1983                 | 11   | 09 | 16 | 29 | 5  |    | Parmense                 | 850  | 6-7 | 5.04 |
| NF      | 1986                 | 12   | 06 | 17 | 07 | 1  |    | Ferrarese                | 604  | 6   | 4.43 |
| 3-4     | 1988                 | 03   | 15 | 12 | 03 | 1  |    | Reggiano                 | 160  | 6   | 4.57 |
| NF      | 1989                 | 10   | 03 | 09 | 41 | 3  |    | Appennino parmense       | 91   | 4   | 4.04 |
| 3       | 1995                 | 10   | 10 | 06 | 54 | 2  |    | Lunigiana                | 341  | 7   | 4.82 |
| 3       | 1995                 | 12   | 31 | 21 | 29 | 4  |    | Appennino reggiano       | 96   | 4-5 | 4.51 |
| 4-5     | 1996                 | 10   | 15 | 09 | 55 | 5  |    | Pianura emiliana         | 135  | 7   | 5.38 |
| NF      | 1996                 | 12   | 16 | 09 | 09 | 5  |    | Pianura emiliana         | 115  | 5-6 | 4.06 |
| NF      | 2000                 | 06   | 18 | 07 | 42 | 0  |    | Pianura emiliana         | 304  | 5-6 | 4.40 |
| NF      | 2002                 | 06   | 19 | 22 | 11 | 1  |    | Frignano                 | 52   | 3   | 4.03 |
| 3       | 2003                 | 09   | 14 | 21 | 42 | 5  |    | Appennino bolognese      | 133  | 6   | 5.24 |
| 6       | 2008                 | 12   | 23 | 15 | 24 | 2  |    | Parmense                 | 291  | 6-7 | 5.36 |

Fig. 8: storia sismica del comune di Lesignano dé Bagni

Tali dati vengono restituiti graficamente nella sottostante figura 9.

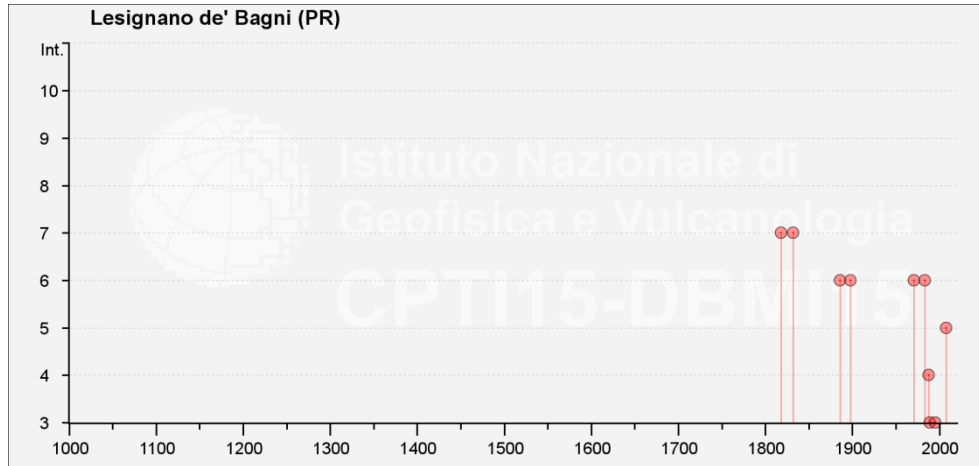


Fig. 9: rappresentazione grafica terremoti Comune di Lesignano de' Bagni

## 6. INDAGINE GEOGNOSTICA

La ricostruzione delle caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti in corrispondenza dell'areale oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E., data la specifica personale conoscenza dell'assetto litostratigrafico locale derivante dalla consultazione delle risultanze di numerose campagne di indagine geognostica eseguite nella zona sotto la direzione del Dott. Geol. Enrico Panicieri e dello scrivente, è stata effettuata avvalendosi di quanto acquisito mediante un'indagine geognostica indiretta finalizzata alla verifica del locale andamento del top e della base del deposito incoerente grossolano e consistita nell'esecuzione di n. 1 sezione di tomografia in resistività elettrica, denominata Linea T1.

Per quanto concerne la definizione delle caratteristiche sismiche sito - specifiche del sito, si è proceduto alla realizzazione di una specifica acquisizione Masw su di uno stendimento sismico avente lunghezza complessiva pari a m 56.0.

### 6.1 Tomografia elettrica di superficie

La sezione, denominata Linea T1, con stendimento a 61 elettrodi, array tipo **Wenner – Schlumberger** e distanza interelettrodica pari a m 1.0, per una lunghezza complessiva pari a m 60.0, è stata eseguita dalla ditta **TECNOGEOFISICA S.n.c.** di Carpi (MO) utilizzando il georesistivimetro **SYSCAL JUNIOR Switch-72** della IRIS Instruments.

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante il codice di calcolo **Res2DINV** (Loke, 2003) che utilizza il Gauss - Newton last - squares method con la tecnica del "Model Refinement" (Loke and Barker, 1996); quanto ottenuto con le elaborazioni di cui sopra è riportato in allegato 4.

La massima profondità di indagine raggiunta è pari a m 10.00÷12.00 circa.

La **Tomografia Elettrica di Superficie** rappresenta un'evoluzione della Tomografia della Resistività Elettrica sviluppata a partire dagli anni 1980 presso il Lawrence Livermore Laboratory (Arizona)

Sebbene la metodologia originale prevedesse il posizionamento di un certo numero di elettrodi lungo la verticale all'interno di una coppia di pozzi, le sperimentazioni sul campo hanno mostrato una buona applicabilità del metodo anche mediante l'esclusivo utilizzo di elettrodi posti lungo una linea in superficie.

La tomografia elettrica di superficie si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche effettuate su un discreto numero di elettrodi posizionati sul terreno; in generale, il numero di misure è di  $n*(n-3)/2$  dove n è il numero di elettrodi utilizzati.

La ricostruzione tomografica viene effettuata mediante l'applicazione del Metodo degli Elementi Finiti (FEM).

Nella ricostruzione tomografica la distribuzione della resistività è l'incognita, mentre le misure elettriche effettuate sul terreno rappresentano i termini noti.

Il problema viene affrontato discretizzando il terreno al disotto degli elettrodi in un numero finito di maglie o celle (elementi finiti, appunto), ciascuna di resistività omogenea e incognita. La forma degli elementi è generalmente quadrata o rettangolare e le dimensioni sono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi (1/2 della spaziatura tra due elettrodi contigui).

I valori di resistività da determinare sono, quindi, quelli che caratterizzano ciascun elemento della maglia. La loro determinazione avviene tramite l'applicazione di un algoritmo iterativo di inversione, che modifica progressivamente il valore della resistività di ciascun elemento (fissato arbitrariamente all'inizio del processo) in modo da minimizzare gli errori tra i potenziali calcolati e quelli misurati agli elettrodi.

Il problema della determinazione della resistività di ciascun elemento non è lineare; è, quindi, possibile che l'errore da minimizzare possieda molti minimi locali e che, definita una soglia di errore nei dati sperimentali, esista di conseguenza più di una soluzione.

Al fine di individuare il minimo assoluto (quello che contiene la soluzione più prossima alla realtà) si utilizzano in genere altre metodologie di indagine, al fine di fissare il campo di variazione della resistività degli elementi finiti.

La conoscenza della stratigrafia di massima del terreno su cui viene effettuata la tomografia elettrica permette di fissare a priori alcune condizioni al contorno.

Da un punto di vista operativo, l'esecuzione della tomografia elettrica di superficie richiede quindi :

- il posizionamento di una serie di elettrodi equidistanti lungo una linea ed il loro cablaggio all'apparecchiatura di controllo, nonché l'esecuzione delle misure secondo un gran numero di combinazioni elettrodiche:
- l'elaborazione al computer dei dati raccolti e di eventuali dati di supporto (stratigrafie...)
- la rappresentazione grafica del modello di inversione.
- l'interpretazione del modello di inversione.

L'interpretazione del modello di resistività, ovvero l'assegnazione di un determinato materiale ad un particolare valore della resistività, produce un modello tanto più reale e preciso quanto maggiore è il numero di informazioni al contorno.

Le modalità esecutive ed interpretative dell'indagine geoelettrica realizzata, l'orientazione della sezione tomografica e gli esiti della prospezione sono descritti nel rapporto tecnico a cura della Ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. restituito in allegato 4.

## **6.2 Acquisizione Masw**

La prova è stata eseguita dalla Ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. di Carpi (MO) utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale della Abem - Seistronix **mod. Ras 24** con 24 canali attivi.

Sono stati impiegati, come ricevitori, 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da un cavo avente lunghezza pari a m 65.0, e, come sorgente impulsiva, una mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere; nel caso specifico, è stato adottato un intervallo fra i geofoni pari a m 2.00 che, con 24 ricevitori, ha consentito di coprire una lunghezza totale pari a 46.0 metri.

La sorgente di energizzazione è stata posta ad una distanza di m 10.0; la lunghezza complessiva dello stendimento sismico è risultata essere, pertanto, pari a m 56.0 (punto di shot compreso).

Le modalità esecutive ed interpretative della prova geofisica realizzata e gli esiti della prospezione sono descritti nell'allegato rapporto tecnico a cura della Ditta TECNOGEOFISICA S.n.c. (Allegato 4).

