

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

ALLEGATO 2

Report della campagna geognostica e geofisica

**REPORT DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA E GEOFISICA AI FINI DELLO “STUDIO DI
MICROZONAZIONE SISMICA (APPROFONDIMENTO AL II° LIVELLO DAL REGIONE EMILIA-
ROMAGNA N. 112/2007 E SMI)” DEL COMUNE DI RAVENNA**

§ 1) INTRODUZIONE

1.1) PREMESSA

Il presente documento riferisce sulle prove geofisiche, di tipo sismico attivo e passivo, e sulle prove penetrometriche condotte per lo *“studio di microzonazione sismica del territorio urbanizzato e rurale (approfondimento al II° livello dal Regione Emilia-Romagna n. 112/2007 e smi)”* del Comune di Ravenna.

In funzione di ciò ed in ottica preventiva, l’Amministrazione ha commissionato, in accordo con la Regione Emilia Romagna, un programma di indagini volte alla realizzazione della microzonazione sismica comunale, tramite una serie di stendimenti geofisici (con particolare riferimento alle stazioni di misura di tipo passivo), supportati da prove penetrometriche statiche, con l’obiettivo di ridurre la maglia di conoscenza degli abitati del Comune di Ravenna.

In particolare sono state eseguite 15 misure CPT, 15 misure SCPTU e 15 misure di rumore ambientale con tecnica a stazione singola di tipo H/V (Determina Dirigenziale DQ 28 del 29.12.2015), 10 misure MASW e 10 misure ESAC (Determina Dirigenziale DQ 4 del 15.02.2016).

1.2) Contesto

Le indagini geofisiche e geognostiche integrate, sono state eseguite all’interno del territorio del Comune di Ravenna.

Si rimanda alle carte di ubicazione delle indagini per l’inquadramento delle prove eseguite nei 36 stralci in scala 1:10.000 comprendenti tutti i centri abitati maggiori del Comune suddetto.

Questa suddivisione si è resa necessaria vista la vastità del territorio comunale di Ravenna e viste le indicazioni di rappresentazione cartografica contenute nel D.G.R. 2193/15.

1.3) Tipologia di indagini

La caratterizzazione sismica - dinamica del terreno, è stata eseguita attraverso prove geofisiche integrate e complementari fra loro, di cui:

- *Prove MASW (Multistation Analysis of Surface Waves)*, per determinazione di profili di velocità Vs nel sottosuolo, che hanno permesso di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa NCT 2008 “*Norme Tecniche per le Costruzione DM 14/01/2008*”;
- *Prove ESAC (Extended Spatial AutoCorrelation)* per la determinazione di profili di velocità Vs nel sottosuolo a profondità non investigabili con il solo metodo MASW;
- *Prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr)*, e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per determinare l’eventuale comportamento amplificativo del terreno.

La caratterizzazione geotecnica del terreno, è avvenuta attraverso prove geognostiche, di cui:

- *Prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test – CPT)* consistono nell'infiggere nel terreno una particolare punta articolata e nel misurare la resistenza che essa incontra alla penetrazione.
- *Prove penetrometriche statiche con piezocono sismico (Seismic Cone penetration Test – SCPTU)* consistono nell'infiggere nel terreno una particolare punta articolata e nel misurare la resistenza che essa incontra alla penetrazione, la pressione dell’acqua interstiziale e di misurare il profilo di velocità delle onde sismiche.

1.4) Scelta delle zone oggetto delle indagini

Le indagini sono state effettuate in 36 aree del Comune di Ravenna; nella tabella seguente si evidenziano le aree in cui sono state effettuate e la tipologia delle indagini stesse:

Tipologia indagine	Area
HVSR1 SCPTU3	Sant'Alberto
MASW1 ESAC1 HVSR2 CPT3	Savarna
CPT1	Mezzano
MASW2 ESAC2 CPT2	Santerno
SCPTU2	Piangipane
CPT4	Area Industriale – Fornace Zarattini
SCPTU1	Casal Borsetti
	Marina Romea
SCPTU14 MASW10 ESAC10	Marina di Ravenna
	Area Industriale 2
HVSR9	Area Industriale 3
CPT15	Area Industriale 4

