



## *Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione  
nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016

### **DECRETO n. 422 del 19 settembre 2022**

**Studi di approfondimento nel Comune di Castel di Lama (AP) in loc. Piattoni, ai sensi dell'O.C. n. 119/2021. Assegnazione ed erogazione acconto contributo per necessità di ulteriori studi di approfondimento che prevedano l'esecuzione di indagini geofisiche di dettaglio e indagini geognostiche.**

**Il Commissario Straordinario** del Governo per la ricostruzione nei territori dei Comuni delle Regioni di Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria interessati dall'evento sismico del 24 agosto 2016, On. Avv. Giovanni Legnini nominato, ai sensi dell'articolo 38 del decreto legge n. 109 del 28.09.2018, con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri in data 14 febbraio 2020, prorogato con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri in data 29 dicembre 2020, registrato dalla Corte dei conti in data 28 gennaio 2021, al n. 201 e successivamente prorogato per l'anno 2022 con decreto del Presidente del Consiglio dei ministri in data 10 gennaio 2022, registrato alla Corte dei Conti il 1° febbraio 2022 al n. 182;

**Vista** la deliberazione del Consiglio dei Ministri del 25 agosto 2016, recante "*Dichiarazione dello stato di emergenza in conseguenza degli eccezionali eventi sismici che il giorno 24 agosto 2016 hanno colpito il territorio delle Regioni Abruzzo, Lazio, Marche ed Umbria*";

**Visto** il Decreto Legge 17 ottobre 2016, n. 189, recante "*Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016*", convertito con modificazioni dalla Legge 15 dicembre 2016, n. 229, e ss.mm.ii.;

**Visto** l'art. 2, comma 1, lettera e), del Decreto Legge n. 189/2016, in forza del quale il Commissario Straordinario del Governo svolge le funzioni di coordinamento degli interventi di ricostruzione e riparazione di opere pubbliche di cui al titolo II capo I ai sensi dell'art. 14 del medesimo Decreto Legge;

**Vista** la delibera del Consiglio dei Ministri del 27 ottobre 2016, recante l'estensione degli effetti della dichiarazione dello stato di emergenza adottata con la delibera del 25 agosto 2016 in conseguenza degli ulteriori eccezionali eventi sismici che il giorno 26 ottobre 2016 hanno colpito il territorio delle Regioni Lazio, Marche, Umbria e Abruzzo;

**Vista** la delibera del Consiglio dei Ministri del 31 ottobre 2016, recante l'ulteriore estensione degli effetti della dichiarazione dello stato di emergenza adottata con la delibera del 25 agosto 2016 in conseguenza degli ulteriori eccezionali eventi sismici che il giorno 30 ottobre 2016 hanno nuovamente colpito il territorio delle Regioni Lazio, Marche, Umbria e Abruzzo;



## *Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione  
nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016

**Vista** la delibera del Consiglio dei Ministri del 20 gennaio 2017, con la quale sono stati ulteriormente estesi, in conseguenza degli ulteriori eventi sismici che hanno colpito nuovamente i territori delle Regioni Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria in data 18 gennaio 2017, gli effetti dello stato di emergenza dichiarato con la predetta delibera del 25 agosto 2016;

**Visto** l'art. 1, comma 449, della Legge n. 234 del 30 dicembre 2021, con il quale è stato aggiunto il comma 4-sexies all'art. 1 del Decreto Legge 17 ottobre 2016, n. 189, prorogando il termine dello stato di emergenza di cui al comma 4-bis fino al 31 dicembre 2022;

**Visto** l'art. 1, comma 990, della Legge 30 dicembre 2018, n. 145, come modificato, da ultimo, dall'art. 1, comma 450, della citata Legge n. 234 del 2021, con il quale, allo scopo di assicurare il proseguimento e l'accelerazione del processo di ricostruzione, è stato prorogato fino al 31 dicembre 2022 il termine della gestione straordinaria di cui all'art. 1, comma 4, del Decreto Legge 17 ottobre 2016, n. 189;

**Visto**, altresì, l'articolo 2, comma 1, lettera 1-bis), del citato decreto legge n. 189 del 2016, in forza del quale il Commissario Straordinario del Governo promuove l'immediata effettuazione di un piano finalizzato a dotare i Comuni individuati ai sensi dell'articolo 1 della microzonazione sismica di III livello;

**Vista** l'Ordinanza n.24 del 12 maggio 2017 con la quale il Commissario Straordinario ha provveduto all'assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di livello 3 ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016; in attuazione della predetta ordinanza, è stato eseguito il piano di microzonazione sismica di livello 3 per i Comuni interessati dalla sequenza sismica 2016/2017 del Centro Italia;

**Considerato** che i predetti piani di microzonazione sismica sono stati conclusi e validati da parte del Centro per la Microzonazione Sismica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (di seguito Centro MS), che ne ha curato il supporto ed il coordinamento scientifico, in attuazione della Convenzione con il Commissario Straordinario sottoscritta il 17 maggio 2017;

**Preso atto** che:

- gli approfondimenti condotti nell'ambito dell'Ordinanza commissariale n.113/2020 hanno ripermiato l'area PAI su base geomorfologica tenendo conto di tutti gli studi pregressi effettuati sull'area;
- risultano pervenute all'USR Marche delle richieste di delocalizzazione di alcuni immobili residenziali nell'area in esame ricadente nell'area PAI – ID 467;
- gli studi svolti hanno parzialmente chiarito lo scenario naturale di riferimento senza definire in modo numerico le reali condizioni di pericolosità elevata o molto elevata per l'area, senza individuare le eventuali opere di mitigazione necessarie e/o individuare soluzioni alternative;

**Rilevato** che l'area oggetto di studio è identificata come frana ID 467 dell'ex Autorità di Bacino del Tronto, che attualmente a seguito della ripermiazione effettuata con l'Ordinanza commissariale n. 113/2020 è censita nel PAI con pericolosità – P4/R4;



## Presidenza del Consiglio dei Ministri

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione  
nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016

**Vista** l'Ordinanza commissariale n. 107 del 22 agosto 2020 recante “*Linee Guida sui Programmi Straordinari di Ricostruzione, indirizzi per la pianificazione e ulteriori disposizioni di accelerazione della ricostruzione privata*”, in particolare l’art. 9, che dispone la costituzione del “*Fondo per la redazione dei P.S.R. e delle attività di pianificazione*”;

**Visto** l’art. 10 dell’ord. 109, recante “*Interventi di mitigazione del rischio*”, con cui si dispone che in presenza di proposte di delocalizzazione obbligatorie per aree interessate da dissesti idrogeomorfologici, accertati ai sensi delle ordinanze vigenti per la ricostruzione privata, gli USR possono formulare istanza al Commissario Straordinario di realizzazione di interventi pubblici di mitigazione del rischio e/o della pericolosità dell’area, ove tali interventi rendano economicamente più vantaggiosa la ricostruzione in sito rispetto alla delocalizzazione;

**Vista** l’Ordinanza commissariale n. 119 del 13 agosto 2021 recante “*Disciplina degli interventi in aree interessate da faglie attive a capaci e da altri dissesti idrogeomorfologici*”;

**Visto** il decreto commissariale n. 626 del 31 dicembre 2021 - Allegati 1 e 2, avente ad oggetto l’approvazione delle “*Linee guida per l’affidamento e lo svolgimento degli studi di approfondimento delle aree caratterizzate da instabilità e definizione della procedura relativa alla valutazione costi-benefici*”;

### **Visti:**

- la nota acquisita al protocollo della struttura commissariale CGRTS-0012314- A del 17 maggio 2022, con la quale vengono richiesti fondi per studi di approfondimento in loc. Piattoni nel Comune di Castel di Lama (AP) e successivamente integrata con nota acquisita al prot. CGRTS-0014833-A del 15 giugno 2022;
- il disciplinare tecnico prestazionale trasmesso dall’Ufficio Speciale Ricostruzione Marche ed acquisito agli atti della Struttura commissariale con prot. CGRTS-0014833-A- del 15 giugno 2022, con cui si stabiliscono le attività che dovranno essere svolte nell’ambito degli studi di approfondimento in loc. Piattoni nel Comune di Castel di Lama (AP);

**Considerato** che l’Ufficio Speciale Ricostruzione Marche, di concerto con il Servizio tecnico per gli interventi di ricostruzione della Struttura commissariale, ha definito le modalità più adeguate per classificare e definire l’area da studiare ed individuare le opere di mitigazione necessarie ovvero valutare una eventuale delocalizzazione degli immobili, come risultante dal citato disciplinare “*Allegato I*” al presente decreto, quale parte integrante e sostanziale;

**Rilevato che** il disciplinare di cui all’”*Allegato I*” prevede:

- il piano di lavoro, la relativa tempistica, gli studi e le indagini da eseguire, nonché la costituzione di un gruppo di lavoro per il monitoraggio dell’attuazione degli studi di approfondimento;
- il quadro esigenziale dei predetti servizi ascende a € 95.000,00 (euro novantacinquemila/00) compresa I.V.A. e contributi previdenziali;



## *Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione  
nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016

**Dato atto** che gli studi e le indagini in argomento, sono pertinenti ai modelli operativi in uso, considerati congrui per la somma massima di € 95.000,00 (euro novantacinquemila/00) e rientrano nella fattispecie delle attività attuabili, eseguibili e monitorabili in funzione delle vigenti Ordinanze;

**Considerato** che lo strumento normativo di riferimento per consentire gli studi e le indagini di che trattasi è rappresentato dal fondo previsto all'art. 9 dell'Ordinanza n. 107/2020, il quale è dedicato anche alle attività di pianificazione, perimetrazioni e approfondimenti sulle aree di dissesto a pericolosità elevata e molto elevata a valere sui fondi della contabilità speciale di cui all'art. 4, del decreto legge 17 ottobre 2016, n. 189;

**Atteso che** il Comune di Castel di Lama, nell'ambito del censimento dei danni causati dal sisma promosso dal Commissario, ha inserito nella piattaforma di Sose la scheda intervento relativa al dissesto in argomento e che dalla istruttoria condotta dalla Struttura commissariale, come comunicata all'USR Marche con nota commissariale prot. CGRTS n. 19938 del 10.08.2022, lo stesso è risultato *temporaneamente non accoglibile* ritenendo opportuni preventivi ulteriori approfondimenti al fine di dirimere in via definitiva e addivenire ad una valutazione conclusiva degli studi in ordine ai livelli di pericolosità geologica e alla compatibilità con la riedificazione in sito, ai sensi dell'art. 6 dell'ordinanza n. 119/2021;

**Ritenuto**, alla luce di quanto sopra esposto, di assegnare all'Ufficio Speciale Ricostruzione Marche, la somma pari ad € 95.000,00 (euro novantacinquemila/00) compresa I.V.A. e contributi previdenziali mediante, mediante accreditamento sulla contabilità speciale 6044 di cui all'art. 4, comma 4, del Decreto Legge del 17 ottobre 2016, n. 189 intestato al Vice commissario della Regione Marche;

**Ritenuto**, altresì, di provvedere sin dal presente atto di stabilire che venga costituito un gruppo di lavoro individuato da n. 2 componenti del Servizio tecnico per gli interventi di ricostruzione della Struttura Commissariale, n. 1 componente dell'Ufficio Speciale Ricostruzione Marche e n.1 componente del Comune di Castel di Lama e che i componenti del gruppo di lavoro saranno individuati mediante scambio di corrispondenza, previa comunicazione da parte delle rispettive amministrazioni;

**Considerato che** con Decreto commissariale n. 289 del 16 giugno 2022, si è proceduto dell'adozione del Piano Triennale di Prevenzione della Corruzione e Trasparenza 2022-2024, e che tale documento è applicabile a tutti i processi e procedimenti costituenti la missione istituzionale e le funzioni del Commissario straordinario, come previsti dal D.L. 189/2016, nonché a tutte le funzioni di supporto interno gestite dalla Struttura commissariale;

**Preso atto** che, in seguito all'adozione del Piano Triennale di Prevenzione della Corruzione e Trasparenza 2022-2024, non sussistono conflitti d'interesse all'adozione del presente provvedimento ai sensi dell'art. 6 del D.P.R. n. 62/2013”;



## *Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione  
nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016

**Visto** il parere rilasciato dal competente funzionario del Servizio affari generali, personale, risorse e contabilità attestante la copertura finanziaria della spesa prevista nel presente atto;