### **Risultanze elaborazione dati**

L'acquisizione MASW, eseguita sullo stendimento sismico realizzato, ha consentito sia la ricostruzione del modello sismico monodimensionale del sottosuolo attraverso la velocità delle onde superficiali di Rayleigh sia la valutazione del parametro  $V_{s,30}$  al quale è possibile fare riferimento, secondo quanto riportato nel paragrafo A2.1 dell'Allegato A2 della D.G.R. 12 Aprile 2021 n. 476 "Aggiornamento dell' "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)" di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 Aprile 2019 n. 630", per la definizione dei fattori di amplificazione sismica F.A..

| <b>Strato</b>   | <b>Profondità</b> |            | <b>Spessore<br/>m</b> | <b>Velocità<br/>m/sec</b> |
|-----------------|-------------------|------------|-----------------------|---------------------------|
|                 | <b>da m</b>       | <b>a m</b> |                       |                           |
| <b>Strato 1</b> | 0.00              | 0.95       | 0.95                  | <b>145</b>                |
| <b>Strato 2</b> | 0.95              | 3.00       | 2.05                  | <b>300</b>                |
| <b>Strato 3</b> | 3.00              | 7.90       | 4.90                  | <b>490</b>                |
| <b>Strato 4</b> | 7.90              | 20.30      | 12.40                 | <b>450</b>                |
| <b>Strato 5</b> | 20.30             | ≥30.00     | ≥9.70                 | <b>470</b>                |

Valore determinato di  $V_{s,30} = 419$  m/sec

## **7. ASSETTO LITOSTRATIMETRICO**

L'esame delle risultanze dell'indagine eseguita e di dati acquisiti con indagini geognostiche precedentemente svolte, sotto la direzione dello scrivente e del Dott. Geol. Enrico Panicieri, nella zona comprendente l'areale oggetto del presente studio ha consentito la ricostruzione di una litostratimetria locale così schematizzabile:

**Unità Litologica 1** da m 0.00 a m 0.40 circa da piano campagna terreno vegetale;

**Unità Litologica 2** da m 0.40 circa a m 8.00 circa da p.c.:

deposito ghiaioso - ciottoloso poligenico ed eterometrico in matrice limoso - sabbiosa di colore marrone e/o argilloso - limosa, limoso - argillosa e sabbiosa di colore marrone e marrone grigiastro;

**Unità Litologica 3** da m 8.00 a m 12.00 ed oltre da p.c.:

marne argillose ed argille marnose di colore grigio azzurro inglobanti orizzonti calcarei decimetrici.

Nella zona, il livello statico della falda, strettamente correlato alle variazioni idrometriche del T. Parma, presenta una soggiacenza media sempre superiore a m 1.50 circa da p.c..

## **8. MODELLO GEOLOGICO**

L'areale oggetto di studio, dato il suo inserimento nella pianura di fondovalle posta in destra idraulica del Torrente Parma, è caratterizzato da morfologia pianeggiante e da ottime condizioni di stabilità; si segnala, tuttavia, la presenza, al limite settentrionale dell'areale oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E., di una ristretta fascia (ampiezza: m. 3.00÷4.00 circa), originata da interventi antropici di scavo eseguiti in passato, posta a quota inferiore di circa m 1.20÷1.50 rispetto a quella della rimanente parte dello stesso la quale si raccorda alle aree cortilive delle porcilaie esistenti.

La quota media è pari a m. 259.0 s.l.m..

Il corpo idrico principale della zona è rappresentato dal già citato Torrente Parma che scorre, con direzione SSW - NNE, circa 40 metri ad Ovest dell'area oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E. che, secondo quanto cartografato nella Tav. C.1.12 "Tutela ambientale, paesistica e storico - culturale" del P.T.C.P., rientra in "zone di tutela ambientale ed idraulica dei corsi d'acqua"; la consultazione dell'elaborato P2b "Carta delle tutele ambientali, storico - culturali e dei vincoli sovraordinati" del P.S.C. ha consentito di rilevare che la stessa, oltre ad essere inserita in "ambiti di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua integrata con zone di tutela idraulica", appartiene alla perimetrazione relativa a "fasce laterali di 150 metri dai limiti demaniali dei corsi d'acqua sottoposti a vincolo paesaggistico (D.Lgs. 42/2004)".

L'elaborato cartografico Tav. C.1.12 del P.T.C.P. in precedenza citato evidenzia, inoltre, l'inserimento dell'areale oggetto del presente studio in "zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei".

L'idrografia minore della zona è costituita da rari fossi presenti nel versante collinare sovrastante, dal canale irriguo intubato posto nella zona orientale della proprietà e dalle opere idrauliche di urbanizzazione.

Quanto riportato nella Tav. C.4.2 – "Carta del rischio ambientale e dei principali interventi di difesa" del predetto strumento di pianificazione territoriale provinciale mostra che l'areale oggetto di studio è esposto sia a rischio idraulico elevato in quanto inserito in "area urbana a rischio di esondazione" sia a rischio di inquinamento degli acquiferi principali poiché ricompreso in "area di ricarica delle falde acquifere".

A completamento di quanto in precedenza esposto in merito al rischio idraulico si precisa che all'area oggetto di studio viene attribuito, nelle mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvioni del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R. - Direttiva alluvioni 2019, uno "scenario di pericolosità Alluvioni poco frequenti M – P2" riferito al Reticolo Secondario Collinare e Montano.

Si precisa che il reticolo idrografico minore ha originato, nei tempi, alcune criticità nella zona comprendente i terreni in esame in corrispondenza di eventi pluviali estremi.

Secondo quanto riportato nella Cartografia Geologia della Regione Emilia – Romagna, i terreni presenti in corrispondenza dell'area oggetto di istanza di variante urbanistica appartengono al Subsistema di Ravenna e, più in particolare, all'Unità di Modena (Olocene) rappresentata da depositi intravallivi terrazzati litologicamente costituiti da ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso – argillosa discontinua.

La potenza complessiva dei depositi continentali quaternari poggianti sul substrato, rappresentato dal Flysch di M. Sporno - Membro di Calestano, è localmente sempre inferiore a m. 10.00.

L'assetto litostratimetrico locale, ricostruito secondo le modalità in precedenza esposte, può essere così schematizzato:

**Unità Litologica 1** da m 0.00 a m 0.40 circa da piano campagna terreno vegetale;

**Unità Litologica 2** da m 0.40 circa a m 8.00 circa da p.c.:

deposito ghiaioso - ciottoloso poligenico ed eterometrico in matrice limoso - sabbiosa di colore marrone e/o argilloso - limosa, limoso - argillosa e sabbiosa di colore marrone e marrone grigiastro;

**Unità Litologica 3** da m 8.00 a m 12.00 ed oltre da p.c.:

marne argillose ed argille marnose di colore grigio azzurro inglobanti orizzonti calcarei decimetrici.

Nella zona, il livello statico della falda, strettamente correlato alle variazioni idrometriche del T. Parma, presenta una soggiacenza media sempre superiore a m 1.50 circa da p.c..

Dal punto di vista idrogeologico, il sistema acquifero della pianura parmense (Bacino Idrografico della Pianura Padana Parmense) è, secondo il modello concettuale dell'acquifero fino ad oggi adottato a scala regionale e ben rappresentato nella specifica bibliografia, pressoché coincidente con l'intero edificio sedimentario alluvionale, costituito da corpi geologici a granulometria ghiaiosa e sabbiosa di età Quaternaria depositati, nell'area in questione, dai corsi d'acqua appenninici.

Il limite inferiore dell'acquifero è rappresentato dalla superficie di interfaccia acque dolci/acque salate la cui conformazione è controllata dai corrugamenti del substrato marino.

L'edificio si compone di strutture perlopiù nastriformi e lentiformi interdigitate e giustapposte in modo disordinato, allungate in direzione Sud – Nord nel senso della corrente che le ha deposte, prevalentemente costituite da sedimenti di granulometria eterogenea, variabile da termini grossolani ghiaioso – ciottolosi a termini fini limoso – argillosi, tipici di una sedimentazione fluviale rapida e discontinua nello spazio e nel tempo.

Il sistema acquifero si configura come monostrato indifferenziato con falda libera (zona apicale – mediana di conoide) che, verso Nord, diviene compartimentato con falda confinata a partire dalla zona distale di conoide.

L'acquifero dell'alta e media pianura parmense deriva dalla giunzione e sovrapposizione dei conoidi alluvionali dei corsi d'acqua appenninici; i sedimenti alluvionali insistono, perlopiù, su depositi di facies transizionali formati prevalentemente da alternanze di sabbie, limi ed argille cui si intercalano ghiaie e conglomerati.

Nelle aree di alta pianura la ricarica dell'acquifero avviene, essenzialmente, ad opera delle dispersioni di subalveo dei corsi d'acqua e dell'infiltrazione delle piogge efficaci; in tali aree si configurano, pertanto, condizioni di falda libera.

All'altezza della Via Emilia (zona mediana delle conoidi alluvionali) la maggior estensione e continuità areale delle coperture a granulometria fine (limite superiore dell'acquifero) nonché di intercalazioni di livelli argillosi e/o limosi impermeabili o semipermeabili determinano condizioni di acquifero compartimentato con falda in pressione.

Nell'alta pianura possono ritrovarsi anche locali "falde sospese" impostate entro livelli permeabili o semipermeabili arealmente ridotti e discontinui.