MASW7 ESAC7 HVSR11 SCPTU15	Porto Fuori
HVSR10 SCPTU8	Punta Marina
	Lido Adriano
SCPTU9	Lido di Dante
HVSR14	Lido di Classe
MASW9 ESAC9	Lido di Savio
CPT5 – CPT6	Ponte Nuovo e Madonna dell'Albero
	Classe
MASW6 ESAC6 HVSR13	Fosso Ghiaia
MASW5 ESAC5 CPT12	Savio di Ravenna
SCPTU6 CPT9	Villanova e San Marco
HVSR3 CPT8	Roncalceci
SCPTU5 HVSR4	Ragone e Filetto
MASW3 ESAC3 HVSR5	San Pietro in Trento
HVSR7	Gambellara
SCPTU4	Coccolia

MASW4 ESAC4 SCPTU13 HVSUR6	<i>San Pietro in Vincoli</i>
CPT10	<i>Santo Stefano e Campiano</i>
CPT11	<i>San Pietro in Campiano</i>
	<i>San Zaccaria</i>
SCPTU7	<i>Casemurate</i>
SCPTU12	<i>Castiglione di Ravenna</i>
HVSUR12 CPT7	<i>San Bartolo</i>
MASW8 ESAC8 SCPTU10 – SCPTU11 CPT13 – CPT14 HVSUR8 – HVSUR15	<i>Ravenna Città</i>

1.5) Descrizione dei contenuti della relazione

La presente relazione illustrerà la metodologia di acquisizione, la strumentazione utilizzata, le tecniche e le modalità di inversione/interpretazione, oltre ad evidenziare i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica integrata, a supporto della caratterizzazione sismica del sottosuolo relativamente alle diverse aree indagate.

Dopo un quadro descrittivo delle tecniche di indagine, riportate nel Capitolo 2 (“*Caratterizzazione sismica e geognostica*”), si riportano le modalità di interpretazione e analisi dei dati acquisiti ed i risultati, di cui al Capitolo 3 (“*Elaborazione dati e risultati*”).

§ 2) CARATTERIZZAZIONE SISMICA A GEOGNOSTICA

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica e geognostica delle aree oggetto di indagine, i dati sono stati acquisiti secondo modalità che hanno permesso l'inversione ed interpretazione sequenziale e correlata, secondo diverse tecniche di cui:

1. **Tecnica MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) che sono una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs;
2. **Tecnica ESAC** (Extended Spatial AutoCorrelation method) è una generalizzazione del metodo ReMi finalizzata alla determinazione delle velocità di propagazione delle onde superficiali presenti nel campo delle vibrazioni ambientali alle varie frequenze, generalmente in terreni come quelli in esame ha un alto potere penetrante;
3. **Acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr)**, con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa, NTC 2008, e determinare l'eventuale comportamento amplificativo del terreno.
4. **Prove penetrometriche statiche (CPT)**, eseguite con un penetrometro statico olandese di tipo Pagani superpesante, infiggendo nel terreno una particolare punta articolata e misurando la resistenza che essa incontra alla penetrazione.
5. **Prove penetrometriche statiche con piezocono sismico (SCPTU)**, eseguite con piezocono sismico Tecnopenta TP CPL2IN SISMI, che si avvale del sistema G1-CPL2IN+D1-SISMI-USB il quale permette, oltre all'acquisizione dei normali parametri di resistenza alla punta (qc), attrito laterale (fs) e pressione neutra (U), di determinare la velocità delle onde di taglio (Vs) in situ.

2.1) Tecnica MASW

Il principio ispiratore della tecnica MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh e di Love quando queste si propagano in un mezzo stratificato.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga.

Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- L'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi, in quanto l'inversione di tale curva viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

I valori preliminari per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Le onde superficiali riverberate (*back scattered*) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale, se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento.

Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente.

Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza in funzione della distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma.

In questo caso la prova MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N.

Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente.

In particolare l'analisi MASW è stata realizzata con il seguente tipo di acquisizione:

- **acquisizione ZVF** ossia con energizzazione verticale e acquisizione con geofoni verticali per l'analisi MASW della componente verticale delle onde di Rayleigh;

2.1.1 Strumentazione per sismica MASW

Le misure MASW sono state effettuate con strumento combinato PASI MOD.16SG24-N corredato da 12 geofoni a 4,5 Hz.

I profili sismici sono stati eseguiti energizzando artificialmente il terreno e registrando le vibrazioni prodotte mediante captatori, denominati geofoni, collegati ad un ricevitore (sismografo) attraverso un cavo multipolare.