**Tutto ciò premesso**

### **D E C R E T A**

1. che le premesse formano parte integrante e sostanziale del presente atto;
2. **di assegnare** a favore dell'Ufficio Speciale Ricostruzione Marche - (CF.93151650426), per le attività di approfondimento e la determinazione delle condizioni di stabilità della loc. Piattoni nel Comune di Castel di Lama (AP) secondo la metodologia, le modalità, la tipologia di indagini e gli studi da svolgere, come meglio individuati nel disciplinare tecnico prestazionale, Allegato "1" al presente decreto, quale parte integrante e sostanziale, l'importo complessivo massimo di € **95.000,00** (*novantacinquemila/00*) compreso I.V.A. e contributi previdenziali;
3. di stabilire che le risorse assegnate saranno erogate secondo le seguenti modalità:
  - a. il 70% al momento dell'assegnazione;
  - b. il restante 30% ad avvenuta rendicontazione della spesa;
4. di disporre, conseguentemente, il trasferimento della somma di € **66.500,00** (*sessantaseimilacinquecento/00*), a favore dell'Ufficio Speciale Ricostruzione Marche (CF.93151650426), in attuazione all'ordinanza commissariale n. 107/2020, mediante accreditamento sulla contabilità speciale n. 6044 intestata al Vice Commissario - V.C. PRES.REG. Marche ai sensi dell'art. 4, comma 4, del decreto legge n. 189/2016;
5. di imputare la relativa spesa sulla contabilità speciale intestata al Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione di cui all'art. 4, comma 3, del decreto legge 17 ottobre 2016, n. 189, intestata a "COM.STR.GOV SISMA 24 AG02016" n. 6035;
6. di individuare un Gruppo di lavoro composto da 2 componenti del Servizio Tecnico per gli Interventi di Ricostruzione, 1 componente del Comune di Castel di Lama e 1 componente dell'Ufficio Speciale Ricostruzione Marche al fine di monitorare l'attuazione degli studi di approfondimento in argomento disponendo, altresì, che la designazione avvenga con scambio di corrispondenza tra le amministrazioni coinvolte;
7. di trasmettere il presente provvedimento all'Ufficio Speciale Ricostruzione Marche e per conoscenza al Comune di Castel di Lama (AP), per il seguito di competenza;



*Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione  
nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016

8. di disporre la pubblicazione del presente decreto, ai sensi degli articoli 26 e 27 del Decreto Legislativo 14 marzo 2013, n. 33 e s.m.i., sul sito istituzionale del Commissario Straordinario ai fini della Ricostruzione nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 26 agosto 2016, nella sezione Amministrazione trasparente.

Il funzionario Istruttore  
*Dott. Geol. Gianni Scaella*

Il Dirigente del Servizio tecnico  
per gli interventi di ricostruzione  
*Dott. Ing. Francesca Pazzaglia*

Il Dirigente del Servizio Affari generali,  
personale, risorse e contabilità  
*Dott.ssa Deborah Girdali*

Il Commissario straordinario  
*On. Avv. Giovanni Legnini*



Presidenza del Consiglio dei Ministri

COMMISSARIO STRAORDINARIO DEL GOVERNO AI FINI DELLA RICOSTRUZIONE NEI TERRITORI  
INTERESSATI DAGLI EVENTI SISMICI VERIFICATISI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016

**ATTESTAZIONE DI COPERTURA FINANZIARIA SUI DECRETI/DETERMINE  
COMMISSARIALI**

**Studi di approfondimento nel Comune di Castel di Lama (AP) in loc. Piattoni,  
ai sensi dell'O.C. n. 119/2021. Assegnazione ed erogazione acconto contributo  
per necessità di ulteriori studi di approfondimento che prevedano  
l'esecuzione di indagini geofisiche di dettaglio e indagini geognostiche.**

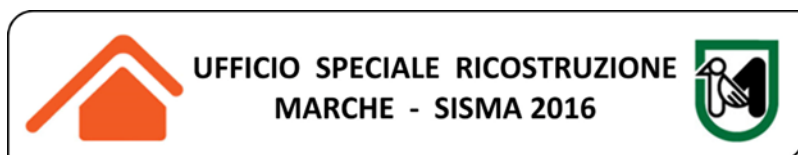
Esercizio	Norma di finanziamento	Importo complessivo previsto	Tipologia spesa	Tetto di spesa	Risorse già utilizzate	Somme disponibili	Utilizzato con il presente decreto	Disponibilità residua
2022	OCR_107	5.000.000,00 €	Programmi Straordinari di Ricostruzione	5.000.000,00 €	1.342.051,20 €	3.657.948,80 €	66.500,00 €	3.591.448,80 €

Data 19/09/2022

Il funzionario incaricato del Settore Contabilità

Rag. Emilio Desideri

 Firmato digitalmente da:  
DESIDERI EMILIO  
Firmato il 19/09/2022 11:41  
Seriale Certificato: 309591  
Valido dal 09/04/2021 al 09/04/2024  
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

**(Allegato 1)****Disciplinare tecnico prestazionale**

Al fine di raggiungere l'obiettivo e determinare le reali condizioni di stabilità dell'area sita in Comune di Castel di Lama (AP) in loc. Piattoni, viene individuato il protocollo operativo che condurrà tutti i soggetti coinvolti (Struttura Commissariale, Usr e Comune) alla soluzione del problema e dare così risposte alle popolazioni.

Le fasi attuative del programma si svilupperanno secondo la seguente sequenza:

1. Reperimento ed analisi degli studi esistenti per l'area oggetto di studio;
2. Reperimento di tutte le indagini effettuate nell'area;
3. Utilizzo degli studi geotecnici e fisico-meccanici di indagini già eseguite nell'area;
4. Utilizzo di tutti gli studi di approfondimento relativamente all'Ordinanza n° 79/2019;
5. Analisi multitemporale su immagini aeree analogiche fino al 2000 ed interferometriche satellitari fino al 2020;
6. Caratterizzazione idrologica dell'area, dati pluviometrici e relazioni con le cause di innesco del fenomeno franoso, presenza o meno di falda acquifera;
7. Rilievi topografici di dettaglio anche tramite drone con sistemi di rilevamento laser-scanner e restituzione nuvola di punti qualora necessari e comunque il rilievo di dettaglio e georeferenziato dei punti di acquisizione delle indagini;
8. Indagini dirette ed indirette (se necessarie) in numero adeguato a creare una maglia di riferimento per le successive analisi e modellazioni numeriche 2D – 3D della stabilità del pendio (trasformazione del sistema fisico in rappresentazione matematica del contesto dell'area in frana);

9. Poiché per aree edificate è necessario dare risposte alle popolazioni con sufficienti livelli di sicurezza e inoltre essendo una situazione particolarmente complessa risulta pertanto necessario l'utilizzo di metodologie di analisi e modellazioni numeriche di stabilità del pendio con modello 2D – 3D agli elementi finiti e/o distinti anche per avere le valutazioni di stabilità dell'area in funzione del tempo di vita delle costruzioni che ivi si trovano;
10. Relazione tecnica che illustri, con adeguata valutazione, i risultati delle modellazioni in funzione della stabilità generale dell'area e/o per settori di versante; tali valutazioni consentiranno di definire le attuali condizioni di stabilità dell'intera area e le possibili evoluzioni delle diverse zone del versante;
11. Nell'ipotesi che l'area sia in frana (in relazione all'edificato) si dovranno necessariamente identificare i fattori geologici, geomorfologici, idrogeologici, climatici e vegetazionali, antropici e sismici, le caratteristiche del dissesto e le cause di innesco, censire e quantificare gli elementi visibili in superficie quantificare i volumi coinvolti, le dimensioni dell'area interessata e la profondità;
12. Dato che l'area ha subito una ripermimetrazione a seguito dell'Ord. 113/2020 su base geomorfologica tenendo conto delle conoscenze acquisite con i rilievi e considerate le richieste di delocalizzazione e le controversie che possono sorgere a seguito di quel nuovo limite è necessario stabilire con esattezza i limiti dell'area in frana nella zona di testata individuandone l'esatta corona di frana;
13. Parametrizzazione costi-benefici ante e post ipotesi di delocalizzazione qualora si fosse in presenza di fenomeno franoso a pericolosità elevata con possibile evoluzione a molto elevata e assenza di possibilità di mitigazione;
14. Ipotesi di interventi di stabilizzazione e sue verifiche con modellazioni numeriche, se possibile la loro realizzazione con i relativi costi; si stabilisca inoltre la durata e l'efficacia degli interventi motivandone le scelte attestando la compatibilità con la ricostruzione;
15. Identifichi ed espliciti le eventuali fasce di rispetto e distanze di sicurezza a cui il Comune si deve attenere nella pianificazione urbanistica;
16. Indicazioni sulle fasi attuative successive allo studio;

17. Ai sensi dell'art. 6 dell'ord. 119/2021 "Obbligo di valutazione conclusiva degli studi sulle pericolosità geologiche e fragilità territoriali" la relazione tecnica dovrà contenere le valutazioni conclusive riguardo alla zona: riedificabile, non riedificabile, riedificabilità condizionata.

Le fasi temporali di attuazione e di studio vengono monitorate tramite un Gruppo di Lavoro funzionale avente la seguente costituzione:

- n° 2 componenti della Struttura Commissariale;
- n° 1 componente del Comune;
- n° 1 componente USR Marche;

• **IMPORTI STIMATI PER GLI STUDI E LAVORI**

Incarico Specialistico per lo studio e l'analisi dell'area in frana comprendente anche l'eventuale modifica della perimetrazione	<b>35.500 € con modello 2D/3D al lordo di tutti gli altri oneri</b>
Lavori specialistici di indagini geofisiche	<b>59.500 € al lordo di tutti gli altri oneri</b>

• **DISCIPLINARE TECNICO**

• **INCARICO SPECIALISTICO PER LO STUDIO E L'ANALISI DELL'AREA IN FRANA**

• **Requisiti per l'incarico professionale**

- Lo specialista da incaricare deve avere comprovata esperienza nel campo delle analisi numeriche in ambito geotecnico per la modellazione di problemi di interazione terreno-struttura.
- In particolare, è richiesta nello specifico la conoscenza e la pratica della modellazione ad elementi finiti o alle differenze finite di problemi di stabilità di pendii su terra e roccia, studio del meccanismo di rottura e dell'evoluzione cinematica delle frane attive, mitigazione della pericolosità, valutazione delle condizioni di rischio indotte da situazioni di potenziale instabilità in campo geomeccanico, analisi degli effetti dovuti ad interventi di stabilizzazione e

progettazione degli stessi. Analisi e valutazione delle condizioni di innesco delle frane sismoindotte e quelle per dissesto idrogeologico. Condizione imprescindibile è la conoscenza e pratica professionale (nel decennio 2011 – 2020) delle modellazioni numeriche agli elementi finiti o differenze finite.

Lo specialista incaricato nella configurazione del modello dovrà descrivere compiutamente i modelli geologici (di cui al punto 11 di pag. 2), eventualmente avvalendosi di soggetti dotati delle specifiche competenze.

- Il tecnico incaricato degli studi, congiuntamente con il referente della ditta per i lavori dopo la verifica con sopralluogo in sito nella quale stabiliranno il Piano delle indagini necessarie e sufficienti da eseguire per rispondere ai quesiti richiesti e dovranno concordare le indagini scelte con il gruppo di lavoro e da quel momento potranno partire i lavori. Le elaborazioni dovranno essere restituite su supporto informatico nei formati pdf e in formato odt e gis con georeferenziazione wgs84 e EPSG32633.

## **INCARICO SPECIALISTICO PER L'ANALISI DEL PERIMETRO DELL'AREA PAI**

### **Requisiti per l'incarico professionale**

Il tecnico geologo incaricato deve avere comprovata esperienza sulle aree PAI e deve aver svolto nel quindicennio 2006-2020 almeno 2 servizi di valore compreso tra 0.40 e 0.80 volte dell'importo previsto nel presente incarico (linee guida del Codice degli appalti n. 1 requisito di partecipazione 2.2.2.1 lettera c) per studi di compatibilità geologico/geomorfologica che debbono risultare presentati nei rispettivi PAI regionali e/o all'Autorità di Distretto. Le elaborazioni dovranno essere restituite su supporto informatico nei formati pdf e in formato odt e gis con georeferenziazione wgs84 e EPSG32633.

## **LAVORI SPECIALISTICI DI INDAGINI GEOFISICHE**

### **SPECIFICHE TECNICHE PER LO SVOLGIMENTO DEI LAVORI AFFERENTI LE INDAGINI SUL CAMPO**

#### **INDAGINI DIRETTE E INDIRECTE (Disciplinare tecnico prestazionale 2)**

La tipologia di indagini da adottare tra quelle sotto elencate sarà a cura dello specialista incaricato per lo studio e l'analisi dell'area in frana che, sentito il titolare

della ditta esecutrice delle indagini, produrrà un allegato tecnico sintetico contenente le motivazioni delle scelte che dovranno essere presentate al Gruppo di Lavoro per l'approvazione.