Facendo riferimento allo schema proposto ed adottato dalla Regione Emilia Romagna, basato sui concetti di stratigrafia sismica e sequenziale, con definizione di Unità Idrostratigrafiche Sequenziali di diverso rango (UIS), ovvero unità stratigrafiche ad omogenee caratteristiche idrologiche, comprensive di un livello geologico basale, a ridotta permeabilità (aquitard) o pressochè impermeabile (aquiclude), arealmente continue e strettamente connesse alle Sequenze Deposizionali stesse, la zona comprendente l'area in esame è contraddistinta dalla presenza dei depositi del Sintema Emiliano Superiore (Pleistocene) corrispondenti al Gruppo Acquifero A, rappresentati da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale, organizzati in strati lenticolari di spessore variabile, in contatto erosivo e discordante sul substrato marino.

Trattasi del Gruppo acquifero più superficiale rappresentante la primaria fonte di approvvigionamento idrico; esso affiora lungo il margine pedecollinare e presenta potenze variabili.

L'acquifero si configura come un acquifero monofalda libero localizzato in corrispondenza del materasso alluvionale ghiaioso – ciottoloso caratterizzato dall'aver, localmente, uno spessore medio sempre inferiore alla decina di metri e dall'essere limitato alla base dal substrato marnoso e marnoso – argilloso rappresentato dall'Unità Litostratigrafica del Flysch di Monte Sporno, la cui permeabilità, da considerarsi comunque scarsa, è da ricondursi esclusivamente ad eventuali fratturazioni o fessurazioni in essa presenti (permeabilità secondaria).

L'alimentazione del suddetto sistema idrogeologico deriva essenzialmente dal subalveo del T. Parma; non sono, tuttavia, da escludersi limitati apporti dal versante collinare sovrastante.

Per quanto concerne la vulnerabilità è da dirsi che la consultazione della Tav. 6 "Carta degli indirizzi ed individuazione degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, degli scarichi produttivi che recapitano in CIS, delle località che presentano scaricatori di piena e reti fognarie non trattate dalla pubblica depurazione" in scala 1:100.000 del P.P.T.A. (2007) ha consentito di riscontrare sia che all'areale oggetto di studio è da attribuirsi una "vulnerabilità a sensibilità

elevata” sia lo stesso risulta inserito nella perimetrazione relativa ad “aree di ricarica diretta dei gruppi acquiferi C e A - B”.

Quanto cartografato nella Tav. 15 “Le aree di salvaguardia per la tutela delle acque potabili ed emergenze naturali” in scala 1:50.000 del P.P.T.A. (2007) documenta che l’area in esame non appartiene ad alcuna zona di protezione delle acque sotterranee.

## 9. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Ai fini della definizione dei fattori di amplificazione sismica F.A., riferiti, come precisato al paragrafo A2.1 dell’Allegato A2 alla D.G.R. 12 Aprile 2021 n. 476 “*Aggiornamento dell’ Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)*” di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 Aprile 2019 n. 630”, alla categoria di sottosuolo A di cui al D.M. 17.01.2018 “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*” punto 3.2.2, sono state prese a riferimento le risultanze dell’indagine geofisica descritta nel paragrafo 6.

Si precisa che la necessità di valutare i fattori di amplificazione F.A. è correlata all’inserimento dell’areale oggetto di studio nell’ambito di una zona interessata dalla presenza di depositi alluvionali aventi potenza  $\geq$  m. 3.0 (si veda allegato A1 alla succitata Delibera).

L’elaborazione dell’acquisizione Masw eseguita sul sito in esame ha consentito la definizione del diagramma Shear – Wave Velocity (m/s) vs. Depth riportato in allegato 4 e la valutazione del parametro

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

da intendersi come **la velocità equivalente** di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo; nella relazione (1)  $h_i$  e  $V_i$  indicano, nell’ordine, 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 nei primi 30.0 metri di profondità.

Il valore di  $V_{s,30}$  determinato è pari a **419 m/sec**

Per la stima dei F.A. della P.G.A. e dell’intensità spettrale sono state prese in considerazione le tabelle di cui al punto A2.1.2 dell’Allegato A2 alla

D.G.R. 12 Aprile 2021 n. 476 riferite all'ambito Pianura Padana e Costa Adriatica – Margine di tipo A.

In considerazione di uno spessore medio della copertura incoerente grossolana pari a m. 8.00 circa, come desumibile dalle risultanze dell'indagine geofisica, ed utilizzando, quindi, un valore di  $V_{s8,0}$  pari a 338 m/sec, è stato possibile definire i seguenti Fattori di Amplificazione:

- **F.A. per P.G.A.** (accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ ): **1.8**;
- **F.A. SA1 per l'intensità spettrale in accelerazione (con  $0.1s \leq T \leq 0.5s$ ):** **1.8**;
- **F.A. SA2 per l'intensità spettrale in accelerazione (con  $0.4s \leq T \leq 0.8s$ ):** **1.8**;
- **F.A. SA3 per l'intensità spettrale in accelerazione (con  $0.7s \leq T \leq 1.1s$ ):** **1.7**;
- **F.A. SI1 per l'intensità spettrale in velocità (con  $0.1s \leq T \leq 0.5s$ ):** **1.8**;
- **F.A. SI2 per l'intensità spettrale in velocità (con  $0.5s \leq T \leq 1.0s$ ):** **1.7**;

ove per intensità spettrale si intende l'integrale delle ordinate dello spettro di risposta in accelerazione in velocità negli intervalli di periodo indicati.

**Il valore locale di P.G.A.** (accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A), **pari a 0.157 g**, è stato determinato secondo quanto riportato nella D.G.R. n. 2193; nel dettaglio, è stata eseguita una media pesata dei valori di  $a_{refg}$  relativi ai punti della griglia con passo  $0.05^\circ$  più prossimi al sito, considerando la seguente formula

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale:

$p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

$p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

$d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

I punti della succitata griglia regionale sono derivati da quelli della griglia delle mappe interattive della pericolosità sismica dell'I.N.G.V.; i valori di accelerazione massima orizzontale ( $a_{refg}$ ) espressa in frazioni di  $g$  con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno  $T_R = 475$  anni sono stati elaborati da I.N.G.V..

**L'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa sul sito in esame**, con coefficiente di amplificazione stratigrafica F.A. della P.G.A. di 1.8, **risulta essere pari a**  $P.G.A. \times F.A. P.G.A. \times S_T = 0.157 g \times 1.8 \times 1 = \mathbf{0.283 g}$ ; il fattore  $S_T$  utilizzato è da intendersi come coefficiente di amplificazione topografica che, date le caratteristiche morfologiche del sito, deve essere considerato pari a 1 poiché,

secondo quanto riportato nel paragrafo A2.2 dell'Allegato A2 della D.G.R. n. 476 del 12.04.2021, gli effetti topografici possono essere trascurati.

## 10. CONCLUSIONI

Dalla sintesi delle risultanze dello studio effettuato in rapporto alle problematiche geologiche, geomorfologiche, idrologiche, idrostratigrafiche / idrogeologiche e sismiche inerenti l'areale in esame emerge che quest'ultimo non presenta controindicazioni di tipo geologico e sismico all'istanza di inserimento nel R.U.E. comunale per la realizzazione di un'area di parcheggio inghiaata

Sotto il profilo della pericolosità sismica l'area presenta quali potenziali effetti di sito attesi legati alle caratteristiche geologiche, litostratigrafiche ed idrogeologiche del sottosuolo unicamente l'amplificazione stratigrafica in quanto, per quel che concerne la liquefazione, l'assenza nel sottosuolo di litologie potenzialmente suscettibili del fenomeno, ne esclude l'occorrenza.

Le risultanze di indagini geognostiche eseguite, sotto la direzione dello scrivente e del Dott. Geol. Enrico Panicieri, nella zona comprendente l'areale oggetto di richiesta di inserimento nel R.U.E., consentono, inoltre, di escludere fenomeni di addensamento a carico della litozona ghiaioso - ciottolosa in corrispondenza di uno shock sismico considerati i parametri geotecnici che la caratterizzano.

**Il valore locale di P.G.A.** (accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A) risulta essere pari a **0.157 g**; **l'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa sul sito in esame**, considerando un coefficiente di amplificazione stratigrafica F.A. della P.G.A. di 1.8 ed un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1, è stato determinato in **0.283 g**.

Per quanto concerne il rischio idraulico, si precisa che all'area oggetto di studio viene attribuito, nelle mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvioni del P.G.R.A. Distretto Padano della R.E.R. - Direttiva alluvioni 2019, uno "scenario di pericolosità Alluvioni poco frequenti M – P2" riferito al Reticolo Secondario Collinare e Montano; in merito all'analisi di dettaglio dell'interazione idraulica tra il T. Parma e l'area in esame si rimanda allo specifico studio idraulico a firma del Dott. Ing. Caggiati.