I 12 geofoni, con frequenza minima di soglia di 4,5 Hz, sono stati posizionati ad una distanza definita l'uno dall'altro così da coprire una distanza orizzontale predeterminata.

L'energizzazione è avvenuta battendo una mazza da 11 Kg su una piastra in alluminio; al momento della battuta vengono generate artificialmente onde sismiche nel terreno ed ha inizio la registrazione (*trigger*) con campionamento costante e predeterminato del segnale da parte dei geofoni.

Per ogni scoppio abbiamo utilizzato la metodologia dello *stacking* che consiste nel ripetere più volte le misurazioni al fine di amplificare l'ampiezza del segnale sismico ed ottenere quindi sismogrammi di più facile lettura.

2.2) Metodo ESAC

Si tratta di una procedura sperimentale per la determinazione del profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo a partire da misure di vibrazioni ambientali condotte con geofoni verticali posizionati con una geometria conosciuta (antenna sismica o *seismic array*).

In particolare, la procedura è finalizzata alla determinazione delle velocità di propagazione delle onde superficiali presenti nel campo delle vibrazioni ambientali alle varie frequenze di vibrazione (“curve di dispersione”).

Questa informazione verrà poi utilizzata all’interno di una procedura di inversione per dedurre il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo nell’ipotesi che questo sia costituito da una pila di strati orizzontali sovrapposti ed omogenei al loro interno.

Il metodo ESAC (Extended Spectral AutoCorrelation method) è frutto di una idea sviluppata inizialmente da Aki (1957).

Secondo Aki, il campo d’onda delle vibrazioni ambientali può essere rappresentato come la combinazione lineare di onde piane di diverse frequenze e con fase ed ampiezza casuale che si muovono sul piano orizzontale e che provengono da direzioni differenti.

Aki dimostrò che, sebbene ogni serie temporale dedotta dalla registrazione di questo campo d’onde in un punto abbia un carattere stocastico, due registrazioni effettuate in punti diversi mostrino delle “somiglianze” (in senso statistico) e che da queste sia possibile dedurre informazioni sulle velocità di fase delle diverse onde misurate nelle due posizioni.

Queste somiglianze sono rivelate dall’andamento di una funzione di correlazione ϕ .

Dato che la stima della correlazione fra le due serie di registrazioni è effettuata senza tenere conto di alcuno sfasamento temporale, la funzione ϕ è detta di autocorrelazione.

Aki dimostrò che in determinate condizioni (in particolare che le onde siano tutte fra loro indipendenti e che le direzioni di provenienza siano distribuite con probabilità uniforme attorno ai due geofoni) la funzione di autocorrelazione relativa alla componente verticale delle vibrazioni misurate in due posizioni ha la forma di una funzione di Bessel di ordine 0 e dipende solo dalla loro distanza relativa.

Per una data frequenza vengono calcolate le diverse funzioni di autocorrelazione per tutte le distanze relative alle diverse coppie di sensori.

La velocità di fase viene determinata in modo da riprodurre al meglio l'andamento osservato della funzione di correlazione in funzione della distanza Δr .

2.2.1 Strumentazione per sismica per ESAC

I dati sono stati acquisiti con strumento combinato PASI MOD.16SG24-N corredato da 12 geofoni verticali a 4,5 Hz disposti ad L con lunghezza di acquisizione sempre superiore ai venti minuti.

Le distanze tra i vari geofoni sono state scelte variabili per avere la massima correlazione tra le varie coppie di geofoni e per essere sicuri di avere la massima penetrazione possibile se in presenza di una coltre alterata di copertura.

2.3) Caratterizzazione sismica con microtremori - HVSR o Nakamura

Il metodo dei rapporti spettrali H/V (rapporto fra gli spettri di ampiezza delle componenti orizzontali rispetto a quelle verticali del moto del suolo) o metodo di Nakamura (Nakamura, 1989) è stato utilizzato in modo intensivo per stimare le frequenze di risonanza del sito in esame.

Esso è stato applicato in diversi campi d'indagine, quali la zonazione sismica in aree urbane (Lachet et al., 1996), lo studio dei bacini sedimentari (Al Yuncha & Luzon, 2000) e lo studio delle frequenze di risonanza delle strutture abitative (Mucciarelli & Monachesi, 1998; Mucciarelli et al., 2001; Nakamura et al., 2000).