1. Prospezione sismica a rifrazione ad onde di compressione (Onde P) (OS20B)  
**Elaborazione tomografica dei dati**
2. Prospezione sismica a rifrazione ad onde di taglio (ONDE SH) (OS20B)  
**Elaborazione tomografica dei dati**
3. Analisi della attenuazione anelastica e determinazione del fattore di qualità da onde di volume (OS20B)  
**Elaborazione tomografica dei dati**
4. Prospezione sismica a riflessione ad onde di compressione (Onde P) (OS20B)
5. Prospezione sismica a riflessione ad onde di taglio (SH) (OS20B)
6. Prospezione sismica attiva per onde superficiali tipo MASW (OS20B)
7. Prospezione sismica passive per onde superficiali (ESAC) (OS20B)
8. Indagine sismica a stazione singola (tecnica HVSR) (OS20B)
9. Indagini Geoelettriche - Tomografia elettrica (ERT) (OS20B)  
Tomografia elettrica 2D / Tomografia elettrica 3D
10. Sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione con indagine sismica down hole (OS20B)
11. Letture inclinometriche (OS20B)
12. Rilievo integrato SAPR/Laser Scanner/GNSS (OS20A)

Le elaborazioni dovranno essere restituite su supporto informatico nei formati pdf e in formato odt e gis con georeferenziazione wgs84 e EPSG32633.

### **Requisiti dell'incarico per l'esecuzione dei lavori:**

Gli operatori economici possono partecipare agli appalti di lavori pubblici di importo pari o inferiore a 150.000 qualora in possesso dei seguenti requisiti di ordine tecnico-organizzativo:

- a) Importo dei lavori analoghi eseguiti direttamente nel quinquennio antecedente la data di pubblicazione del bando non inferiore all'importo del contratto da stipulare;

- b) costo complessivo sostenuto per il personale dipendente non inferiore al quindici per cento dell'importo dei lavori eseguiti nel quinquennio antecedente la data di pubblicazione del bando;
- c) adeguata attrezzatura tecnica. Nel caso di imprese già in possesso dell'attestazione SOA relativa ai lavori da eseguire, non è richiesta ulteriore dimostrazione circa il possesso dei requisiti;
- d) I requisiti, previsti dal bando di gara, dall'avviso di gara o dalla lettera di invito, sono determinati e documentati secondo quanto previsto dal presente titolo, e dichiarati in sede di domanda di partecipazione o di offerta con le modalità di cui al decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445; la loro sussistenza sono accertate dalla stazione appaltante secondo le disposizioni vigenti in materia.



## Sommario Lavori Specialistici di Indagini Geofisiche

<u>1. INDAGINI DIRETTE E INDIRECTE</u> .....	1
<u>1.1 PIANO DELLE INDAGINI</u> .....	1
<u>1.2 ALLESTIMENTO DEL CANTIERE</u> .....	1
<u>1.3 ARCHIVIAZIONE DEI RISULTATI</u> .....	1
<u>2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P) - <i>Elaborazione tomografica dei dati</i></u> .....	1
<u>2.1 Generalità</u> .....	1
<u>2.1.1 Standard di riferimento e bibliografia</u> .....	1
<u>2.2 Attrezzature in dotazione</u> .....	1
<u>2.3 Modalita' di esecuzione della prova</u> .....	2
<u>2.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA</u> .....	2
<u>3. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE AD ONDE DI TAGLIO (ONDE SH) - <i>Elaborazione tomografica dei dati</i></u> .....	3
<u>3.1 Generalità</u> .....	3
<u>3.1.1 Standard di riferimento e bibliografia</u> .....	4
<u>3.2 Attrezzature in dotazione</u> .....	4
<u>3.3 Modalita' di esecuzione della prova</u> .....	4
<u>3.4 Elaborazione dati e restituzione dei report di prova</u> .....	5
<u>4. <i>Analisi della attenuazione anelastica e determinazione del fattore di qualità da onde di volume - Elaborazione tomografica dei dati</i></u> .....	5
<u>4.1 Generalità</u> .....	5
<u>4.2 Elaborazione tomografica dei dati</u> .....	6
<u>4.3 Elaborazione dei dati e restituzione dei report di prova</u> .....	6
<u>5. PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P)</u> .....	6
<u>5.1 Generalità</u> .....	6
<u>5.1.1 Standard di riferimento e bibliografia</u> .....	7
<u>5.2 Caratteristiche delle attrezzature in dotazione</u> .....	7



5.3 Modalita' di esecuzione della prova.....	7
5.4 Elaborazione dati e restituzione dei report di prova.....	8
6. PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE AD ONDE DI TAGLIO (ONDE SH).....	8
6.1 GENERALITÀ.....	8
6.1.1 Standard di riferimento e bibliografia.....	9
6.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE .....	9
6.3 Modalita' di esecuzione della prova.....	9
6.4 Elaborazione dati e restituzione dei report di prova.....	9
7. PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA PER ONDE SUPERFICIALI TIPO MASW.....	10
7.1 GENERALITÀ.....	10
7.1.1 Standard di riferimento e bibliografia.....	10
7.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE .....	10
7.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA .....	11
7.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA .....	11
8. PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA PER ONDE SUPERFICIALI (ESAC).....	13
8.1 GENERALITÀ.....	13
8.1.1 Standard di riferimento e bibliografia.....	13
8.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE .....	13
8.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA .....	14
8.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA .....	14
9. INDAGINE PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (tecnica HVSR).....	15
9.1 GENERALITÀ.....	15
9.1.1 Standard di riferimento e bibliografia.....	15
9.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE .....	16
9.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA .....	16
9.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA .....	16
10. INDAGINI GEOLETTRICHE - TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D/3D(ERT).....	17
10.1 GENERALITÀ.....	17



*Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Il Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione nei territori interessati dagli eventi  
sismici verificatesi a far data dal 24 Agosto 2016  
Servizio tecnico per gli interventi di ricostruzione

---

<u>10.1.1 Standard di riferimento e bibliografia</u> .....	18
<u>10.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE</u> .....	18
<u>10.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA</u> .....	18
<u>10.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA</u> .....	19
<u>11. Sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione con indagine sismica down hole</u> .....	20
<u>11.1 Prove penetrometriche standard (S.P.T.)</u> .....	21
<u>11.2 Installazione dei piezometri</u> .....	21
<u>11.2.1 Misure</u> .....	21
<u>11.3 Installazione dei tubi spia</u> .....	22
<u>11.3.1 Misure</u> .....	22
<u>11.4 Installazione dei tubi in pvc per sismica in foro</u> .....	22
<u>11.5 Analisi e prove di laboratorio</u> .....	23
<u>11.5.1 Caratteristiche fisiche generali</u> .....	23
<u>11.5.2 Limiti di Atterberg</u> .....	24
<u>11.5.3 Prova di compressione semplice</u> .....	24
<u>11.5.4 Prova di rottura per taglio diretto</u> .....	24
<u>11.5.5 Prove triassiali</u> .....	24
<u>11.6 Prospezioni sismiche in foro</u> .....	24



## **1. Indagini dirette e indirette**

### **1.1 PIANO DELLE INDAGINI**

In funzione degli obiettivi del progetto, della complessità geologica del sito e dal materiale ancillare a disposizione relativamente all'area di studio, dovrà essere predisposto un piano di indagine atto a definire in modo chiaro e statisticamente valido il modello geologico e sismo stratigrafico dell'area. Il piano delle indagini dovrà altresì prevedere un ordine gerarchico delle varie indagini da eseguire, ipotizzando dapprima un approccio di tipo areale - esplorativo e conseguentemente una esplorazione più localizzata e circoscritta. In linea di massima il piano delle indagini deve essere predisposto in modo da ottimizzare le risorse in termini di costo e tempo di esecuzione evitando ridondanze di informazioni ma allo stesso tempo garantendo una copertura spaziale (volumi da indagare) esaustiva. Il piano sarà approvato dal Gruppo di Lavoro

### **1.2 ALLESTIMENTO DEL CANTIERE**

Sono a carico della ditta tutte le operazioni di allestimento, condizionamento e gestione dell'area di indagine secondo le normative vigenti in materia di lavori e sicurezza dei luoghi di lavoro; la ditta assume la completa responsabilità nell'esecuzione di tali operazioni e resta inoltre responsabile della conservazione di idonee condizioni di lavoro secondo i dettami normativi. L'allestimento avverrà congruamente alla situazione ambientale ed ai condizionamenti esistenti constatati precedentemente da sopralluogo e dall'esame delle mappe dei sottoservizi presenti nel sottosuolo, tenendo in considerazione primariamente le condizioni di sicurezza, la preservazione dell'integrità delle infrastrutture eventualmente presenti e, quindi, le esigenze del piano di indagine. Sarà a carico della ditta affidataria l'onere di produrre il Piano Operativo di Sicurezza ai sensi della normativa vigente, prima dell'avvio dei lavori.

### **1.3 ARCHIVIAZIONE DEI RISULTATI**

Tutti i dati *grezzi* acquisiti in campagna durante l'esecuzione delle indagini dovranno essere conservati e consegnati (su supporto informatico) come allegato alla relazione tecnica o al relativo report della singola prova. Una nota tecnica in appendice alla relazione tecnica dovrà descrivere i dati trasmessi, evidenziando data di acquisizione, riferimento della prova, ed estensione dei file (es. SAF., seg2, etc..).

## **2. Prospezione sismica a rifrazione ad onde di compressione (onde p) - Elaborazione tomografica dei dati**

### **2.1 Generalità**

La prospezione sismica a *Rifrazione* è una tecnica geofisica *attiva* di indagine utilizzata per ricostruire profili di velocità di propagazione delle onde sismiche e di conseguenza riconoscere l'assetto stratigrafico dei corpi geologici. La tecnica si basa sulla modalità di propagazione delle onde di volume sia *P* che *Sh*. Approssimando onde sferiche ad onde piane il percorso di un'onda viene ricondotto al suo raggio sismico; la modalità con cui la traiettoria del raggio sismico viene modificata fornisce indicazioni riguardo le variazioni delle caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni. Il fenomeno della *Rifrazione* si determina nell'interfaccia di contatto tra due terreni (mezzi elastici) caratterizzati da diverse proprietà; il raggio sismico percorre il tragitto punto di energizzazione - geofono seguendo il percorso che garantisce la minimizzazione del tempo. Riportando i tempi di arrivo dei raggi rifratti ai vari geofoni, per tutte le differenti energizzazioni, si costruiscono i diagrammi tempi - distanze e le relative dromocrone. L'interpretazione delle variazioni di pendenza delle dromocrone permette di identificare le interfacce che suddividono terreni caratterizzati da differenti caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni.

#### 2.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- ASTM D 5777 - 95 - *Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.*

### **2.2 Attrezzature in dotazione**



Dotazioni minime per l'esecuzione delle indagini *Rifrazione 'P'*:

- sismografo minimo a 48 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit;
- minimo 48 geofoni verticali a frequenza propria variabile tra 8 e 40 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dei tiri da realizzare; potrà essere costituito da:
  - martello strumentato lasciato cadere con violenza su una piastra metallica appoggiata al suolo, garantendo un ottimo accoppiamento piastra/suolo;
  - cannoncino sismico;
  - energizzatori oleopneumatici e/o gravimetrici trainati e/o trasportati;
  - cariche di esplosivo.

Il sistema di energizzazione scelto deve comunque sempre garantire la determinazione in modo chiaro dei primi arrivi su tutti i ricevitori posizionati in esercizio.

### **2.3 Modalità' di esecuzione della prova**

Il layout di prova deve prevedere una spaziatura dei geofoni e di conseguenza una lunghezza dell'intero stendimento tale per cui si ottenga il miglior rapporto profondità indagata - dettaglio dei sismo strati individuati. In modo indicativo, al netto delle velocità sismiche dei vari sismo strati, si può assumere un rapporto *Profondità Indagata - Lunghezza Stendimento* pari a 1/4 - 1/5 (indicativo). È vivamente consigliato, al fine di ottenere risultati ottimali, far sì che l'obiettivo dell'indagine abbia una profondità massima dal piano campagna pari a circa 2/3 della massima profondità potenzialmente indagabile.

In funzione del grado di dettaglio che si vuole raggiungere nella definizione della sismo stratigrafia risultante dall'indagine, sarà necessario mettere in esercizio i geofoni con una adeguata spaziatura; in funzione della profondità del target si può assumere un rapporto 1/4 - 1/5 (indicativo). A prescindere dall'obiettivo dell'indagine e dalla profondità di interesse non superare spaziature maggiori di 15 - 20 metri, in questo modo si potrebbero perdere importanti informazioni sugli orizzonti più superficiali.

Dovranno essere effettuate almeno n° 7 energizzazioni (scoppi) diversamente distribuite lungo lo stendimento; in funzione della tipologia di elaborazione che si intende eseguire sui segnali acquisiti (es. "GRM") dovranno essere previste energizzazioni esterne ad ogni lato dello stendimento (almeno n° 2 per ogni estremo dello stendimento). Le energizzazioni possono essere effettuate in corrispondenza dei geofoni o tra i geofoni. Le energizzazioni devono essere effettuate in modo simmetrico rispetto al centro dello stendimento.