Dal punto di vista ambientale, si ribadisce che l'areale in esame ricade in zona con vulnerabilità a sensibilità elevata ed in area di ricarica diretta dei Gruppi Acquiferi C oltre B ed A (Tav. 6 "Carta degli indirizzi ed individuazione degli impianti di

trattamento delle acque reflue urbane, degli scarichi produttivi che recapitano in CIS, delle località che presentano scaricatori di piena e reti fognarie non trattate dalla pubblica depurazione” in scala 1:100.000 del P.P.T.A.) nonché in zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (C.1.12 “Tutela ambientale, paesistica e storico – culturale” del P.T.C.P.); lo stesso, come documentato nell’elaborato P2b “Carta delle tutele ambientali, storico – culturali e dei vincoli sovraordinati” del P.S.C. vigente risulta, inoltre, appartenere alla perimetrazione relativa a “fasce laterali di 150 metri dai limiti demaniali dei corsi d’acqua sottoposti a vincolo paesaggistico (D.Lgs. 42/2004)”.

Si precisa che, così come evidenziato nella Tav. 15 “Le aree di salvaguardia per la tutela delle acque potabili ed emergenze naturali” in scala 1:50.000 del P.P.T.A. (2007), l’area oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E. non appartiene ad alcuna zona di protezione delle acque sotterranee.

Felino, 27 settembre 2021

Il Geologo:

*Dott. Paolo Panicieri*

*Allegati*



**Stralcio C.T.R. Sezione 199160 "Langhirano"**

scala 1:10.000



Areale oggetto di istanza di inserimento nel R.U.E.

**Inquadramento catastale - scala 1:2.000**

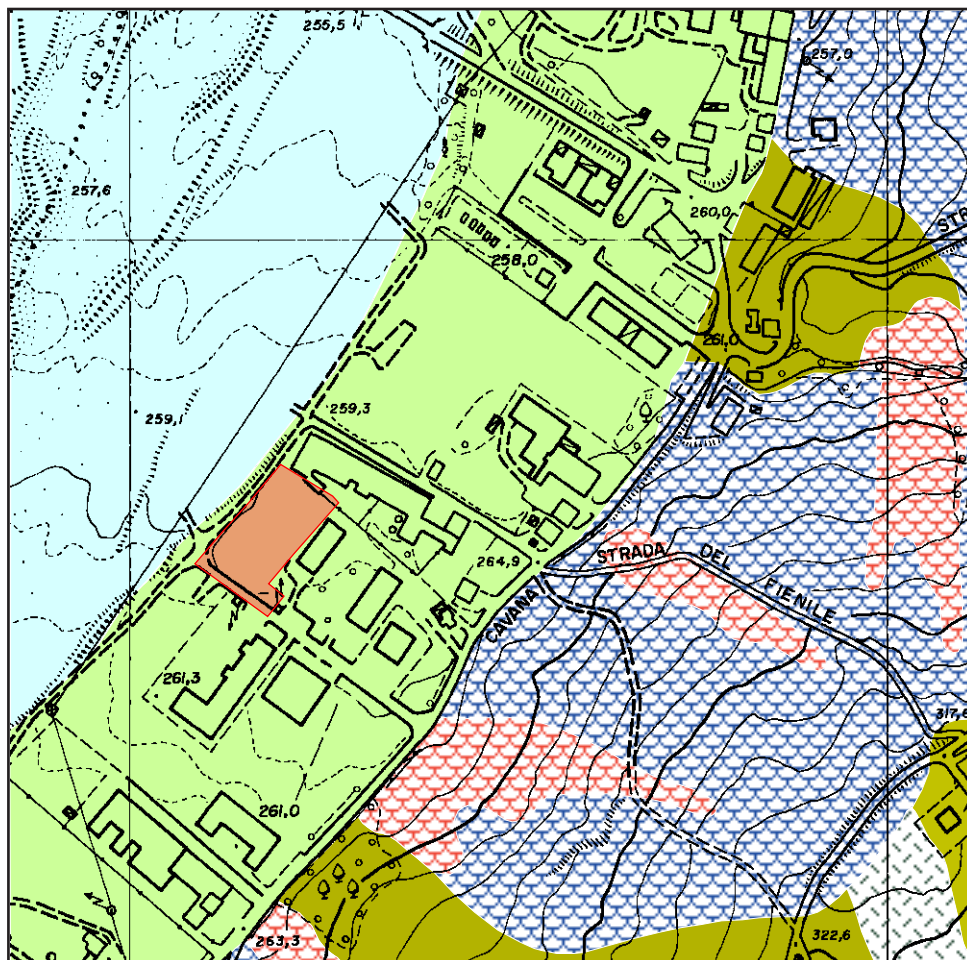


N=-7B300

E=61000

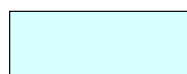
1 Particella: 25

Comune: LESIGNANO DE' BAGNI  
Foglio: 28  
Scala originale: 1:2000  
Dimensione cornice: 534.000 x 378.000 metri  
9-Lug-2019 7:59:42  
Prot. n. T5178/2019

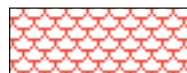


**Inquadramento geologico**

scala 1:5.000



Deposito alluvionale in evoluzione



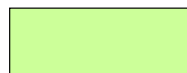
Deposito di frana attiva



Deposito di frana quiescente



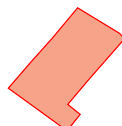
Deposito di versante s.l.



Unità di Modena



Flysch di M. Sporno - Membro di Calestano



Aree oggetto di richiesta di inserimento nel R.U.E.

**Indagine geofisica**

**COMMITTENTE:**

SOCIETA' AGRICOLA SALICETO S.S.

**COMMESSA:**

ESECUZIONE INDAGINI GEOFISICHE INDIRECTE

Indagine geofisica MASW

Tomografia elettrica di Superficie (ERT2D)

**LOCALITA':**

Comune di Lesignano de' Bagni (PR)

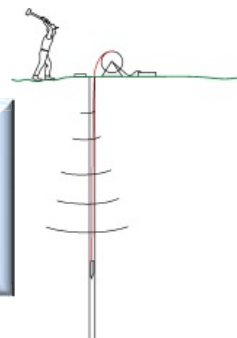
Frazione di Mulazzano Ponte

**DATA:**

Settembre 2021

Via S. Cattania, 1/a  
41012 Carpi (MO)

[info@tecnogeofisica.com](mailto:info@tecnogeofisica.com)  
[www.tecnogeofisica.com](http://www.tecnogeofisica.com)



## INDAGINE GEOFISICA

### Committente:

SOCIETA' AGRICOLA SALICETO S.S.

### Intervento:

Indagine MASW  
Tomografia elettrica di Superficie (ERT2D)

### Località:

Comune di Lesignano de' Bagni (PR)  
Frazione di Mulazzano Ponte

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Premessa.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Indagine MASW.....</b>  | <b>3</b>  |
| Caratteristiche attrezzatura   | 3         |
| Cenni sulla teoria   | 3         |
| Interpretazione dati acquisiti   | 6         |
| Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto $V_{sh}$ o per il caso in esame $V_{S30}$ ) | 8         |
| <b>Il Metodo Geoelettrico Tomografico (ERT) 2D .....</b>   | <b>9</b>  |
| Strumentazione utilizzata  | 9         |
| La tomografia elettrica  | 10        |
| Calcolo della resistività del terreno  | 10        |
| <b>Interpretazione del modello di inversione .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>Osservazioni .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>Allegati Intervento .....</b>   | <b>13</b> |
| Ubicazione indagini  | 13        |
| Scheda Indagine Masw   | 14        |
| Scheda Tomografia elettrica  | 15        |
| Documentazione fotografica   | 16        |

## Premessa

Nel mese di settembre 2021, su commissione di:  
**SOCIETA' AGRICOLA SALICETO S.S.**

*e sotto la direzione del Sott. Geol. Paolo Panicieri*

sono state effettuate:

- una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves)
- una tomografia elettrica di superficie (ERT) 2D

Le indagini sono state svolte in merito allo studio per l'inserimento di un'area nel RUE di Lesignano de' Bagni (PR) (fig.1).

Le prove sono state ubicate come indicato nelle schede allegate a fine testo.

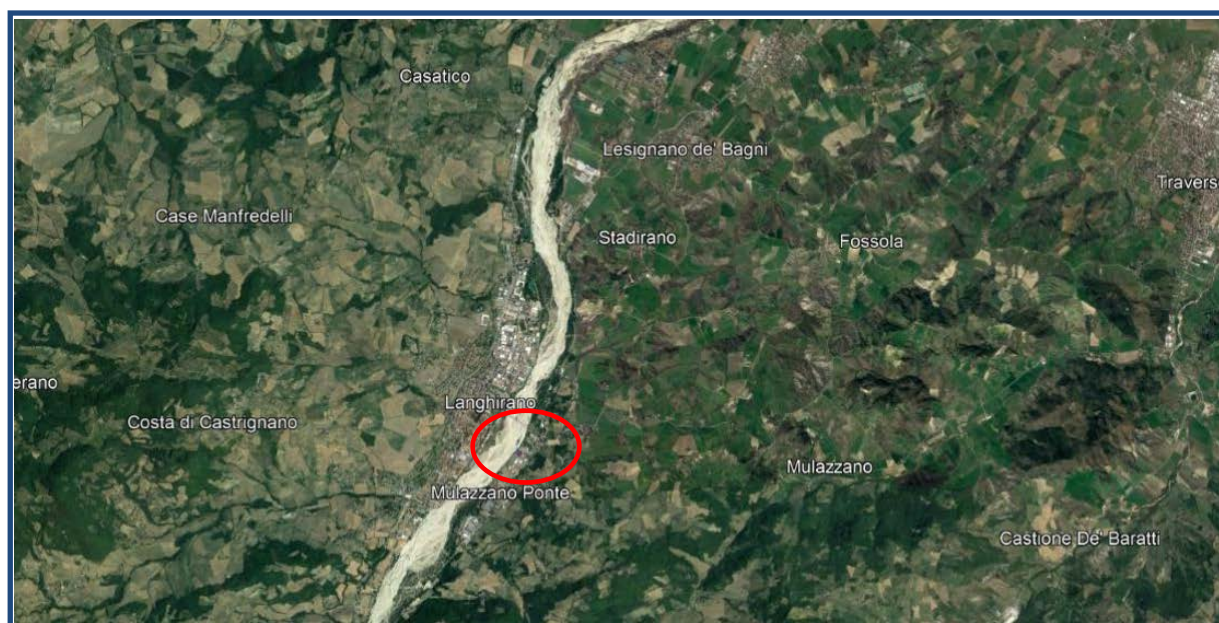


Fig.1 Ubicazione area di indagine

Caratteristiche delle indagini geofisiche eseguite

| Tipologia indagine | Numero geofoni | Interdistanza geofonica m | Lunghezza linea m | Offset m | Lunghezza complessiva Linea m | Ubicazione centro indagine            |
|--------------------|----------------|---------------------------|-------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------------|
| <b>MASW</b>        | 24             | 2,0                       | 46                | 10       | 56                            | Lat. N 44,608877<br>Long. E 10,273552 |