L'ampio uso di tale metodologia ha evidenziato nelle diverse applicazioni numerosi punti di dibattito nell'ambito della comunità scientifica.

L'aspetto comune che può essere dedotto dai lavori presenti in letteratura è che la tecnica di Nakamura è in grado di stimare la frequenza di risonanza del sito in esame ma non è affidabile per la stima assoluta dell'amplificazione del moto del suolo (Mucciarelli et al., 2001).

Inoltre i numerosi lavori riguardanti l'applicazione del metodo H/V offrono spiegazioni non univoche circa alcune importanti assunzioni del metodo, quali la composizione del campo d'onda analizzato, le condizioni di registrazione del rumore sismico e la procedura di "pre - processing" dei dati di rumore.

Per l'utilizzo di tale metodo si assume che gli strati soffici siano piani e paralleli e che la componente verticale del moto non subisca amplificazioni all'interfaccia substrato sismico – strato soffice.

2.3.1 Strumentazione per microtremori

I dati sono stati acquisiti tramite un geofono tridimensionale a 4,5 Hz scegliendo 15 postazioni di e misurando per ognuna di esse i microtremori per un tempo di circa 27 minuti.

Dopo aver posizionato il geofono tridimensionale in piano e allineato i suoi assi orizzontali con le direzioni nord - sud e est - ovest, abbiamo scelto come tempo di campionamento 2 msec ovvero una frequenza di campionamento di 500 Hz.

La durata di ciascuna registrazione è stata di circa 27 minuti acquisendo così circa 819.000 campioni.

2.4) Prove penetrometriche

2.4.1 Prove penetrometriche statiche

Le prove penetrometriche statiche sono standardizzate nella norma n° 3.441 ASTM e comprese nelle raccomandazioni Issmafe (1976), nonché AGI, per l'esecuzione delle indagini geotecniche (1977).

La prova penetrometrica statica è stata eseguita con un penetrometro statico olandese superpesante di tipo Pagani da 10 tonnellate.

La CPT consiste nell'infiggere nel terreno una particolare punta articolata e nel misurare la resistenza che essa incontra alla penetrazione.

Le caratteristiche della punta sono:

- area di base della punta 10 cmq;
- superficie laterale friction 150 cmq.

La spinta viene fornita da un'apparecchiatura idraulica ed è trasmessa alla punta mediante una batteria di aste cave nel cui interno scorrono aste più piccole.

La prova consiste nel far penetrare verticalmente nel terreno la punta attraverso la batteria di aste.

L'infissione è eseguita con una velocità di circa 2 cm/secondo; l'avanzamento avviene nelle tre fasi seguenti, che si ripetono ogni 20 centimetri:

- 1) *scende solo la punta delle astine interne;*
- 2) *scende la punta ed un corto manicotto spinti dalle astine interne;*
- 3) *scende tutta la batteria fino a quando la punta e il manicotto tornano in battuta sull'involucro esterno delle aste e raggiungono la nuova quota di inizio misura.*

Nella fase 1 viene misurata la resistenza alla punta (Q_c) relativa alla pressione di rottura del terreno a quella profondità, ottenuta dividendo la forza di spinta per l'area di punta.

Nella fase 2 si misura invece la resistenza laterale (F_s), cioè l'attrito acciaio/terreno, ottenuta dividendo la spinta esercitata, e depurata di quella misurata nella fase 1, per l'area della superficie laterale del manicotto.

Nella fase 3 viene misurata la resistenza totale all'avanzamento: tale dato tiene conto dell'attrito che si esercita su tutta la batteria.

Le letture elaborate sono presentate sotto forma di profili penetrometrici continui e sono diagrammate in funzione della profondità e forniscono:

- resistenza alla punta (Q_c);
- resistenza laterale (F_s);
- resistenza alla punta totale (Q_t);
- natura litologica;
- peso di volume;
- coesione non drenata C_u (per la parte coesiva del sottosuolo);
- angolo d'attrito interno Φ (per la parte incoerente del sottosuolo);
- modulo edometrico M_o .

2.4.2 Prove penetrometriche statiche con piezocono sismico

La prova penetrometrica statica con piezocono sismico viene eseguita come la prova penetrometrica statica sopra descritta. In più viene misurata la pressione interstiziale dell'acqua nei pori dei sedimenti e ogni metro viene misurata la velocità delle onde di taglio S per la caratterizzazione sismica del sito.