A prescindere dalla geometria adottata per l'esecuzione della prova, dal tipo di energizzatore scelto e dal punto di energizzazione, dovrà essere garantita una chiara lettura dei segnali (primi arrivi) su tutti i geofoni messi in esercizio (min. 48).

Lo stendimento geofonico dovrà essere chiaramente definito geometricamente a mezzo di un rilievo planoaltimetrico; ubicazione dei geofoni e punti di energizzazione dovranno essere rilevati al fine di garantire una corretta interpretazione dei dati.

### **2.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario



che tali applicativi siano rappresentativi dello 'stato dell'arte' in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I dati registrati da indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione 'P' dovranno essere elaborati (metodi classici) in modo da identificare per ogni geofono il parametro velocità delle onde 'P'. Prevista una seconda elaborazione con metodologie iterative di analisi tipo R.T.C. (*Ray Tracing Curvilineo*) e algoritmi di ricostruzione tomografica.

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata - rilievo planaltimetrico;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Profili sismo stratigrafici in scala adeguata - indicazione dei valori di velocità delle onde 'P' calcolate per intervalli omogenei;
- Isolinee e campiture di colore (con relativa legenda) indicanti i diversi valori di velocità delle onde 'P' per elaborazioni in modalità tomografica;
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo, evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

### **3. Prospezione sismica a rifrazione ad onde di taglio (onde sh) - Elaborazione tomografica dei dati**

#### **3.1 Generalità**

La prospezione sismica a *Rifrazione* è una tecnica geofisica *attiva* di indagine utilizzata per ricostruire profili di velocità di propagazione delle onde sismiche e di conseguenza riconoscere l'assetto stratigrafico dei corpi geologici. La tecnica si basa sulla modalità di propagazione delle onde di volume sia *P* che *Sh*. Approssimando onde sferiche ad onde piane il percorso di un'onda viene ricondotto al suo raggio sismico; la modalità con cui la traiettoria del raggio sismico viene modificata fornisce indicazioni riguardo le variazioni delle caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni. Il fenomeno della *Rifrazione* si determina nell'interfaccia di contatto tra due terreni (mezzi elastici) caratterizzati da diverse proprietà; il raggio sismico percorre il tragitto punto di energizzazione - geofono seguendo il percorso che garantisce la minimizzazione del tempo. Riportando i tempi di arrivo dei raggi rifratti ai vari geofoni, per tutte le differenti energizzazioni, si costruiscono i diagrammi tempi - distanze e le relative dromocrone. L'interpretazione delle variazioni di pendenza delle dromocrone permette di identificare le interfacce che suddividono terreni caratterizzati da differenti caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni.



### 3.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- ✓ ASTM D 5777 - 95 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.

### 3.2 Attrezzature in dotazione

Dotazioni minime per l'esecuzione delle indagini *Rifrazione 'Sh'*:

- sismografo minimo a 48 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit;
- minimo 48 geofoni orizzontali a frequenza propria variabile tra 8 e 14 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dei tiri da realizzare; potrà essere costituito da:
  - martello strumentato agente su un blocco adeguatamente ancorato (per attrito radente) al terreno;
  - cannoncino sismico, energizzatori oleopneumatici e/o gravimetrici trainati e/o trasportati (tipo pendolo) in grado di produrre onde di taglio polarizzate;
  - cariche di esplosivo.

Il sistema di energizzazione scelto deve comunque sempre garantire la determinazione in modo chiaro dei primi arrivi su tutti i ricevitori posizionati in esercizio.

### 3.3 Modalità di esecuzione della prova

Il layout di prova deve prevedere una spaziatura dei geofoni e di conseguenza una lunghezza dell'intero stendimento tale per cui si ottenga il miglior rapporto profondità indagata - dettaglio dei sismostrati individuati. In modo indicativo, al netto delle velocità sismiche dei vari sismostrati, si può assumere un rapporto *Profondità Indagata - Lunghezza Stendimento* pari a 1/4 - 1/5 (indicativo). È vivamente consigliato al fine di ottenere risultati ottimali far sì che l'obiettivo dell'indagine abbia una profondità massima dal piano campagna pari a circa 2/3 della massima profondità potenzialmente indagabile.

In funzione del grado di dettaglio che si vuole raggiungere nella definizione della sismostratigrafia risultante dall'indagine, sarà necessario mettere in esercizio i geofoni con una adeguata spaziatura; in funzione della profondità del target si può assumere un rapporto 1/4 - 1/5 (indicativo). A prescindere dall'obiettivo dell'indagine e dalla profondità di interesse è consigliabile non superare spaziature maggiori di 15 - 20 metri, in questo modo si potrebbero perdere importanti informazioni sugli orizzonti più superficiali.

Dovranno essere effettuate almeno n°7 energizzazioni (scoppi) diversamente distribuite lungo lo stendimento; in funzione della tipologia di elaborazione che si intende eseguire sui segnali acquisiti (es. "GRM") dovranno essere previste energizzazioni esterne ad ogni lato dello stendimento (almeno n°2 per ogni estremo dello stendimento). Le energizzazioni possono essere effettuate in corrispondenza dei geofoni o tra i geofoni. Le energizzazioni devono essere effettuate in modo simmetrico rispetto al centro dello stendimento.

A prescindere dalla geometria adottata per l'esecuzione della prova, dal tipo di energizzatore scelto e dal punto di energizzazione, dovrà essere garantita una chiara lettura dei segnali (primi arrivi) su tutti i geofoni messi in esercizio (min. 48).

I sensori dovranno essere correttamente posizionati e orientati rispetto allo stendimento, per ogni punto di energizzazione sarà necessario realizzare n°2 energizzazioni (coniugate) rovesciate di 180° in modo da ottenere un sismogramma finale (sovrapposizione) che permetta di identificare agevolmente il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di fase).



Lo stendimento geofonico dovrà essere chiaramente definito geometricamente a mezzo di un rilievo planoaltimetrico; ubicazione dei geofoni e punti di energizzazione dovranno essere rilevati al fine di garantire una corretta interpretazione dei dati.

### **3.4 Elaborazione dati e restituzione dei report di prova**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello 'stato dell'arte' in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I dati registrati da indagine sismica a rifrazione ad onde di compressione ' $V_s$ ' dovranno essere elaborati (metodi classici) in modo da identificare per ogni geofono il parametro velocità delle onde ' $V_s$ '. Prevista una seconda elaborazione con metodologie iterative di analisi tipo R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica.

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata - rilievo planoaltimetrico;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Profili sismo stratigrafici in scala adeguata - indicazione dei valori di velocità delle onde ' $V_s$ ' calcolate per intervalli omogenei;
- Isolinee e campiture di colore (con relativa legenda) indicanti i diversi valori di velocità delle onde ' $V_s$ ' per elaborazioni in modalità tomografica;
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo, evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

## **4. Analisi della attenuazione anelastica e determinazione del fattore di qualità da onde di volume - Elaborazione tomografica dei dati**

### **4.1 Generalità**

Consiste in una elaborazione dei dati ottenuti da prospezioni sismiche a rifrazione ad onde di compressione (onde P) e onde di taglio (onde S) in grado di determinare i parametri di Attenuazione Anelastica e Fattore Qualità dei terreni o degli ammassi rocciosi investigati.



Il fattore di qualità  $Q$  è correlato al coefficiente di attenuazione attraverso la seguente relazione:

$$1/Q = \alpha V_p / \pi f$$

con  $\alpha$  = coefficiente di attenuazione;  
 $V_p$  = velocità delle onde di compressione;  
 $f$  = frequenza dominante dell'analisi sismica.

Il coefficiente di attenuazione esprime l'entità del fenomeno di assorbimento dell'energia sismica in relazione allo specifico divario rispetto alla condizione di perfetta elasticità nei diversi materiali in cui l'onda sismica si propaga.

A seguito dell'attenuazione le componenti ad alta frequenza degli impulsi sismici si estinguono più rapidamente di quelli a bassa frequenza; la misura di  $1/Q$ , proporzionale alla frazione di perdita dell'energia per ciclo d'onda sinusoidale, contribuisce a fornire informazioni sulle caratteristiche del mezzo attraversato (frequenza di fratturazione, grado di saturazione, ecc.).

I valori numerici prodotti dall'elaborazione tomografica in velocità, attenuazione e Fattore Qualità saranno trasformati in informazioni grafiche e cromatiche bidimensionali e tridimensionali tramite software di trasferimento dati su un sistema C.A.D.

L'elaborazione dei dati dovrà essere realizzata mediante software ad elevata valenza diagnostica in grado di fornire i valori dei parametri di Attenuazione e Fattore Qualità, relativi ai rifrattori individuati e per ogni stazione geofonica utilizzando l'algoritmo del "Rapporto Spettrale".

#### **4.2 Elaborazione tomografica dei dati**

Se richiesto dal progetto delle indagini, l'elaborazione dovrà essere sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropica, la quale dovrà fornire, previa elaborazione con metodologie iterative R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (ad esempio con l'impiego di algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique), il campo delle velocità del sottosuolo ad elevata densità di informazioni: le celle unitarie, di forma rettangolare, potranno avere dimensioni orizzontali (asse  $x$ ) e verticali (asse  $z$ ) pari a, rispettivamente,  $1/3 \div 1/5$  e  $1/5 \div 1/10$  della spaziatura tra i geofoni.

#### **4.3 Elaborazione dei dati e restituzione dei report di prova**

La documentazione di ciascuna indagine dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- profili sismostratigrafici in scala adeguata con indicati i parametri dei Fattori Qualità calcolati per intervalli omogenei;
- elaborazione a isolinee o a campiture di colore in caso di elaborazione tomografica;
- relazione conclusiva, elaborata in base ai risultati delle indagini svolte in cui saranno indicati:
- gli algoritmi di calcolo impiegati, tabelle e tavole ad integrazione e chiarimento delle analisi;
- la caratterizzazione su base geofisica ottenuta da correlazione delle risultanze delle analisi ad onde di compressione ( $V_p$ ) e o taglio ( $V_s$ ) e Attenuazione onde di compressione ( $\alpha_p$ ) e di taglio ( $\alpha_s$ ) e Fattore Qualità delle onde di compressione ( $Q_p$ ) e delle onde di taglio ( $Q_s$ );
- le risultanze finali ed interpretative.

## **5. PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE AD ONDE DI COMPRESSIONE (ONDE P)**

### **5.1 Generalità**



La prospezione sismica a *Riflessione* è una tecnica geofisica attiva di indagine utilizzata per ricostruire profili di velocità di propagazione delle onde sismiche e di conseguenza riconoscere l'assetto stratigrafico dei corpi geologici. La tecnica si basa sulla modalità di propagazione delle onde di volume sia *P* che *Sh*. Il fenomeno della *Riflessione* si determina nell'interfaccia di contatto tra due terreni (mezzi elastici) caratterizzati da diversa rigidità. A differenza delle prospezioni sismiche a *Rifrazione* viene analizzato l'intero segnale registrato dai geofoni e non esclusivamente il primo arrivo.

La prospezione sismica a *Riflessione* ('*superficiale*' - campo ingegneristico) è volta ad indagare terreni posti a profondità fino a qualche centinaio di metri.

#### 5.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- ✓ ASTM D 7128 - 18 - *Standard Guide for Using the Seismic Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation*.

#### **5.2 Caratteristiche delle attrezzature in dotazione**

Dotazioni strumentali minime per l'esecuzione delle indagini *Riflessione* 'P':

- sismografo minimo a 48 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit;
- minimo 48 geofoni verticali a frequenza propria variabile tra 25 e 100 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dei tiri da realizzare; potrà essere costituito da:
  - martello strumentato lasciato cadere con violenza su una piastra metallica appoggiata al suolo, garantendo un ottimo accoppiamento piastra/suolo agente su un blocco adeguatamente ancorato (per attrito radente) al terreno;
  - cannoncino sismico;
  - energizzatori oleopneumatici e/o gravimetrici trainati e/o trasportati;
  - cariche di esplosivo.

Il sistema di energizzazione scelto deve comunque sempre garantire la determinazione in modo chiaro dei primi arrivi su tutti i ricevitori posizionati in esercizio.

#### **5.3 Modalità di esecuzione della prova**

Il layout di prova deve prevedere una spaziatura dei geofoni e di conseguenza una lunghezza dell'intero stendimento tale per cui si ottenga il miglior rapporto profondità indagata - dettaglio dei sismo strati individuati. Generalmente le distanze geofono - geofono possono essere variabili entro valori pari a 0.5 - 20 metri (campo ingegneristico). L'esecuzione dell'indagine ed in particolare il numero dei punti di energizzazione devono garantire una copertura "multipla" minima pari al 1200%; con sismografo n°48 canali si ottiene tale risultato energizzando ogni due distanze intergeofoniche.