Tomografia elettrica ERT 2D

| Nome      | Num elettrodi | Spaziatura elettrodi m | Lunghezza linea m | Array utilizzato      | Coordinate punto inizio         | Coordinate punto fine           |
|-----------|---------------|------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>T1</b> | 61            | 1,0                    | 60                | Wenner – Schlumberger | Lat 44,609118<br>Long 10,273700 | Lat 44,608573<br>Long 10,273578 |

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche ( $V_s$ ) del sottosuolo e la valutazione del parametro  $V_{s,eq}$  come prescritto da:

- **Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003**
- **D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".**
- **Successiva Circolare Ministeriale n°7 del 21/01/2019 recante Istruzioni per l'applicazione.**

Lo scopo dell'indagine di tomografia elettrica invece è quello di ottenere informazioni rispetto all'assetto stratigrafico - litologico dei terreni nei primi 10/12 m da p.c.

Si ricorda che la normativa (par. 3.2.2 NTC18) richiede l'effetto della risposta sismica locale valutata mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_S$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. dell'NTC18.

All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 3.2.II) è invece convenzionalmente eseguita sulla base delle condizioni stratigrafiche e della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N numero di strati;
- H per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$  ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

| <b>Categoria</b> | <b>Caratteristiche della superficie topografica</b>  |
|------------------|--|
| <b>A</b>         | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.  |
| <b>B</b>         | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.  |
| <b>C</b>         | <i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.    |
| <b>D</b>         | <i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| <b>E</b>         | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.  |

## Indagine MASW

### **Caratteristiche attrezzatura**

L'indagine MASW è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della Abem-Seistronix **mod. Ras 24** con 24 canali attivi (sistema ampliabile sino a 240 canali),

*sismografo (ch 1-24)*

#### **Le specifiche tecniche dello strumento sono:**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| - processore:               | Pentium 200 MMx Intel;   |
| - trattamento dati:         | Floating Point 48-Bit;   |
| - ambiente operativo:       | Windows 7 32 bit;  |
| - display:                  | VGA colori LCD_TFT 15";  |
| - supporto memorizz.:       | Hard Disk;   |
| - risoluzione acquisizione: | 12/48 bit;   |
| - sonde ambiente interne:   | temperatura, umidità relativa;   |
| - formato dati:             | SEG-2 (.dat);  |
| - durata acquisizioni:      | Rifrazione, 32÷4000 ms;  |
| - tempi campionamento:      | da 12 µs a 4 ms;   |
| - filtri digitali:          | Passa alto (25÷400 Hz)<br>Passa Basso (100÷250 Hz)<br>Notch (50÷180 Hz); |
| - attivazione filtri:       | in acquisizione o manualmente;   |
| - trigger:                  | inibizione impulsi dovuti a rimbaldi;                                    |
| - canali:                   | 24/48 (max 240).   |



#### **Altra strumentazione**

- Un cavo con lunghezza 65 m per collegare in serie i geofoni.
- 24 geofoni da 4,5 Hz.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra di battuta in alluminio 15x15 cm, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.
- 

### **Cenni sulla teoria**

L'indagine sismica di tipo MASW consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto ( $V_{s30}$ ). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ( $>2,5-3$ ) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".

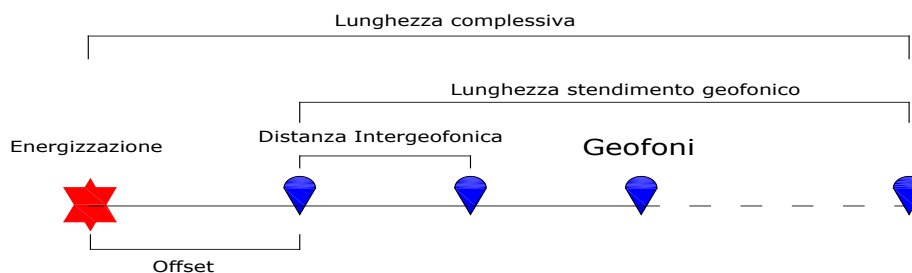


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

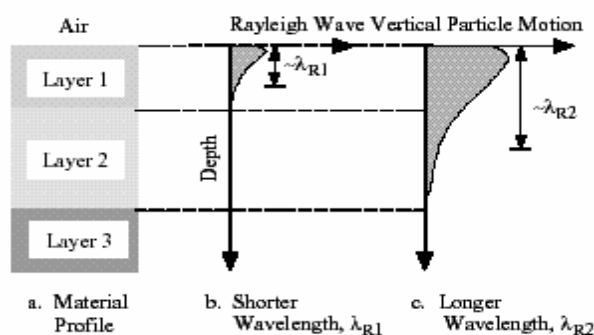
La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la geometria come indicato:

|   |              |
|---|--------------|
| ➤ <b>Numero geofoni</b>                                   | <b>24</b>    |
| ➤ <b>Distanza Intergeofonica</b>                          | <b>2,0 m</b> |
| ➤ <b>Lunghezza stendimento geofonico</b>                  | <b>46 m</b>  |
| ➤ <b>Distanza punto di shot da primo geofono "offset"</b> | <b>10 m</b>  |
| ➤ <b>Lunghezza complessiva</b>                            | <b>56 m</b>  |

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz. Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di simica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato).

Al contrario un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$  e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di investigazione di un'indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della  $V_s$  assegnata ad una determinata profondità  $z$  dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè:

$$z = \frac{\lambda}{1.5/2.0}$$

Dalle tecniche di analisi-interpretazione (analisi spettrale), mediante utilizzo del software (**SWAN**® vers. 2008) in seguito descritta più in dettaglio, dal grafico "Experimental Dispersion Curve" (nel dominio Frequenza-Velocità) è possibile ottenere la lunghezza d'onda delle onde di Rayleigh, caratteristiche dell'indagine eseguita, quindi per il sito in esame risultando una  $\lambda \approx 70$  m, in base alla formulazione sopra indicata se ne può dedurre una profondità di investigazione pari a circa 46/35 m

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi-stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$  (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO).

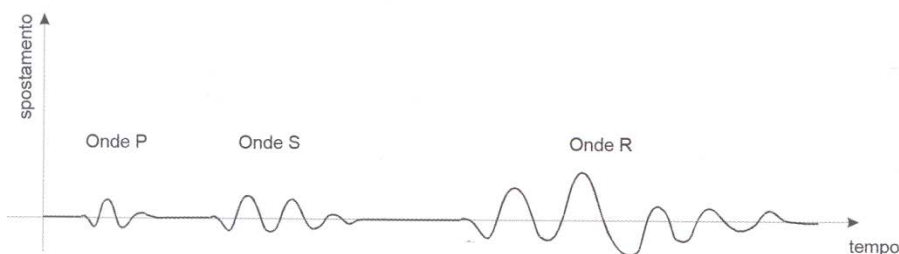


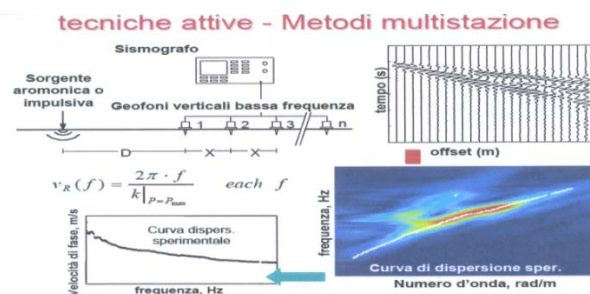
Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di  $V_s$  viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione ( $V_R$  in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato. Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici  $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$ , tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili  $V_s$  / profondità.

## Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW, prendono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

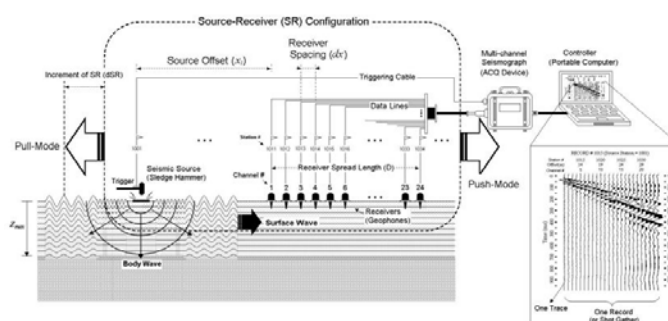
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs, ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito  $\epsilon$  (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere  $< 2-3\%$ . L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione ( $\epsilon_{MIN}$ ) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo

scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e non corretto attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del  $\pm 10\%$ , quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando  $\cdot 0,9$  le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.