§ 3) ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

Come detto in precedenza le indagini hanno riguardato quasi tutti i centri abitati del Comune di Ravenna.

Non tutte le aree hanno avuto indagini poiché, in virtù della costruzione delle carte delle Vs e dei coefficienti di amplificazione sismica previste dallo studio di secondo livello di microzonazione sismica, abbiamo preferito disporre tali terebrazioni in modo strategico onde coprire più territorio possibile.

Di seguito proponiamo un report di dettaglio con grafici ed interpretazioni, delle indagini svolte in ogni aree studiata.

3.1) Sant'Alberto

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR1) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU3).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 1,7 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 0,9$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali e marini soffici; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 186 m/sec.**

3.2) Savarna

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVS2), effettuato uno stendimento MASW – ESAC (MASW – ESAC 1) e una prova penetrometrica statica (CPT3).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 20 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 1,3$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$. Inoltre frequenze di risonanza di 20 Hz sono del tutto trascurabili ai fini ingegneristici.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 168, 143, 229, 191, 212, 220, 193, 240, 218, 288
Thickness (m): 6.8, 5.3, 6.2, 6.2, 5.8, 5.7, 5.7, 6.3, 6.1, 5.9
Density (gr/cm³) (approximate values): 1.80 1.77 1.87 1.84 1.83 1.84 1.81 1.84 1.81 1.88
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 51 36 98 67 82 89 67 106
86 156

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 353 307 472 411 403 408 367 418 372 481
Poisson: 0.35 0.36 0.35 0.36 0.31 0.30 0.31 0.25 0.24 0.22

Vs30 (m/s): 184

Si notano velocità molto basse e diverse piccole inversioni lungo tutto il profilo di Vs calcolato.

Il Vs₃₀ calcolato risulta essere pari a 184 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto la profondità di 30 metri in terreni alluvionali molto soffici.

3.3) Mezzano

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica (CPT1).

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto la profondità di 30 metri in terreni alluvionali molto soffici.

3.4) Santerno

In questa zona abbiamo effettuato uno stendimento MASW - ESAC (MASW - ESAC 2) e una prova penetrometrica statica (CPT2).

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 145, 131, 398, 137, 316, 343

Thickness (m): 7.4, 7.3, 4.9, 5.1, 5.0, 30.3

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.84 1.76 1.99 1.75 1.92 1.94

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 39 30 315 33 192 228

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 406 298 772 284 578 625

Poisson: 0.43 0.38 0.32 0.35 0.29 0.28

Vs30 (m/s): 173

Si notano velocità molto basse e diverse inversioni lungo tutto il profilo di Vs calcolato.

Da notare in particolare quella a circa 20 metri di profondità con passaggio da 398 m/sec a 137 m/sec che potrebbe generare problemi in caso di sisma.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 173 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo D.

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto la profondità di 30 metri in terreni alluvionali molto soffici.

3.5) Piancipane

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU2).

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali e marini soffici; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 183 m/sec.**

3.6) Area Industriale (Fornace Zarattini)

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica (CPT4).

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto la profondità di 12 metri in terreni alluvionali molto soffici dopo di che si è fermata su uno strato decisamente consistente.

3.7) Casal Borsetti

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU1).

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali e marini soffici; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 176 m/sec.**

3.8) Marina Romea

In questa zona non sono state eseguite nuove indagini poiché l'area e un suo ragionevole intorno sono già sufficientemente studiate ai fini del secondo livello di approfondimento sismico.

3.9) Marina di Ravenna

In questa zona abbiamo effettuato uno stendimento MASW – ESAC (MASW – ESAC 10) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU14).

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 168, 123, 195, 286, 229, 296, 348, 321, 323, 563
Thickness (m): 6.0, 6.4, 5.4, 5.8, 5.4, 5.4, 5.4, 5.3, 9.5
Density (gr/cm³) (approximate values): 1.79 1.77 1.83 1.93 1.90 1.92 1.94 1.92 1.92 2.03
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 50 27 70 158 100 168 235
198 201 645

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 330 311 393 604 535 579 637 579 581 921
Poisson: 0.33 0.41 0.34 0.36 0.39 0.32 0.29 0.28 0.28 0.20

Vs30 (m/s): 184

Si notano velocità molto basse e diverse inversioni lungo tutto il profilo di Vs calcolato che tuttavia riteniamo non significative dal punto di vista sismico.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 184 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

3.10) Area Industriale 2

In questa zona non sono state eseguite nuove indagini poiché l'area e un suo ragionevole intorno sono già sufficientemente studiate ai fini del secondo livello di approfondimento sismico.