Per una corretta esecuzione della prova, in funzione dell'obiettivo dell'indagine è necessario definire i seguenti parametri:

- Lunghezza della registrazione ed intervallo di campionamento;
- Distanze minime e massime tra punto di energizzazione e geofono;
- Distanza intergeofonica (e conseguentemente lunghezza dello stendimento);
- Rapporto stendimento - energizzazione (simmetrico "split spread" - asimmetrico "end on").



Lo stendimento geofonico dovrà essere chiaramente definito geometricamente a mezzo di un rilievo planoaltimetrico; ubicazione dei geofoni e punti di energizzazione dovranno essere rilevati al fine di garantire una corretta interpretazione dei dati.

#### **5.4 Elaborazione dati e restituzione dei report di prova**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello '*stato dell'arte*' in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata - rilievo planoaltimetrico;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Sezioni Tempo/Distanza (ms/m);
- Sezioni Profondità/Distanza (m/m);
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

## **6. PROSPEZIONE SISMICA A RIFLESSIONE AD ONDE DI TAGLIO (ONDE SH)**

### **6.1 GENERALITÀ**

La prospezione sismica a *Riflessione* è una tecnica geofisica attiva di indagine utilizzata per ricostruire profili di velocità di propagazione delle onde sismiche e di conseguenza riconoscere l'assetto stratigrafico dei corpi geologici. La tecnica si basa sulla modalità di propagazione delle onde di volume sia *P* che *Sh*. Il fenomeno della *Riflessione* si determina nell'interfaccia di contatto tra due terreni (mezzi elastici) caratterizzati da diversa rigidità. A differenza della sismica a *Rifrazione* viene analizzato l'intero segnale registrato dai geofoni e non esclusivamente il primo arrivo.

La prospezione sismica a *Riflessione* ('*superficiale*' - campo ingegneristico) è volta ad indagare terreni posti a profondità fino a qualche centinaio di metri.



#### 6.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- ASTM D 7128 - 18 - Standard Guide for Using the Seismic Reflection Method for Shallow Subsurface Investigation.

#### **6.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE**

- Dotazioni strumentali minime per l'esecuzione delle indagini *Riflessione 'Sh'*:
- sismografo minimo a 48 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit;
- minimo 48 geofoni orizzontali a frequenza propria variabile tra 8 e 20 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dei tiri da realizzare; potrà essere costituito da:
  - martello strumentato lasciato cadere con violenza su una piastra metallica appoggiata al suolo, garantendo un ottimo accoppiamento piastra/soilo;
  - cannoncino sismico;
  - energizzatori oleopneumatici e/o gravimetrici trainati e/o trasportati;
  - cariche di esplosivo.

Il sistema di energizzazione scelto deve comunque sempre garantire la determinazione in modo chiaro dei primi arrivi su tutti i ricevitori posizionati in esercizio.

#### **6.3 Modalità' di esecuzione della prova**

Il layout di prova deve prevedere una spaziatura dei geofoni e di conseguenza una lunghezza dell'intero stendimento tale per cui si ottenga il miglior rapporto profondità indagata - dettaglio dei sismo strati individuati. Generalmente le distanze geofono - geofono possono essere variabili entro valori pari a 0.5 - 20 metri (campo ingegneristico). L'esecuzione dell'indagine ed in particolare il numero dei punti di energizzazione devono garantire una copertura "multipla" minima pari al 1200%; con sismografo n°48 canali si ottiene tale risultato energizzando ogni due distanze intergeofoniche.

Per una corretta esecuzione della prova, in funzione dell'obiettivo dell'indagine è necessario definire i seguenti parametri:

- Lunghezza della registrazione ed intervallo di campionamento;
- Distanze minime e massime tra punto di energizzazione e geofono;
- Distanza intergeofonica (e conseguentemente lunghezza dello stendimento);
- Rapporto stendimento - energizzazione (simmetrico "split spread" - asimmetrico "end on").

Lo stendimento geofonico dovrà essere chiaramente definito geometricamente a mezzo di un rilievo planoaltimetrico; ubicazione dei geofoni e punti di energizzazione dovranno essere rilevati al fine di garantire una corretta interpretazione dei dati.

#### **6.4 Elaborazione dati e restituzione dei report di prova**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello *'stato dell'arte'* in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):



- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata - rilievo planoaltimetrico;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Sezioni Tempo/Distanza (ms/m);
- Sezioni Profondità/Distanza (m/m);
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo, evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

## **7. PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA PER ONDE SUPERFICIALI TIPO MASW**

### **7.1 GENERALITÀ**

La tecnica MASW (Park et al., 1999) è utilizzata per misurare la velocità delle onde di Rayleigh  $V_r$  e conseguentemente, tramite tecniche di inversione (Socco et al. 2010) della curva di dispersione ( $V_r - f$ ), per ottenere il profilo delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità. La tecnica sfrutta le onde di superficie in un range di frequenze che va da circa 1 - 50 Hz, esplorando profondità limitate a qualche decina di metri, in funzione della geometria della stesa geofonica e delle proprietà dei materiali attraversati. I fondamenti teorici del metodo MASW assumono un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità è rappresentata da siti con morfologia superficiale complessa e/o stratigrafie non piano parallele.

#### 7.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- Foti S., Hollender F., Garofalo F., Albarello D., Asten C., Cox B., Di Giulio G., Forbriger T., Hayashi K., Lunedei E., Martin A., Mercerat D., Ohrnberger M., Poggi V., Renalier F., Sicilia D., Socco V. (2017) - *Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project*. Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 6, 2367-2420.

- Park C. B., Miller R. D., Xia J (1999) - *Multichannel analysis of surface waves*. Geophysics, 64, 800-808.

- Socco L. V., Foti S., Boiero D. (2010) - *Surface-wave analysis for building near-surface velocity models - Established approaches and new perspective*. Geophysics, 75, 5, 75A83-75A102.

### **7.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE**

Dotazioni strumentali minime per l'esecuzione delle indagini MASW:

sismografo minimo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in



ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit;

minimo 24 geofoni verticali a frequenza propria variabile massima di 4.5 Hz (meglio se inferiore);

sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dei tiri da realizzare; potrà essere costituito da:

martello strumentato lasciato cadere con violenza su una piastra metallica appoggiata al suolo, garantendo un ottimo accoppiamento piastra/suolo;

cannoncino sismico;

sorgente vibrante - vibrodina;

cariche di esplosivo.

Il sistema di energizzazione scelto deve comunque sempre garantire la determinazione in modo chiaro dei segnali su tutti i ricevitori posizionati in esercizio.

### **7.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA**

Il layout di prova deve prevedere la messa in esercizio dei geofoni verticali lungo uno stendimento rettilineo, su terreno pianeggiante. In base all'obiettivo (profondità) che si intende raggiungere dovranno essere attentamente valutate le geometrie dello stendimento e l'intervallo di campionamento; corretti parametri di acquisizione nel dominio dello spazio e del tempo. Il tempo totale di acquisizione T deve garantire all'armonica (prodotta) più lenta di poter raggiungere il geofono più lontano. Il tasso di campionamento temporale  $dt$  deve garantire la registrazione della frequenza più alta possibile (nei limiti di interesse della tecnica); può essere assunto un valore indicativo di frequenza di campionamento pari a 2 - 5 volte la frequenza più alta che si intende registrare.

La geometria dello stendimento in termini di lunghezza massima (n°geofoni \* spaziatura) non può essere inferiore alla metà della lunghezza massima d'onda, mentre la spaziatura tra i geofoni non può essere maggiore della metà della lunghezza minima d'onda. Pertanto, considerando un numero costante di geofoni, la spaziatura tra di essi dovrà essere stabilita in funzione della profondità di indagine che si intende raggiungere.

Dovranno essere effettuate almeno n° 3 energizzazioni (scoppi) per ogni estremo dello stendimento, prevedendo per ognuno diversi *stack* laddove necessario.

A prescindere dalla geometria adottata per l'esecuzione della prova, dal tipo di energizzatore scelto e dal punto di energizzazione, dovrà essere garantita una chiara lettura dei segnali su tutti i geofoni messi in esercizio (min. 24).

I sensori dovranno essere correttamente posizionati (verticalmente) a terra garantendo un ottimale accoppiamento geofono/terreno.

### **7.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello '*stato dell'arte*' in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.



I dati registrati da indagine sismica MASW devono essere analizzati a mezzo di *curve di dispersione* dalle quali è possibile identificare i massimi dell'energia dello spettro associabili alle onde di *Reyleigh* per diverse frequenze.

È fondamentale effettuare (e rendicontare) un confronto tra le curve di dispersione ottenute dalle diverse energizzazioni, soprattutto confrontando ogni energizzazione effettuata da un lato dello stendimento con la sua simmetrica del lato opposto.

Dovrà essere chiaramente identificato il modo fondamentale della curve di dispersione, e qualora presenti, i modi superiori ritenuti di interesse per la corretta esecuzione dell'inversione dei dati.

Il processo di inversione della *curve di dispersione* che permette di ottenere un profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde  $V_s$  parte da un modello sismo stratigrafico assunto come valido, poi in modo iterativo vengono realizzate curve teoriche di dispersione variando di volta in volta, i parametri del modello di input. Il processo si interrompe quando si raggiunge una soddisfacente sovrapposizione '*fitting*' tra la curva sperimentale e la curva teorica calcolata. Il processo di inversione non prevede pertanto una soluzione deterministica del problema; è consigliabile prevedere un duplice approccio di analisi (ottimizzazione) con tecniche di *ricerca globale* e successivamente *ricerca locale*.

Qualora nel sito di prova sia stata eseguita una indagine passiva a stazione singola (*HVSR* §8) dovranno essere previste inversioni congiunte utilizzando come curve target la *curva di dispersione* (sperimentale *MASW*) e la curva H/V (sperimentale *HVSR*).

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Curve di dispersione ( $f-k$ ,  $w-p$ ,  $f-v$ ) in adeguata scale (frequenza e velocità);
- Confronto tra curve di dispersione - rendicontazione;
- Parametri del modello iniziale, curve teoriche generate;
- Modelli dei profili  $V_s$ , confronto tra modello iniziale e modello finale;
- Valori dei parametri del modello iniziale e parametri del modello finale (tabella);
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo, evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.



## 8. PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA PER ONDE SUPERFICIALI (ESAC)

### 8.1 GENERALITÀ

La tecnica *ESAC* (Ling et al., 1993) è un metodo di indagine passivo caratterizzato da una configurazione dei geofoni 2D che sfrutta il rumore ambientale. Nasce dall'esigenza di superare il limite della tecnica *SPAC* (SPatial AutoCorrelation Analysis) (Aki, 1957 - 1965) che prevede esclusivamente la messa in esercizio di geofoni con configurazione circolare. Data la natura stocastica delle sorgenti di rumore ambientale sono da prediligere configurazioni geometriche il più randomizzate possibile, in ambito urbano tuttavia, dove sono più facilmente individuabili le maggiori fonti di rumore, possono essere adottate configurazioni geometricamente semplici tipicamente a 'L' - 'T' - 'C'.

La tecnica *ESAC* consente di definire la *curva di dispersione effettiva* che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali indicizzate in base al loro specifico contenuto energetico. La curva di dispersione, come visto nel caso della tecnica *MASW* fornisce molte informazioni riguardo il sito di saggio, permettendo tramite tecniche di inversione, di ottenere il profilo delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  con la profondità. Nel caso di profili normalmente dispersivi ( $V_s$  aumenta con la profondità) la curva di dispersione ha un decremento omogeneo di velocità di fase con l'aumento della frequenza, coincidente col modo fondamentale. Per profili con inversioni di velocità la curva di dispersione presenta delle irregolarità o zone 'piatte', che possono risultare dalla combinazione di modi diversi in funzione dell'energia. La distribuzione dell'energia nei diversi modi può non essere infatti costante a varie frequenze, dipendente dalla velocità, da eventuali strutture di attenuazione, caratteristiche delle sorgenti e eterogeneità laterali. Il modo fondamentale è spesso quello dominante quando la velocità delle onde  $V_s$  aumenta con la profondità, se al contrario la curva di dispersione si sovrappone per bande di frequenza a modi superiori, probabilmente è presente un brusco cambio di rigidità (se la pendenza della curva vede un aumento di velocità all'aumentare della frequenza).