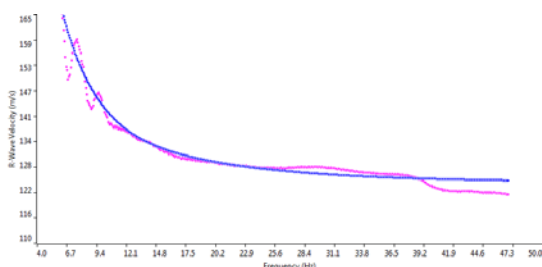


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.  
Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

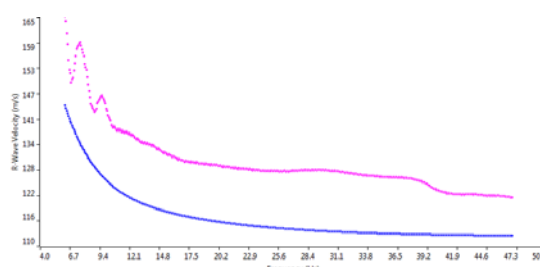


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.  
Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello **NON ACCETTABILE**

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e  $V_{S30} \approx 190$  m/sec (grafico a sinistra) e  $V_{S30} \approx 170$  m/sec (grafico a destra).

### Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto $V_{sh}$ o per il caso in esame $V_{s30}$ )

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da DM 17/01/2018) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.).

i valori della velocità media delle onde di taglio  $V_s$  risultano pertanto:

#### metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

|                                      |                              |                                     |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1° strato: da 0,0 a 0,95 m           | spessore medio 0,95 m        | velocità media onde $V_s$ 145 m/sec |
| 2° strato: da 0,95 a 3,00 m          | spessore medio 2,05 m        | velocità media onde $V_s$ 300 m/sec |
| 3° strato: da 3,00 a 7,90 m          | spessore medio 4,90 m        | velocità media onde $V_s$ 490 m/sec |
| 4° strato: da 7,90 a 20,30 m         | spessore medio 12,40 m       | velocità media onde $V_s$ 450 m/sec |
| 5° strato: da 20,30 a $\geq 30,00$ m | spessore medio $\geq 9,70$ m | velocità media onde $V_s$ 470 m/sec |

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20/03/2003 e art. 3.2.2 DM 17/01/2018), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità  $V_s$  direttamente misurate, consentendo di ottenere la  $V_{s30}$ , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo  
 $V_{s,i}$  = velocità onde S nello stato i-esimo  
 N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW

$V_{s30} = 419$  m/sec (da p.c. a -30 m)

Da cui si presume che, in base alla misura delle onde di taglio  $V_{s30}$ , il terreno corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **B** (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.)

Si ricorda che in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC2018, "Per le fondazioni superficiali, la profondità del calcolo delle  $V_s$  è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

## Il Metodo Geoelettrico Tomografico (ERT) 2D

### Strumentazione utilizzata

Per le indagini è stato utilizzato il georesistivimetro SYSCAL JUNIOR Switch-72 della IRIS Instruments

- Le caratteristiche tecniche dello strumento sono:

#### OUTPUT CURRENT SPECIFICATIONS

- Automatic ranging (microprocessor controlled)
- Intensity: up to 1250 mA
- Voltage: up to 400 V (800 V peak to peak)
- Power: up to 100 W
- Selectable cycle time of 0.25, 0.5, 1, 2, 4 or 8 s
- Current measurement precision: 0,5 % typical

#### INPUT VOLTAGE SPECIFICATIONS

- 2 simultaneous reception channels
- Measuring process: automatic ranging and calibration
- Input impedance : 100 MO
- Input voltage protection up to 1000V, range from -15 V to +15 V
- Power line rejection
- Voltage measurement precision: 0.5 % typical
- Noise reduction: continuous stacking selectable from 1 to 255 stacks
- SP compensation through automatic linear drift correction
- Resistivity accuracy: 0,5 % typical
- Induced polarization (chargeability) measured over 20 predefined windows
- Chargeability accuracy: 1 % of measured value for input voltage higher than 10 mV

#### GENERAL SPECIFICATIONS

- Weight: 13.8 kg
- Dimensions: 31 x 23 x 38 cm
- Weather proof
- Shock resistant fiber-glass case
- Operating temperature: -20 to +70 °C
- LCD display with 4 lines of 20 characters
- Data flash memory : more than 44 800 readings
- USB and serial link RS-232 for data download
- Electrodi
- Possibility of data storage on external SD card with a capacity of 7 000 000 readings (option)
- Power supply: two internal rechargeable 12V 7.2 Ah batteries ; optional external 12V backup car battery for transmitter power
- Autonomy with internal battery: several thousands of readings
- Weight of a 18 takeout multi-core cable on a reel: about 15 kg (for 5m spacing)
- Emergency push button for security

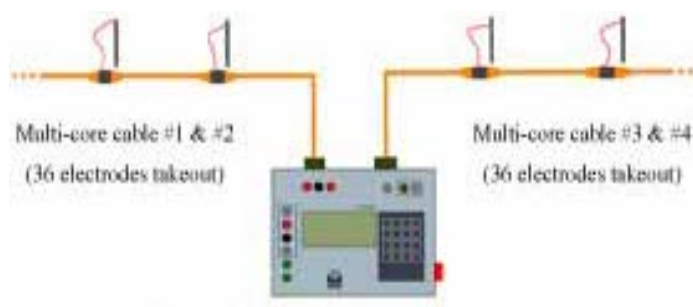
La strumentazione utilizzata per le indagini ERT è dotata di:

- Cavi di connessione multipolari da 24 stack ognuno
- Picchetti in acciaio lunghi 50 cm
- 

**Nel cantiere in oggetto sono state utilizzate tre "catene" da 24 elettrodi ciascuna, per un totale di 61 elettrodi.**



SYSCAL JUNIOR Switch-72



FIELD LAY-OUT di esempio che utilizza 2 catene (cavi) da 36



Esempio generico di disposizione strumentazione in campagna

## La tomografia elettrica

La tomografia in resistività elettrica (ERT), è una tecnica diagnostica che consente di determinare la distribuzione di resistività elettrica nel sottosuolo, a partire da un gran numero di misure di potenziale elettrico, compiute mediante elettrodi posti sulla superficie del terreno.

La restituzione dei dati avviene mediante sezioni o blocchi tridimensionali di resistività (espressa in ohm\*m) con rappresentazione a colori: le tonalità blu-viola in genere rappresentano le porzioni meno resistive (quindi elettricamente più conduttive), quelle rosso-arancio quelle più resistive infine le giallo-verdi quelle intermedie in relazione ai valori massimo e minimo di resistività riportati in legenda.

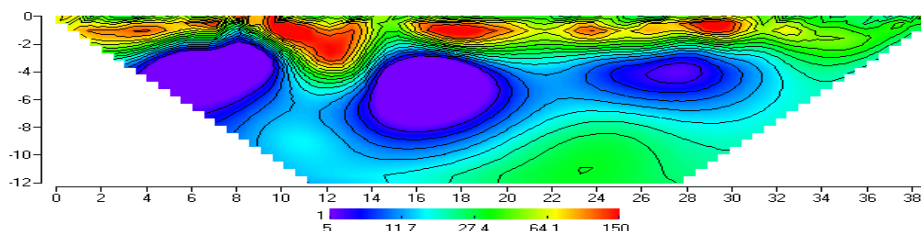


Fig.4 esempio di un elaborato geoelettrico 2D che evidenzia le zone conduttive (colorazione blu-viola) da quelle resistive (colorazione rosso-arancio).

Per quanto riguarda l'interpretazione delle sezioni geoelettriche, in relazione alle litologie e/o saturazione dei terreni presenti nelle aree indagate, è possibile schematicamente ed in generale assumere questa suddivisione:

| Alta resistività (colorazione rosso-arancio)  | Bassa resistività (colorazione blu-viola)   |
|---|---|
| Terreni di riporto asciutti, sabbie e ghiaie, materiali elettricamente isolanti, guaine, condutture o <b>solette in cemento</b> , trovanti, <u>frammenti litoidi</u> , massicciate stradali e ferroviarie, <u>cavità</u> , fluidi resistivi | Terreni limo-argillosi, argille, strutture elettricamente conduttive, masse metalliche, griglie elettrosaldate, cisterne metalliche, serbatoi, binari ferroviari, <b>zone umide</b> , fluidi conduttivi |

Per distinguere un determinato livello, all'interno di una successione litologica che lo include, è necessario che i rapporti di resistività siano relativamente elevati e che il rapporto spessore - profondità del tetto sia  $\geq 0,35$ .