3.11) Area Industriale 3

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVS9).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 9,2 Hz, è chiaramente una prova di difficile interpretazione e senza un picco chiaro in quanto il valore del rapporto H/V è uguale a $A0 = 1,7$ e i criteri SESAME per avere un picco univoco sono parzialmente rispettati.

La qualità della misura è risultata essere B2.

Da ciò, e viste anche altre misure di rumore presenti nelle aree limitrofe, desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

3.12) Area Industriale 4

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica (CPT15) in quanto l'area e un suo ragionevole intorno sono già sufficientemente studiate ai fini del secondo livello di approfondimento sismico.

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto i 30 metri di profondità in terreni coesivo – granulari fino a 18 metri dopo di che abbiamo incontrato uno strato granulare di 6 metri di spessore, per finire di nuovo in terreni coesivo - granulari.

3.13) Porto Fuori

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR11), effettuato uno stendimento MASW – ESAC (MASW – ESAC7) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU15).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 13,4 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A0 = 1,1$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 159, 165, 253, 264, 256, 262, 132, 300, 236, 310
Thickness (m): 7.1, 5.4, 6.5, 4.6, 7.0, 6.0, 7.2, 6.1, 5.1, 5
Density (gr/cm³) (approximate values): 1.91 1.82 1.89 1.92 1.91 1.87 1.73 1.88 1.83 1.90
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 48 50 121 134 125 129 30
169 102 182

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 545 386 508 567 561 477 258 494 389 523
Poisson: 0.45 0.39 0.34 0.36 0.37 0.28 0.32 0.21 0.21 0.23

Vs30 (m/s): 206

Si notano velocità molto basse e diverse piccole inversioni lungo tutto il profilo di Vs calcolato.

Inoltre intorno ai 38 – 39 m si nota un'inversione di velocità più marcata che in caso di sisma potrebbe essere problematica.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 206 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

3.14) Punta Marina

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR10) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU8).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 20 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 1,3$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi marini sabbiosi e alluvionali soffici di natura prevalentemente coesiva; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 191 m/sec.**

3.15) Lido Adriano

In questa zona non sono state eseguite nuove indagini poiché l'area e un suo ragionevole intorno sono già sufficientemente studiate ai fini del secondo livello di approfondimento sismico.

3.16) Lido di Dante

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU9).

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali soffici con alternanze di limi – sabbiosi e argille - sabbiose; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 180 m/sec.**

3.17) Lido di Classe

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR14) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico.

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 0,7 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 0,8$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

3.18) Lido di Savio

L'analisi congiunta MASW – ESAC 9 ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 152, 168, 232, 286, 257, 369, 271, 409, 418, 369

Thickness (m): 3.9, 4.0, 5.9, 6.2, 6.6, 6.4, 6.6, 6.3, 5.9, 8.2

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.85 1.78 1.88 1.96 1.92 1.97 1.92 1.95 1.96 1.93

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 43 50 101 160 127 269 141 327 343 262

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 431 317 493 677 579 719 577 658 693 589

Poisson: 0.43 0.30 0.36 0.39 0.38 0.32 0.36 0.19 0.21 0.18

Vs30 (m/s): 228

Si notano velocità molto basse e una serie di deboli inversioni di velocità che tuttavia crediamo non produrre particolari problematiche in caso di evento sismico.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 228 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

3.19) Ponte Nuovo e Madonna dell'Albero

In questa zona abbiamo eseguito due prove penetrometriche statiche (CPT5 e CPT6).

La *prova penetrometrica statica* 5 ha raggiunto i 30 metri di profondità in terreni alluvionali coesivi in superficie per passare intorno ai 17 metri a terreni più granulari.

La *prova penetrometrica statica* 6 ha raggiunto i 15 metri di profondità bloccandosi in uno strato parecchio addensato dopo aver perforato 10 – 11 metri di materiali coesivi.

3.20) Classe

In questa zona non sono state eseguite nuove indagini poiché l'area e un suo ragionevole intorno sono già sufficientemente studiate ai fini del secondo livello di approfondimento sismico.