#### 8.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- Foti S., Hollender F., Garofalo F., Albarello D., Asten C., Cox B., Di Giulio G., Forbriger T., Hayashi K., Lunedei E., Martin A., Mercerat D., Ohrnberger M., Poggi V., Renalier F., Sicilia D., Socco V. (2017) - *Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project*. Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 6, 2367-2420.
- Ling S., Okada H. (1993) - An extended use of the spatial autocorrelation method for the estimation of structure using microtremors. Proc. 89° SEGJ Conference, Nagoya, Japan.
- Aki K. (1957) - Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. Bulletin of Earthquake Research Institute, 35, 415 – 456.
- Aki K. (1965) - A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust. Geophysics, 30, 665-666.

### 8.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE

Dotazioni strumentali minime per l'esecuzione delle indagini *ESAC*:

- sismografo minimo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in



ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit.

- minimo 24 geofoni verticali a frequenza propria variabile massima di 4.5 Hz;
- minimo 4 geofoni verticali (o triassiali) a frequenza propria variabile massima di 2 Hz da usare in combinazione con i precedenti;

### **8.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA**

Il layout di prova deve prevedere la messa in esercizio dei geofoni verticali lungo uno stendimento con geometria 2D su terreno pianeggiante. In base all'obiettivo (profondità) che si intende raggiungere dovranno essere attentamente valutate le geometrie dello stendimento e l'intervallo di campionamento; corretti parametri di acquisizione nel dominio dello spazio e del tempo. Le misure passive di rumore ambientale, data la natura ignota della sorgente, necessitano di un elevato numero di campioni registrati (lungi tempi di acquisizione - minimo 30 minuti) per garantire un determinato grado di robustezza statistica della prova.

Lo stendimento geofonico dovrà essere chiaramente definito geometricamente a mezzo di un rilievo planoaltimetrico; ubicazione dei geofoni e punti di energizzazione dovranno essere rilevati al fine di garantire una corretta interpretazione dei dati.

### **8.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello *'stato dell'arte'* in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I dati registrati da indagine sismica *ESAC* attraverso metodi basati sull'autocorrelazione spaziale definiscono la *curve di dispersione* dalle quali è possibile identificare i massimi dell'energia dello spettro associabili alle onde di *Reyleigh* per diverse frequenze.

Il processo di inversione della *curve di dispersione* che permette di ottenere un profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde *Vs* parte da un modello sismo stratigrafico assunto come valido, poi in modo iterativo vengono realizzate curve teoriche di dispersione variando di volta in volta, i parametri del modello di input. Il processo si interrompe quando si raggiunge una soddisfacente sovrapposizione *'fitting'* tra la curva sperimentale e la curva teorica calcolato. Il processo di inversione non prevede pertanto una soluzione deterministica del problema; è consigliabile prevedere un duplice approccio di analisi (ottimizzazione) con tecniche di *ricerca globale* e successivamente *ricerca locale*.

Qualora nel sito di prova sia stata eseguita una indagine passiva a stazione singola (*HVSR* §8) dovranno essere previste inversioni congiunte utilizzando come curve target la *curva di dispersione* (sperimentale *ESAC*) e la curva H/V (sperimentale *HVSR*).

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata - rilievo planoaltimetrico;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Curve di dispersione (*f-k*) in adeguata scale (frequenza e velocità);
- Parametri del modello iniziale, curve teoriche generate;
- Modelli dei profili *Vs*, confronto tra modello iniziale e modello finale;
- Valori dei parametri del modello iniziale e parametri del modello finale (tabella);



- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

## **9. INDAGINE PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (tecnica HVSR)**

### **9.1 GENERALITÀ**

La tecnica *HVSR* (Nakamura, 1989,1996,2000 - Mucciarelli et al., 2001) è una tipologia di indagine passiva che sfrutta il rumore ambientale, ma a differenza di altri metodi passivi (es. *ESAC*) richiede l'acquisizione delle tre componenti principali del movimento del terreno (Nord/Sud - Est/Ovest -Up/Down) tramite un geofono triassiale. La tecnica prevede il calcolo del rapporto tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali *H* (Nord/Sud - Est/Ovest) su quelle verticali *V* (Up/Down); tale rapporto, espresso in funzione della frequenza  $f(\text{Hz})$ , è noto come *curva HVSR* o *curva H/V*. La principale peculiarità della tecnica è che permette di individuare i contrasti di impedenza sismica che sono responsabili dei fenomeni di risonanza (Kramer, 1996). In un determinato intervallo di frequenza (tipicamente  $0.1 \div 30$  Hz) vengono identificati dei valori massimi, '*picchi*' della *curva H/V* relazionabili alle frequenze naturali dei depositi. Il valore massimo della curva che risponde a determinati criteri (SESAME, 2004 - Albarello et al., 2011), è chiamato '*picco di risonanza*' e individua la frequenza fondamentale di sito  $f_0$ . Lo scopo principale dell'indagine è quello di definire una sorta di firma spettrale caratteristica dei terreni da cui poi derivarne, tramite operazione di inversione, caratteristiche geometriche e dinamiche.

#### 9.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- Albarello D., Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. Ingegneria sismica anno XXVIII n°2 supplemento.

- Foti S., Hollender F., Garofalo F., Albarello D., Asten C., Cox B., Di Giulio G., Forbriger T., Hayashi K., Lunedei E., Martin A., Mercerat D., Ohrnberger M., Poggi V., Renalier F., Sicilia D., Socco V. (2017) - *Guidelines for the good practice of surface wave analysis: a product of the InterPACIFIC project*. Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 6, 2367-2420.

- Nakamura Y. (1989) - A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25 - 33.

- Nakamura Y. (1996) - *Real-time information systems for hazards mitigation*. Proceedings of the XI World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco (Mexico).

- Nakamura Y. (2000) - *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications*. Proceedings of the XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland (New Zealand).

- Kramer S.L. (1996) - *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, New Jersey, USA.



- *SESAME European research project (2004) - WP12, deliverable n° D23.12. European Commission – Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME.*

### **9.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE**

Dotazioni strumentali minime per l'esecuzione delle indagini *HVSR*:

sismografo minimo a 3 canali, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 24 bit.

minimo 1 geofono triassiale a frequenza propria variabile massima di 2 Hz (meglio se inferiore);

### **9.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA**

Lo strumento di acquisizione dovrà essere messo in esercizio avendo cura di orientare i sensori orizzontali secondo le direzioni Est - Ovest e Nord - Sud (geografiche). Sarà necessario scegliere accuratamente il sito di indagine, evitando di mettere in esercizio lo strumento nelle immediate vicinanze di alberi, edifici, tralicci, sottoservizi e altre fonti di perturbazione del segnale, per lo stesso motivo la programmazione delle indagini dovrà essere fatta anche in funzione delle condizioni meteo (assenza di vento e/o pioggia).

Se necessario dovranno essere previsti dei piccoli scavi per assicurare un ottimo accoppiamento sensori/terreno. Lo strumento dovrà essere dotato di una livella (bolla sferica) utile per il corretto livellamento strumentale. L'esecuzione della prova dovrà essere effettuata garantendo la stabilità dello strumento; deve essere controllato che la centratura della livella sia mantenuta durante tutto il tempo di acquisizione della prova (verifica inizio e fine prova).

La durata minima della prova non può essere inferiore a 20 minuti (1200 secondi).

### **9.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello '*stato dell'arte*' in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata;
- Sismogrammi originali riportati in scala adeguata (tempo);
- Modalità di selezione delle finestre (windows selection) - n° finestre valide selezionate;
- Algoritmo di smoothing (parametri);
- Grafico delle componenti separate;
- Grafico della direzionalità del segnale - Grafico della stabilità nel tempo del segnale;
- Grafico della curva *HVSR*;
- Criteri di attendibilità della misura (SESAME & Albarello D., Castellaro S. (2011));
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova,



nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.

Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

## **10. INDAGINI GEOLETTRICHE - TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D/3D(ERT)**

### **10.1 GENERALITÀ**

La tomografia elettrica multi elettrodo (*ERT*- electrical resistivity tomography) è un metodo di prospezione che sfrutta le capacità conduttive dei terreni misurando differenti valori di resistività attraverso una serie di elettrodi distribuiti lungo la superficie da indagare (Edwards, 1997 - Barker, 1981 - Dahlin, 2001). Permette pertanto di mettere in evidenza contrasti di resistenza elettrica presenti nei terreni. Il metodo *ERT* in corrente continua consente in definitiva di ricostruire sezioni bidimensionali (2D) di resistività. Si può pertanto parlare di un profilo tomografico che viene realizzato tramite lo stendimento di un cavo multipolare che collega una serie di elettrodi, i quali vengono utilizzati tanto per l'immissione della corrente  $I$  che per la misura della differenza di potenziale  $V$ . Tramite queste due grandezze fisiche è possibile calcolare la resistività elettrica apparente  $\rho_a$  relativa alla configurazione elettrodica utilizzata. Le principali configurazioni utilizzate sono la *Wenner*, *Wenner-Schlumberger* e *Dipolo-Dipolo*. Tomografia elettrica 2D La tomografia di resistività elettrica (ERT) è una tecnica diagnostica che consente di determinare la distribuzione di resistività elettrica e di caricabilità (IP) nel sottosuolo a partire da un gran numero di misure di potenziale elettrico misurate mediante elettrodi posti sulla superficie del terreno. Può essere quindi utilizzata, con le stesse modalità operative, sia per la risoluzione di problematiche legate al primo sottosuolo (presenza e definizione geometrica di manufatti) che per la definizione di strutture geologiche fino a diverse decine di metri di profondità. Le misure sono effettuate con strumentazioni automatiche secondo le diverse configurazioni elettrodiche tradizionali (Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, ecc). L'innovazione rispetto ai profili di resistività è rappresentata dalla possibilità di effettuare un grande numero di misure in tempi brevi e dalla successiva elaborazione con programmi di inversione bidimensionale e tridimensionale. Tale tecnica consente inoltre di operare anche in presenza di terreni morfologicamente irregolari (topografia) previo rilievo delle quote relative tra gli elettrodi; tale informazione sarà poi presa in considerazione in fase di elaborazione dei dati. La tomografia elettrica 3D costituisce uno sviluppo naturale della tomografia elettrica 2D legato principalmente all'introduzione sul mercato di strumenti in grado di gestire un elevato numero di elettrodi e di effettuare in breve tempo un grande numero di misure; l'elaborazione dovrà avvenire impiegando idonei software di inversione tridimensionale dei dati.

La tomografia elettrica 3D consiste nell'effettuare misure di potenziale elettrico mediante disposizione elettrodica non necessariamente lineare; in particolare, l'acquisizione 3D può essere condotta secondo i seguenti criteri e disposizioni elettrodiche principali tenendo sempre in considerazione che la risoluzione spaziale è pari (a livello teorico) alla metà della distanza elettrodica:

1. Esecuzione di stendimenti tra loro paralleli acquisiti singolarmente in 2D e successivamente invertiti in blocco in configurazione 3D tramite apposito algoritmo di inversione dedicato: in tal caso si parla di acquisizione 2D (quadripoli allineati) ed elaborazione (inversione) 3D; la distanza tra le linee dovrebbe non essere superiore a due volte la spaziatura elettrodica; in alternativa, l'esecuzione di linee parallele ortogonali alle prime consente di adottare distanze



maggiori tra le linee stesse.

2. Esecuzione di misure mediante una griglia di elettrodi a copertura totale o parziale dell'area in esame con acquisizioni quadripolari a geometria parallela, ortogonale e diagonale rispetto agli assi di riferimento XY principali: in tal caso si parla di acquisizione 3D vera e propria (quadripoli allineati ed incrociati) ed elaborazione (inversione) 3D.
3. Esecuzione di misure mediante disposizione elettrodica irregolare (ad esempio a forma di U, L, C e/o comunque perimetrale a strutture/edifici/manufatti al fine di studiarne il sottosuolo al di sotto del piano di impronta e relativa inversione dei dati; anche in questo caso si parla di acquisizione 3D (quadripoli di misura allineati ed incrociati) ed elaborazione 3D; questa modalità è da preferire quando esiste la necessità di indagare al di sotto di manufatti esistenti, quando lo spazio per stendimenti tradizionali è ridotto o quando non è possibile optare per la tomografia in foro; è preferibile l'utilizzo del dispositivo polo-dipolo che presenta il vantaggio di una maggiore profondità di indagine a parità di disposizione elettrodica, una maggiore copertura 3D e un buon rapporto segnale/rumore.

*La elevata libertà nella disposizione elettrodica adottabile nella tomografia 3D (dove non è necessario mantenere un passo elettrodico od una dimensione di maglia costante) comporta l'esecuzione di un accurato rilievo plano-altimetrico degli elettrodi di misura e di un loro intorno significativo (nel caso in cui il terreno non sia pianeggiante) da fornire ai software di elaborazione dati per una corretta determinazione delle resistività apparenti e modellazione delle condizioni al contorno.*

#### 10.1.1 Standard di riferimento e bibliografia

- Barker R.D. (1981) - Offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. Geophysical Prospecting 29, 128-143.
- Dahlin T., (2001) - The development of DC resistivity imaging techniques. Computer & Geosciences 27, 1019 - 1029.
- Edwards L.S. (1977) - A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. Geophysics 42, 1020-1036.