La tomografia elettrica di superficie (ERT.) si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche, effettuate su elevato numero di elettrodi posizionati sul terreno, disposti lungo un profilo. La ricostruzione della sezione tomografica verticale e quindi del profilo di terreno investigato, è effettuata tramite appositi software di elaborazione che utilizzano Metodo degli Elementi Finiti (FEM). Il terreno al di sotto degli elettrodi è così suddiviso idealmente in un numero finito di maglie o celle (i cosiddetti "elementi finiti"), ciascuna "cella" a resistività omogenea ed incognita. La forma degli elementi è generalmente trapezoidale o rettangolare e le loro dimensioni sono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi (generalmente metà della spaziatura tra due elettrodi adiacenti).

La tomografia elettrica di superficie si basa quindi, sull'acquisizione di elevato numero di misure elettriche, effettuate con discreto numero di elettrodi infissi solidalmente nel terreno, lungo un profilo in genere rettilineo.

La determinazione della resistività di ciascuna cella non è lineare, l'errore da minimizzare può presentare molti minimi locali, questo comporta, una volta definita la soglia di errore nei dati sperimentali, la possibilità di ottenere più di una soluzione che soddisfa l'equazione. Allo scopo di ottenere l'errore minimo assoluto (quindi quello che si avvicina maggiormente alla soluzione teorica dell'equazione) si utilizzano metodologie di calcolo in grado di fissare il campo di variazione della resistività degli elementi finiti.

## Calcolo della resistività del terreno

Il calcolo della resistività è apparentemente semplice e può essere risolto con la conoscenza dei seguenti elementi:

- 1) posizione degli elettrodi (2 elettrodi di corrente [c1 e c2] e 2 di potenziale [p1 e p2] in genere interni agli altri 2 o in posizioni differenti a seconda della geometria adottata)
- 2) valore della corrente (I) introdotta e la differenza di potenziale  $\Delta V$  misurata tra gli elettrodi di potenziale.

Quindi la RESISTENZA elettrica (R) che si misura è:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Da questo valore "strumentale" è possibile conoscere la resistività apparente ( $\rho_a$ ) di un determinato strato del sottosuolo, a seconda della disposizione del quadripolo che si è scelto di utilizzare,

$$\rho_a = K \times R = K \times \frac{\Delta V}{I} \quad \text{picchetti.}$$

ove K = dipende dalla disposizione elettrodica dei

Nei sondaggi elettrici 2D o 3D in generale, una particolare attenzione inoltre è da riporre nella ricerca di una buona intensità del segnale, che è in genere inversamente proporzionale a K.

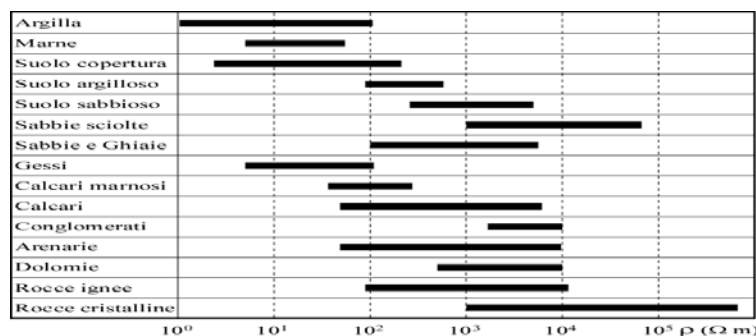


Fig.5: valori indicativi della resistività di alcuni litotipi (Ohm x m)

## Interpretazione del modello di inversione

La distribuzione di resistività apparenti acquisite non può essere considerata rappresentativa delle proprietà elettriche del sottosuolo, perché deriva da una costruzione geometrica ideale. In realtà, la misura della resistività in ogni punto del sottosuolo è influenzata dalla resistività degli altri punti della pseudosezione. Per ricostruire la distribuzione reale della resistività elettrica a partire dalla pseudosezione occorre eseguire l'*inversione* dei dati.

Per l'inversione delle tomografie eseguite è stato utilizzato il software **Res2DINV** (Loke, 2003) che utilizza il Gauss-Newton last-squares method usando la tecnica del "Model Refinement" (Loke and Barker, 1996)

Il software effettua l'inversione completa 2D di profili elettrici di superficie ottenuti, con qualsiasi array di misura:

- Wenner (*alfa - beta - gamma*),
- Wenner - Schlumberger,
- Schlumberger,
- Dipolo-Dipolo,
- Polo-Dipolo,
- quadripolo generico

Utilizza il metodo degli elementi finiti in due dimensioni, per modellizzare la risposta elettrica del sottosuolo.

Gli elementi della maglia discreta sono trapezoidali per permettere la compensazione di qualsiasi tipo di dislivello tra le posizioni elettrodeiche.

La dispersione della corrente nella terza dimensione spaziale (perpendicolare alla sezione di interesse) è tenuta di conto utilizzando le correzioni di Wannamaker.

L'algoritmo iterativo di inversione si basa sulla minimizzazione dell'errore quadratico medio tra i dati di campo ed i dati simulati mediante il F.E.M. (Finite Elements Method), secondo la metodologia proposta da Sasaki (1994).

La convergenza dell'algoritmo è ottenuta con la stima automatica di un parametro di stabilizzazione, eseguita con il metodo dei coefficienti reciproci generalizzati, ripetuta ad ogni iterazione.

La riduzione dell'effetto del rumore presente nei dati è ottenuta con una regressione lineare iterativa (Ward, 1990) che permette di compensare l'impossibilità di conoscere le varianze statistiche di ciascun dato.

Il risultato è l'interpretazione del MODELLO DI INVERSIONE, rappresentato da una sezione di resistività reale ricostruita con precisione (nelle due dimensioni), con possibilità di selezionare le scale di tonalità dei colori per evidenziare in modo ottimale le anomalie elettriche presenti nel terreno.

Nel caso in esame si è scelto di suddividere i valori di resistività che vanno da 5 a 255 Ohm x m in 16 tonalità di colore, dal blu scuro per valori bassi di resistività al rosso per valori alti di resistività con scala logaritmica, partendo da un valore base di 5, con una progressione logaritmica di 1,30 (fig. 6).

|    |          |
|----|----------|
| 1  | 5.0000   |
| 2  | 6.5000   |
| 3  | 8.4500   |
| 4  | 10.9850  |
| 5  | 14.2805  |
| 6  | 18.5646  |
| 7  | 24.1340  |
| 8  | 31.3743  |
| 9  | 40.7865  |
| 10 | 53.0225  |
| 11 | 68.9292  |
| 12 | 89.6080  |
| 13 | 116.4904 |
| 14 | 151.4375 |
| 15 | 196.8687 |
| 16 | 255.9293 |

Fig.6 Valori di resistività apparente utilizzati (in progressione logaritmica)

Nelle schede allegate sono visualizzate le caratteristiche dell'indagine:

- Nome del file,
- tipo di Array utilizzato,
- numero di elettrodi utilizzati,
- spaziatura degli elettrodi lungo la linea
- lunghezza complessiva della linea
- numero di data points misurati lungo la linea
- la sezione del modello di inversione calcolato, con la scala delle profondità in valori aritmetici e con indicazione delle variazioni altimetriche della topografia.

## **Osservazioni**

Le indagini sono state ubicate come indicato dalla direzione lavori, con i limiti e le possibilità operative dovute alla logistica ed ubicazione del sito indagato.

L'elaborazione e la restituzione dei dati elettrici ha evidenziato un primo orizzonte superficiale fino a circa 1 metro al di sotto del piano di esecuzione con valori che variano da 20 a circa 40 Ohm\*m (nella scala cromatica colori dal giallo al verde), al di sotto si localizza un livello resistivo presente fino a 7/8 metri da p.c. con valori di resistività maggiori di 100 Ohm\*m (nella scala cromatica colori dal giallo al rosso scuro).

Alla base si identifica uno strato omogeneo, maggiormente conduttivo con valori non superiori a 20/30 Ohm\*m (nella scala cromatica colori dal ciano al blu scuro).

**TECNOGEOFISICA SNC**

## Allegati Intervento

### Ubicazione indagini

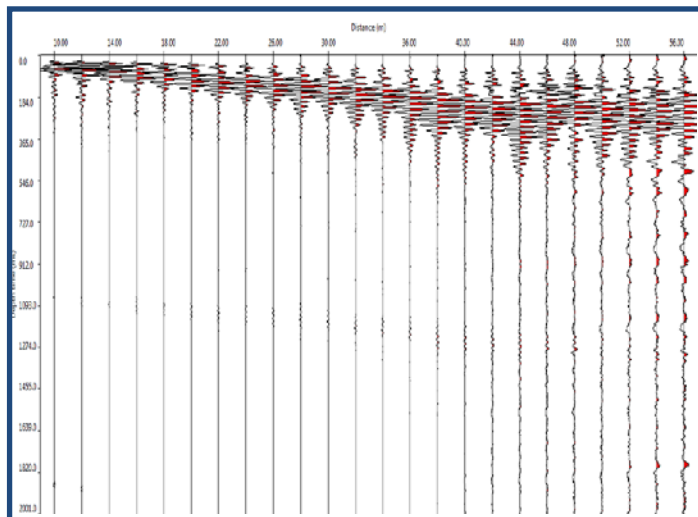


| Tipologia indagine | Numero geofoni | Interdistanza geofonica m | Lunghezza linea m | Offset m | Lunghezza complessiva Linea m | Ubicazione centro indagine            |
|--------------------|----------------|---------------------------|-------------------|----------|-------------------------------|---------------------------------------|
| MASW               | 24             | 2,0                       | 46                | 10       | 56                            | Lat. N 44,608877<br>Long. E 10,273552 |