3.21) Fosso Ghiaia

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR13) ed effettuato uno stendimento MASW – ESAC (MASW – ESAC 6).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 0,7 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 0,8$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 50 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 173, 239, 230, 259, 238, 266

Thickness (m): 1.1, 2.9, 3.1, 11.4, 29.1, 2.4

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.80 1.90 1.89 1.96 1.86 1.89

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 54 109 100 132 105 134

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 353 538 511 682 442 518

Poisson: 0.34 0.38 0.37 0.42 0.30 0.32

Vs30 (m/s): 241

Si notano velocità molto basse senza tuttavia generare inversioni di velocità di rilievo.

Il V₃₀ calcolato risulta essere pari a 241 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

3.22) Savio

In questa zona abbiamo eseguito uno stendimento MASW – ESAC (MASW – ESAC 5).

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 50 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 79, 223, 120, 206, 222, 306, 374

Thickness (m): 1.0, 2.5, 1.1, 8.1, 23.4, 17.9, 6.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.61 1.92 1.69 1.86 1.83 1.91 1.97

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 10 95 24 79 90 179 276

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 157 565 223 449 391 556 707

Poisson: 0.33 0.41 0.30 0.37 0.26 0.28 0.31

Vs30 (m/s): 200

Si notano velocità molto basse con una inversione abbastanza superficiale tale da poter creare problematiche in caso di sisma.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 200 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

3.23) Villanova e San Marco

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica (CPT9) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU6).

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto i 30 metri di profondità in materiali prevalentemente coesivi.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

3.24) Roncalceci

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR3) e una prova penetrometrica statica (CPT8).

La *prova H/V* presenta problematiche di tipo elettromagnetico e di deriva.

La qualità della misura è risultata essere C.

Da prove HVSR eseguite nella zona e nelle zone limitrofe si desume chiaramente l'assenza di picchi chiari e persistenti nel range di frequenze 0,6 – 20 Hz.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto i 30 metri di profondità in materiali prevalentemente coesivi.

3.25) Ragone e Filetto

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR4) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU5).

La *prova H/V*, indica una frequenza di risonanza di 1,2 Hz, con valore di tale rapporto di $A0 = 2,5$.

La qualità della misura è risultata essere B1.

Anche se nella zona e nelle aree prospicienti a quella in esame non si registrano picchi simili riteniamo, vista l'importanza del picco e la profondità dell'ipotetica discontinuità identificata, che sia possibile un'anomalia locale dovuta ad un sovraconsolidamento dei terreni alluvionali.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 100 - 150 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco a cavallo tra PIANURA 1 e PIANURA 2. Prudenzialmente per la redazione della carta dei coefficienti di amplificazione sismica consigliamo di usare PIANURA 2

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali soffici di tipo prevalentemente coesivo; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 188 m/sec.**

3.26) San Pietro in Trento

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR5) ed effettuato uno stendimento MASW – ESAC (MASW – ESAC3).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 0,2 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 1,1$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 40 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 188, 164, 156, 260, 274

Thickness (m): 1.1, 3.4, 3.0, 10.5, 22.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.87 1.83 1.74 1.92 1.93

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 66 49 42 130 145

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 472 389 277 572 589

Poisson: 0.41 0.39 0.27 0.37 0.36

Vs30 (m/s): 231

Si notano velocità basse senza tuttavia generare inversioni di velocità di rilievo.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 231 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

3.27) Gambellara

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR7).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 8,2 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 1$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

3.28) Cocolia

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU4).

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali soffici di natura prevalentemente coesiva; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 199 m/sec.**

3.29) San Pietro in Vincoli

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSr6), effettuato uno stendimento MASW - ESAC (MASW – ESAC 4) e una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU6).

La *prova H/V*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 20 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A0 = 1,3$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

L'analisi congiunta MASW – ESAC ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 99, 206, 92, 268, 245, 261, 294

Thickness (m): 0.9, 2.5, 1.3, 8.7, 27.3, 18.5, 0.8

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.68 1.85 1.62 1.94 1.85 1.88 1.91

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 17 79 14 139 111 128 165

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 216 431 164 621 436 486 558

Poisson: 0.37 0.35 0.27 0.39 0.27 0.30 0.31

Vs30 (m/s): 222

Si notano velocità molto basse e un'inversione pronunciata nei primi metri di sottosuolo.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 222 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

3.30) Santo Stefano e Campiano

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica (CPT10).