#### **10.2 ATTREZZATURE IN DOTAZIONE**

Dotazioni strumentali minime per l'esecuzione delle indagini ERT:

- georesistivimetro con capacità di gestione di almeno 64 elettrodi;
- georesistivimetro con capacità di misura della resistenza (e memorizzazione) di contatto degli elettrodi;
- georesistivimetro con capacità di compensazione dei potenziali spontanei;
- georesistivimetro con possibilità di gestione di cicli di misura differenti per durata;
- georesistivimetro con memorizzazione per ogni misura da almeno i valori di: resistività, potenziale, corrente, dev. Standard e geometria degli elettrodi;
- georesistivimetro che consenta l'impostazione di almeno 4 finestre temporali per la misura della caricabilità;
- cavo multicanale dotato di 'smart electrodes', che consenta l'utilizzo degli elettrodi sia come elettrodi di corrente che di potenziale.
- 

#### **10.3 MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA PROVA**

Le indagini dovranno essere eseguite adoperando una configurazione elettrodica adeguata in funzione degli scopi dell'indagine e del contesto di prova (urbano - industriale - aperta campagna etc.), pertanto sarà cura dell'operatore scegliere (giustificando la scelta in relazione tecnica) la configurazione che meglio soddisfa le esigenze di prova. Sono da prediligere indagini la cui messa in esercizio a terra degli elettrodi non si



condizionata dalla presenza di pavimentazione artificiale (asfalto – cemento, etc.). Qualora non sia possibile selezionare siti alternativi sarà necessario effettuare preventivamente dei fori per far sì che gli elettrodi siano messi a contatto direttamente con il terreno sottostante, oltrepassando la copertura antropica. In questi casi deve essere previsto l'utilizzo di fluido conduttivo in modo da attenuare le resistenze elettriche di contatto. Nel caso di esecuzione di prove in area urbanizzata devono essere preventivamente raccolte informazioni riguardo l'eventuale presenza di sottoservizi e/o altre fonti di possibile disturbo per la prova.

Gli stendimenti dovranno essere composti da min. 64 elettrodi. Per configurazioni 2D di prova gli elettrodi dovranno essere regolarmente equispaziati con un passo compreso tra 0.5 e 40 metri in funzione degli obiettivi dell'indagine. Per configurazioni e successive elaborazioni 3D dei dati, con messa in esercizio di elettrodi non lineare (2D), la configurazione geometrica di prova potrà essere sia regolare (griglia) sia irregolare sfruttando (ottimizzando lo spazio di indagine) geometrie che possano '*perimetrare*' l'obiettivo della ricerca. Qualora siano state effettuate diverse indagini in configurazione lineare 2D, con stendimenti paralleli e distanti tra loro massimo due volte la distanza elettrodo - elettrodo, possono essere effettuate, con appositi software analisi *pseudo* 3D.

A prescindere dalla configurazione geometrica di prova scelta, lo stendimento (disposizione elettrodiscica) dovrà essere chiaramente definito geometricamente a mezzo di un rilievo planoaltimetrico; ubicazione degli elettrodi e punti di riferimento dell'area di indagine.

#### **10.4 ELABORAZIONE DATI E RESTITUZIONE DEI REPORT DI PROVA**

L'elaborazione dei dati deve prevedere una fase di valutazione critica della qualità del dato acquisito in campagna prima di passare alla fase di interpretazione. Per l'interpretazione dei dati dovranno essere utilizzati software e/o codici di calcolo che garantiscono una elevata valenza diagnostica, è altresì necessario che tali applicativi siano rappresentativi dello '*stato dell'arte*' in relazione alla tipologia di analisi che si sta effettuando.

I report di prova dovranno contenere le seguenti informazioni (minime):

- Informazioni generali di commessa;
- Ubicazione della prova - cartografia a scala adeguata - rilievo planoaltimetrico;
- Tabulati originali: voltaggio, corrente, dev. Standard resistività apparente, tensione batteria energizzazione (per ogni misura);
- Grafici con pseudosezioni di resistività;
- Grafici di resistività, modello di distribuzione della resistività del sottosuolo;
- Descrizione della strumentazione utilizzata per la prova;
- Descrizione dei software (con numero di licenza se proprietari) e/o codici di calcolo utilizzati;
- Documentazione fotografica;

Più in generale i report di prova dovranno essere redatti in modo chiaro e completo, evidenziando, laddove necessario, eventuali problemi logistici e/o limitazioni rispetto la corretta esecuzione della prova, nell'evenienza che si palesassero problemi non individuati durante la fase di sopralluogo preventivo eseguito per la definizione del piano di indagini.

Dovranno essere chiaramente evidenziati laddove necessario i riferimenti bibliografici e/o le fonti da cui si sono tratte informazioni anche di tipo non strettamente geofisico utili a supporto di una corretta inversione dei dati in funzione del locale assetto geologico dei luoghi di saggio.



Il report dovrà dare chiara evidenza dell'affidabilità del risultato ottenuto sia in termini assoluti sia relativi al contesto geologico generale, in riferimento quindi ad altre prove, geofisiche e non, eseguite nei pressi dell'area di saggio.

## **11. Sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione con indagine sismica down hole**

I sondaggi hanno lo scopo di fornire una campionatura completa dei litotipi attraversati al fine di ricostruire l'assetto geologico in corrispondenza del punto di perforazione e lo spessore dei diversi litotipi.

- Le attrezzature utilizzate dovranno essere in perfette condizioni e complete di tutti gli accessori e i ricambi che le rendano operative, al fine di eseguire i lavori richiesti garantendo la massima qualità. Carotieri, campionatori, rivestimenti, aste e sonde dovranno essere accettati dalla D.L. prima dell'inizio dei lavori.
- I carotaggi dovranno essere eseguiti con carotiere semplice del diametro di 101 mm. Laddove le condizioni fisiche del litotipo non garantiscano il recupero di campione per una percentuale superiore al 50% dovranno essere adottati carotieri doppi (NT2 o NT6). Tali carotieri dovranno essere utilizzati comunque per garantire il campionamento completo degli orizzonti litoidi.
- Laddove la natura del litotipo richieda l'uso del rivestimento se ne adotterà uno di diametro tale da consentire il prosieguo delle operazioni di perforazione.
- Le carote recuperate verranno riposte in opportune cassette catalogatrici (dimensioni 1.00x0.50 m) sulle quali verranno apposte tutte le indicazioni relative a : cantiere, sigla e numero del sondaggio, profondità delle carote contenute. Dovranno essere apposti, inoltre, idonei separatori al fine di indicare l'inizio e la fine di ogni manovra ed il prelievo di eventuali campioni.
- Appena completato ciascun foro le cassette verranno fotografate includendo nell'immagine uno scalimetro colorato.
- Il prelievo dei campioni avverrà su indicazione della D.L. con l'impiego di campionatori a parete sottile tipo Shelby, a pistone tipo Osterberg o a scarpa avanzata tipo Denison.
- I campioni dovranno essere opportunamente paraffinati ed avviati verso il laboratorio che eseguirà le determinazioni fisiche e meccaniche entro 15 giorni dalla data di prelievo. In tale lasso di tempo sarà cura dell'Impresa custodire i campioni in luogo fresco ed asciutto.
- I fori non strumentati verranno ritombati mediante miscela di cemento/bentonite/acqua con rapporti percentuali 50/10/100 in peso e successiva graduale recupero del rivestimento.
- I profili stratigrafici conterranno le informazioni generali sul sondaggio (norme ASTM D-2487/93 e D-5878-95) e, precisamente:
  - ◇ quota assoluta del foro
  - ◇ data di inizio e fine della perforazione
  - ◇ diametro del foro ed uso di eventuali carotieri doppi
  - ◇ tipi di terreni attraversati
    1. consistenza dei livelli coesivi
    2. stato di addensamento dei terreni granulari
    3. RQD dei livelli lapidei
    4. struttura del terreno
  - ◇ profondità della falda al termine delle operazioni di perforazione
  - ◇ quote ed esiti delle prove SPT eseguite in foro



◇ eventuali note sulle modalità operative adottate

### **11.1 Prove penetrometriche standard (S.P.T.)**

- Le prove SPT saranno eseguite dall'Impresa su indicazioni della D.L. sui livelli ritenuti significativi. Le prove saranno eseguite secondo lo standard ASTM D-1586.
- Il campionatore sarà del tipo "Raymond" con diametro esterno di 50.8 mm.
- La massa battente sarà pari a 63.5 kgf ( $\pm 1.0$  kgf).
- Il dispositivo di sollevamento e sgancio automatico consentirà la caduta libera del maglio da 0.76 m ( $\pm 0.025$  m). La Direzione Lavori potrà richiedere una verifica di tali valori.
- La pulizia del foro prima dell'esecuzione della prova dovrà essere assicurata eseguendo apposita manovra di pulizia e lavaggio del foro mediante opportuno attrezzo a fori radiali.
- La prova consiste nell'infissione del campionatore nel terreno sino ad ottenere una penetrazione di 45 cm. Verrà annotato il numero di colpi necessari per ottenere tre penetrazioni successive di 15 cm ognuna. Il valore N finale è la somma dei colpi necessari per ottenere gli ultimi due tratti di penetrazione. La prova verrà sospesa se il numero di colpi è maggiore di 50 per un tratto di 15 cm. In tal caso si registrerà l'entità della penetrazione per un numero di colpi pari a 50.
- Prima di ciascuna prova la quota di fondo foro verrà accuratamente misurata e confrontata con la quota raggiunta dalla perforazione. Se la differenza di quota supera i 5 cm, la prova non sarà eseguita senza un'ulteriore manovra di pulizia.
- Il campione contenuto nel Raymond (nel caso in cui non si adotti la punta conica a 60°) verrà descritto e misurato e racchiuso in un contenitore ermetico che ne conservi il contenuto d'acqua naturale.
- Per ciascuna prova SPT verrà redatto un rapporto contenente le seguenti indicazioni:
  1. numero e posizione del sondaggio
  2. quota del rivestimento
  3. quota raggiunta con la perforazione e la pulizia
  4. quota di fondo foro all'inizio della prova
  5. valore N per ognuno dei tre tratti di 15 cm
  6. lunghezza e descrizione del campione recuperato.

### **11.2 Installazione dei piezometri**

- I piezometri verranno installati su indicazioni della D.L. a profondità ritenute significative per la ricostruzione delle pressioni interstiziali.
- I piezometri verranno installati in fori di sondaggio al termine della perforazione, sulla base di un profilo stratigrafico provvisorio.
- Sono costituiti da tubi di metallo o di materiale plastico, di diametro sufficiente per consentire il passaggio dello strumento per la misura del livello dell'acqua, messi in opera in fori predisposti. Nella zona di misura la parete del tubo deve essere finestrata ed eventualmente protetta con tessuto non tessuto, circondata da materiale filtrante; essa deve essere isolata superiormente da un tampone impermeabile di altezza sufficiente per evitare l'infiltrazione di acque superficiali.

#### 11.2.1 Misure

- Le misure verranno effettuate ad intervalli di tempo disposti dalla D.L. mediante l'immissione nel tubo piezometrico di apposita sonda. Il dato rilevato andrà annotato.
- Per ciascuna misura l'Impresa dovrà fornire apposito modulo in cui siano contenuti i seguenti elementi:
  1. sigla del piezometro
  2. data e ora di inizio della misura
  3. nome dell'operatore



4. risultato della misura
5. eventuali osservazioni.

### 11.3 Installazione dei tubi spia

- I tubi spia vengono installati al fine di individuare la superficie di scorrimento lungo una verticale. Consistono in tubi di plastica rigida del diametro di 40 mm, tappati inferiormente, installati in fori di sondaggio eseguiti a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo con diametro minimo pari a 85 mm.
- L'intercapedine tra foro e tubo dovrà essere riempita mediante sabbia o materiale preventivamente approvato dalla D.L..
- La lunghezza di ciascun tubo spia dovrà essere tale da consentire l'attraversamento dell'intero corpo di frana e l'immorsamento per almeno 4-5 m nel terreno integro.
- All'interno di ciascun tubo verrà posta un'asta metallica rigida (diametro 16÷18 mm), lunga 1.0÷1.5 m. Tale asta, alla cui estremità superiore sarà presente un occhiello, verrà posta a fondo foro mediante un cavetto di acciaio plastificato o mediante cordino in nylon del diametro di 6 mm. L'estremo superiore del cordino verrà assicurato al pozzetto di protezione del tubo spia.
- L'asta metallica risulterà, pertanto, libera di scorrere lungo l'intera lunghezza del tubo spia in assenza di deformazioni significative dello stesso. Al fine di verificare la corretta messa in opera del tubo e dell'asta, al termine delle operazioni di installazione questa verrà fatta scorrere per l'intera lunghezza in presenza della D.L..
- I tubi spia andranno protetti con opportuni pozzetti.