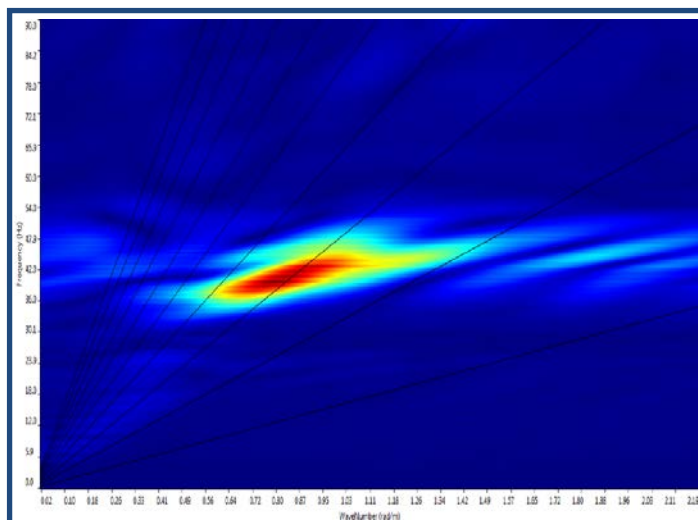
#### Tomografia elettrica ERT 2D

| Nome | Num elettrodi | Spaziatura elettrodi m | Lunghezza linea m | Array utilizzato      | Coordinate punto inizio         | Coordinate punto fine           |
|------|---------------|------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| T1   | 61            | 1,0                    | 60                | Wenner – Schlumberger | Lat 44,609118<br>Long 10,273700 | Lat 44,608573<br>Long 10,273578 |

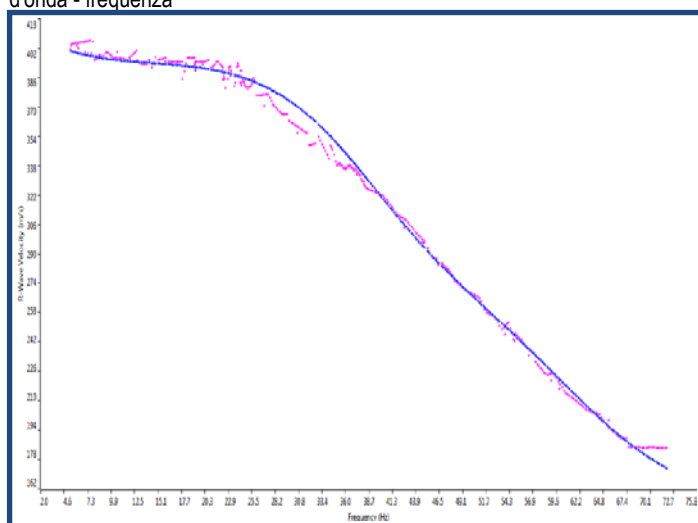
### Scheda Indagine Masw



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

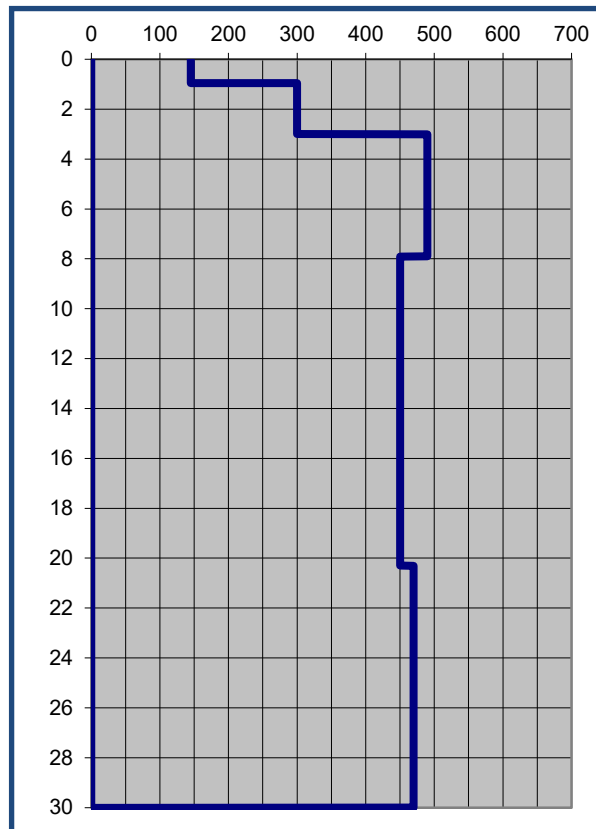


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

#### Risultati Elaborazione MASW

| Strato         | profondità |        | Spessore<br>m | Vel.<br>m/sec |
|----------------|------------|--------|---------------|---------------|
|                | da         | a      |               |               |
| <b>Strato1</b> | 0.00       | 0.95   | 0.95          | <b>145</b>    |
| <b>Strato2</b> | 0.95       | 3.00   | 2.05          | <b>300</b>    |
| <b>Strato3</b> | 3.00       | 7.90   | 4.90          | <b>490</b>    |
| <b>Strato4</b> | 7.90       | 20.30  | 12.40         | <b>450</b>    |
| <b>Strato5</b> | 20.30      | ≥30.00 | ≥9.70         | <b>470</b>    |

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

**Dove:**

**hi** = spessore dello strato i-esimo

**V<sub>si</sub>** = velocità onde S nello stato i-esimo

**N** = numero strati considerati

**V<sub>s30</sub> da p.c. a -30 m = 419 m/sec**

### Scheda Tomografia elettrica

File: **T1**

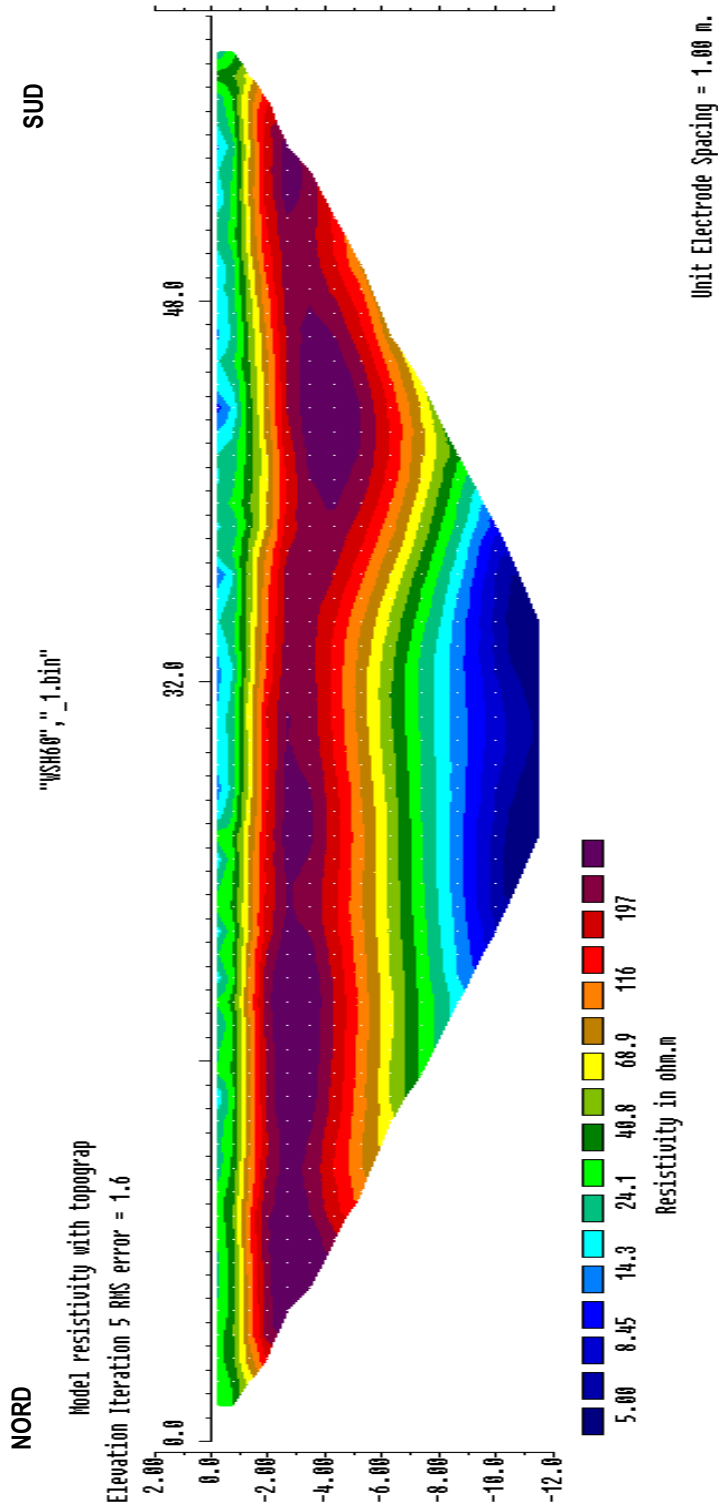
Array: Wenner – schlumberger

Elettrodi: 61

Spaziatura elettrodi: 1,0 m

Lunghezza linea: 60 m

Data points misurati: 1159



Horizontal scale is 21.42 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 0.59  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 60.0 m.

## Documentazione fotografica



Tomografia ERT vista da centro verso nord



MASW vista da nord verso sud