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto i 30 metri di profondità in materiali prevalentemente coesivi.

3.31) San Pietro in Campiano

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica (CPT11).

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto i 30 metri di profondità in materiali prevalentemente coesivi.

3.32) San Zaccaria

In questa zona non sono state eseguite nuove indagini poiché l'area e un suo ragionevole intorno sono già sufficientemente studiate ai fini del secondo livello di approfondimento sismico.

3.33) Casemurate

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU7).

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* ha raggiunto la profondità di 30 metri in depositi alluvionali soffici di tipo prevalentemente coesivo; la prova sismica ha evidenziato un **Vs30 di 186 m/sec.**

3.34) Castiglione di Ravenna

In questa zona abbiamo eseguito una prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU12).

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

3.35) San Bartolo

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR12) e una prova penetrometrica statica (CPT7).

La *prova H/V*, indica una frequenza di risonanza di 1 Hz, con valore di tale rapporto di $A0 = 1,4$.

La qualità della misura è risultata essere B1.

Anche se nella zona e nelle aree prospicienti a quella in esame non si registrano picchi simili riteniamo, vista l'importanza del picco e la profondità dell'ipotetica discontinuità identificata, che sia possibile un'anomalia locale dovuta ad un sovraconsolidamento dei terreni alluvionali.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 100 - 150 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco a cavallo tra PIANURA 1 e PIANURA 2. Prudenzialmente per la redazione della carta dei coefficienti di amplificazione sismica consigliamo di usare PIANURA 2.

La *prova penetrometrica statica* ha raggiunto i 30 metri di profondità in materiali prevalentemente coesivi.

3.36) Ravenna Città

In questa zona abbiamo eseguito due misure H/V (HVSR8 e HVSR15), effettuato uno stendimento MASW - ESAC (MASW – ESAC 8), due prove penetrometriche statiche con piezocono sismico (SCPTU10 e SCPTU11) e due prove penetrometriche statiche (CPT13 e CPT14).

La *prova H/V 8*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 1,9 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 1$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

In questa zona abbiamo eseguito una misura H/V (HVSR15).

La *prova H/V 15*, sebbene nel report sia indicata una frequenza di risonanza di 20 Hz, è chiaramente una prova senza un picco in quanto il valore di tale rapporto ($A_0 = 0,9$) si attesta ben sotto al minimo ritenuto plausibile di $A_0 = 2$.

La qualità della misura è risultata essere A2.

Da ciò desumiamo un substrato sismico atteso a profondità di circa 150 – 250 m e quindi in base alla DGR 2193/15 una scelta dell'abaco del tipo PIANURA 2.

L'analisi congiunta MASW – ESAC 8 ha fornito il profilo di velocità delle onde S nei primi 60 metri di sottosuolo, fornendo un aiuto fondamentale nella scelta dei coefficienti di amplificazione sismica.

In particolare abbiamo ottenuto:

Vs (m/s): 172, 225, 169, 267, 220, 295, 260, 358, 368, 333

Thickness (m): 4.3, 5.0, 6.0, 6.4, 6.5, 6.2, 6.4, 5.8, 6.3, 7.1

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.97 1.93 1.82 1.94 1.85 1.91 1.89 1.93 1.94 1.90

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 58 97 52 138 90 167 128
248 263 211

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 694 587 379 618 433 562 509 603 629 532

Poisson: 0.47 0.41 0.38 0.39 0.33 0.31 0.32 0.23 0.24 0.18

Vs30 (m/s): 211

Si notano velocità molto basse e una serie di deboli inversioni di velocità che tuttavia crediamo non produrre particolari problematiche in caso di evento sismico.

Il V_{s30} calcolato risulta essere pari a 211 m/sec, corrispondente ad una categoria di suolo C.

La *prova penetrometrica statica con piezocono sismico* sarà integrata successivamente in quanto a causa delle cattive condizioni meteorologiche non è stato possibile effettuarla nei tempi previsti.

Le *prove penetrometriche statiche* hanno raggiunto i 30 metri di profondità entrambe in terreni coesivi fino a 10 - 12 metri dopo di che abbiamo incontrato uno strato granulare di circa 8 - 12 metri di spessore, per finire in terreni coesivo - granulari.