#### 11.3.1 Misure

- Le misure verranno effettuate ad intervalli di tempo disposti dalla D.L..
- Ciascuna misura consiste nella verifica di integrità del tubo spia. Ciò si realizza recuperando in cordino dalla superficie e verificando la fuoriuscita dell'asta dal tubo.
- Nel caso di deformazioni consistenti non sarà possibile estrarre l'asta. In tal caso verrà immessa dall'alto una seconda asta assicurata in superficie da un cordino. Dalla media delle misure tra il cordino assicurato all'asta presente nella parte bassa del tubo e quello che assicura l'asta calata dall'alto dello stesso si otterrà la profondità in cui si è verificata la deformazione.
- Per ciascuna misura l'Impresa dovrà fornire apposito modulo in cui siano contenuti i seguenti elementi:
  1. sigla del tubo spia
  2. data e ora di inizio della misura
  3. numero della misura
  4. nome dell'operatore
  5. risultati conseguiti (asta libera o bloccata e, in questo caso, relativa profondità)
  6. eventuali osservazioni.

### 11.4 Installazione dei tubi in pvc per sismica in foro

- I fori di sondaggio destinati ad essere utilizzati per prospezioni sismiche in foro con il metodo *down-hole* o *cross-hole* devono essere condizionati mediante tubo in PVC, necessario a garantire perfette condizioni di geometria al foro e a contenere la strumentazione per la rilevazione degli impulsi sismici.
- I tubi in PVC, dello spessore compreso tra 3 e 8 mm e del diametro interno pari almeno a 80 mm, dovranno essere di ottima qualità e approvati dalla D.L. prima dell'inizio della loro posa in opera.
- I tubi saranno giuntati per elementi di 3 o 6 metri mediante innesti maschio/femmina oppure avvitati. La tenuta idraulica della colonna di tubi sarà garantita dalla sigillatura mediante resina siliconica e nastro plastico. Il primo elemento immesso nel foro deve essere chiuso al fondo mediante un tappo semplice o dalla valvola di fondo, a seconda della modalità di riempimento dell'intercapedine.



- I tubi andranno installati in fori opportunamente rivestiti in cui sarà stata immessa acqua pulita per il lavaggio.
- L'eventuale spinta idrostatica dell'acqua sul tubo andrà compensata con l'immissione di acqua al suo interno al fine di ridurre il rischio di deformazioni dello stesso.
- Congiuntamente alla colonna di tubi andranno immessi nel foro almeno quattro tubicini (due a fondo foro e due alla metà della colonna di tubi) necessari all'iniezione dal basso e dalla metà della miscela di cementazione. Tale miscela dovrà riempire integralmente l'intercapedine tra tubazione e parete del foro di sondaggio e garantire la continuità elastica tra terreno e tubazione. La rilevazione di eventuali discontinuità nel corso delle prospezioni potrà essere motivo di ordine di servizio per la riesecuzione del foro e il relativo loro condizionamento mediante nuova tubazione in PVC.
- Le proporzioni della miscela di cementazione dovranno essere tali da garantire alla stessa una consistenza fluida e, dopo essiccazione, una resistenza finale non superiore ai 3 kg/cm<sup>2</sup>.
- La miscela andrà iniettata lentamente ed a bassa pressione grazie ai tubicini disposti lungo la colonna.
- La composizione della miscela andrà indicata nella relazione di indagine.
- Gli eventuali tubi di rivestimento dovranno essere recuperati senza alcun movimento di rotazione, al fine di evitare il danneggiamento della colonna.
- I tubi in PVC andranno protetti con opportuni pozzetti.

#### **11.5 Analisi e prove di laboratorio**

Sui campioni indisturbati o a disturbo limitato prelevati nelle fasi di sondaggio saranno effettuate le analisi e le prove disposte dalla D.L..

L'Appaltatore, se non dispone di laboratorio geotecnico e di personale specializzato, dovrà inviare tempestivamente gli stessi a Laboratorio di indubbia esperienza, previa approvazione da parte della D.L..

Le risultanze delle analisi e delle prove dovranno essere raccolte in un elaborato che contenga:

- descrizione dei campioni esaminati
- certificazione delle prove a mezzo di appositi stampati, dai quali si evincano le curve caratteristiche ed i parametri determinati
- quadro riepilogativo delle analisi e delle prove eseguite dalle quali, sinteticamente, si possano evincere le caratteristiche fisiche e meccaniche dei campioni analizzati
- relazione esplicativa delle modalità operative adottate in fase di esecuzione delle analisi e delle prove ed illustrativa dei risultati ottenuti.

##### 11.5.1 Caratteristiche fisiche generali

La conoscenza delle caratteristiche di un litotipo non può prescindere dalla conoscenza delle sue caratteristiche fisiche generali, rappresentative delle condizioni *in situ*.

Per ciascun campione saranno definiti:

- curva granulometrica
- contenuto d'acqua naturale
- peso dell'unità di volume naturale
- peso unitario secco
- peso specifico
- indice dei vuoti
- porosità



- grado di saturazione

Tali parametri verranno calcolati adottando le specifiche ASTM, a meno di formale autorizzazione da parte della D.L.. In particolare gli standard richiesti sono: D-421-85, D-422-63, D-1140-71, D-2217-85, D-2216-80, D-2974-87, D-1556-82, D-2167-84, C-127-84, C-128-84, D-854-83, D-4253-83 e D-4254-83. La classificazione avverrà secondo i criteri delle norme ASTM D-2487-85 e D-2488-84.

#### 11.5.2 Limiti di Atterberg

I limiti di Atterberg rappresentano un elemento fondamentale di classificazione dei terreni secondo le norme più diffuse (ASTM o BS).

Per ciascun campione sarà determinato il limite di liquidità mediante il “cucchiaino di Casagrande”. La definizione del limite di plasticità, invece, sarà effettuata esclusivamente sul passante al setaccio ASTM 40. I criteri di esecuzione delle prove sono indicati nelle norme ASTM D-427-83, D-4318-84 e D-4943-89.

#### 11.5.3 Prova di compressione semplice

E' la prova più semplice per la determinazione della coesione non drenata in terreni coesivi limoso-argillosi ed in rocce tenere.

Il provino di materiale, interposto tra due piattelli, viene sottoposto ad una sollecitazione assiale via via crescente. La velocità di avanzamento della pressa è tale da produrre una deformazione nel provino compresa tra 0.5 e 1% dell'altezza dello stesso per ciascun minuto. La prova deve essere condotta su almeno due provini per ciascun campione.

Verranno adottati i criteri esecutivi previsti dalla norma ASTM D-2166-85.

#### 11.5.4 Prova di rottura per taglio diretto

Per la conoscenza della resistenza al taglio di terreni coerenti o incoerenti vengono effettuate prove di taglio diretto alla scatola di Casagrande.

Tale tipo di prova, che di solito viene eseguita in condizioni drenate, fornirà risultati significativi se svolta su almeno tre provini consolidati.

A ciascun provino verrà applicato un carico normale diverso ed una deformazione di taglio tale da portarlo alla rottura.

La norma di riferimento per tale tipo di prova è la ASTM D-3080-72.

#### 11.5.5 Prove triassiali

Le prove triassiali consentono di riprodurre un particolare stato tensionale su un provino e di conoscere l'evoluzione delle tensioni efficaci fino alle condizioni di rottura.

Nelle prove non consolidate non drenate (UU) viene impedito il drenaggio sia in fase di applicazione della pressione isotropa che del carico assiale. La resistenza al taglio misurata sarà indipendente dalla pressione isotropa applicata.

Nelle prove consolidate drenate (CD) e nelle prove consolidate non drenate (CU) durante le fasi di consolidazione vengono controllate sia la dissipazione delle pressioni interstiziali sia la variazione volumetrica connessa. Vengono sottoposti alla prova almeno tre provini ciascuno sottoposto tensioni isotrope differenti.

Le norme di riferimento per tali tipi di prove sono le ASTM D-2850-87 e BS 1377: Part 7 e 8: 1990.

### **11.6 Prospezioni sismiche in foro**



Le prospezioni geofisiche consentono l'acquisizione, per via indiretta, delle caratteristiche fisico-meccaniche di un terreno. Per la definizione delle caratteristiche elastiche del sottosuolo indagato vengono effettuate prospezioni sismiche in foro con il metodo *down-hole*.

Il metodo consiste nella produzione di onde elastiche in superficie, in prossimità del bocca foro, e nella rilevazione all'interno del foro, mediante idonea strumentazione di rilevazione. L'energia dovrà essere prodotta mediante massa battente. Non vengono fornite indicazioni circa l'apparato da utilizzare per la generazione delle onde sismiche, ma esso dovrà essere preventivamente approvato dalla D.L. e garantire la generazione di onde di taglio, polarizzate sul piano orizzontale (SH). A titolo indicativo può considerarsi utile un dispositivo costituito da un asse di legno, opportunamente vincolato al terreno mediante adeguata massa (es. automezzo collocato al di sopra di esso), sul quale vengono prodotte almeno due energizzazioni con orientazione opposta. La determinazione delle onde P può essere effettuata mediante colpo diretto sul terreno in senso verticale. La distanza tra il dispositivo di energizzazione e il bocca-foro deve essere compresa tra 2.0 m e 4.0 m al fine di minimizzare la generazione delle onde di tubo o di Stonely nel foro. Il dispositivo di energizzazione dovrà essere mantenuto fisso per tutta la durata della prova relativa a ciascuna verticale investigata. La distanza prescelta dovrà essere quella migliore al fine della riduzione del disturbo dovuto alle onde di tubo. Tale indicazione dovrà essere contenuta nel rapporto di prova.

I geofoni da foro dovranno essere almeno tridirezionali, meglio a cinque componenti. Tale indicazione è da intendersi prescrizione nel caso in cui non si utilizzi il sistema di orientazione dei sensori mediante aste quadre. Nel caso di utilizzo di aste a sezione quadra o, meglio, rettangolare si dovrà materializzare, in superficie, la disposizione dei due geofoni orizzontali e riportarne la direzione geografica nel rapporto di prova. La posizione relativa del dispositivo di energizzazione e dei geofoni dovrà essere riprodotta graficamente o fotograficamente.

La strumentazione dovrà essere del tipo digitale, almeno a 12 bit, e con frequenza di campionamento minima di 5000 campioni/s per l'onda P e 10000 campioni/s per l'onda S; l'amplificazione dello strumento dovrà essere costante nel *range* delle frequenze utilizzate. La strumentazione dovrà consentire la sommatoria dei segnali, a seguito del controllo del rapporto segnale/rumore. Il segnale sismico dovrà essere registrato su supporto magnetico e fornito unitamente agli elaborati (il formato del segnale non potrà essere proprietario, ma standard ASCII o SEG2). L'avvio dell'acquisizione dovrà essere garantito da geofono *trigger* posto in prossimità del dispositivo di energizzazione o da altro sistema similare.

L'elaborazione tiene conto del tempo di arrivo dell'onda P e dell'onda S a ciascuna profondità di misura, in funzione della distanza tra la sorgente e il sensore. E' necessaria una preventiva filtratura del segnale sismico nel caso di frequenze riconducibili al rumore di fondo che sono al di fuori della banda del segnale stesso. La filtratura potrà essere effettuata con sistemi software e dovrà essere indicata con precisione nella relazione di elaborazione della prova.

I tempi delle onde S e delle onde P dovranno essere plottati su un diagramma profondità-tempi sul quale saranno individuati, altresì, i tratti a pendenza costante (derivanti da interpolazione lineare dei punti di ciascun tratto con, indicati, i coefficienti di regressione ottenuti). L'inclinazione di ciascun tratto della spezzata fornirà la velocità media (P o S) del sismostrato. Per le profondità inferiori all'*offset* (distanza tra il punto di energizzazione e il bocca-foro) le velocità interpolate dovranno essere confrontate con le velocità dirette.

L'Impresa è tenuta a fornire, per ciascuna verticale indagata:

- Relazione sulle modalità esecutive delle prove, contenente quanto richiesto in precedenza
- Scheda tecnica della strumentazione utilizzata



**UFFICIO SPECIALE RICOSTRUZIONE  
MARCHE - SISMA 2016**



- Posizione relativa del punto di energizzazione e del bocca foro su schema planimetrico in scala 1:200
- Diagrammi profondità-tempi
- Tempi di arrivo a ciascuna profondità
- Velocità delle onde P e S in ciascun sismostrato in formato gabellare
- Parametri elastici del terreno (E,  $\nu$  e G) calcolati sulla base dei dati stratigrafici disponibili