

Committente :



**MINISTERO DELLA DIFESA**  
**Ufficio Autonomo Lavori - G.M. per M.D.**  
Via Firenze, 35 - 00184 - Roma

Progetto : **PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA**  
**LAVORI DI AMMODERNAMENTO E RINNOVAMENTO STRUTTURALE ED IMPIANTISTICO**  
**DEL FABBRICATO "EX TEATRO" PER LA REALIZZAZIONE DI UN CENTRO SPORTIVO**  
**ADIBITO ALLA PREPARAZIONE DEL PERSONALE MILITARE ALLE P.E.F.O.**  
CIG : B10CA30BA1

Descrizione elaborato : **ELABORATO DESCRITTIVO**  
**RELAZIONE INDAGINI STRUTTURALI**



Progettista :

**DAI**  
**S R L**

Viale di Trastevere 143,  
00153 Roma  
P.IVA 14823911004  
Tel. +39 06 64561239  
daisrl@aruba.pec.it  
info@daisrl.com

Timbri e Firme :

Responsabile della progettazione

Ing. Matteo Domenicucci  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma



REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	27/11/2024	Prima emissione	M.D.	M.D.	M.D.
01	29/01/2025	Integrazione	M.D.	M.D.	M.D.
Codice elaborato : <b>PFTE-PAL-REL-GEN-006</b>		Livello progettuale : <b>PFTE</b>	Scala : -	Elaborato : <b>GEN-06</b>	

---

## RELAZIONE INDAGINI STRUTTURALI

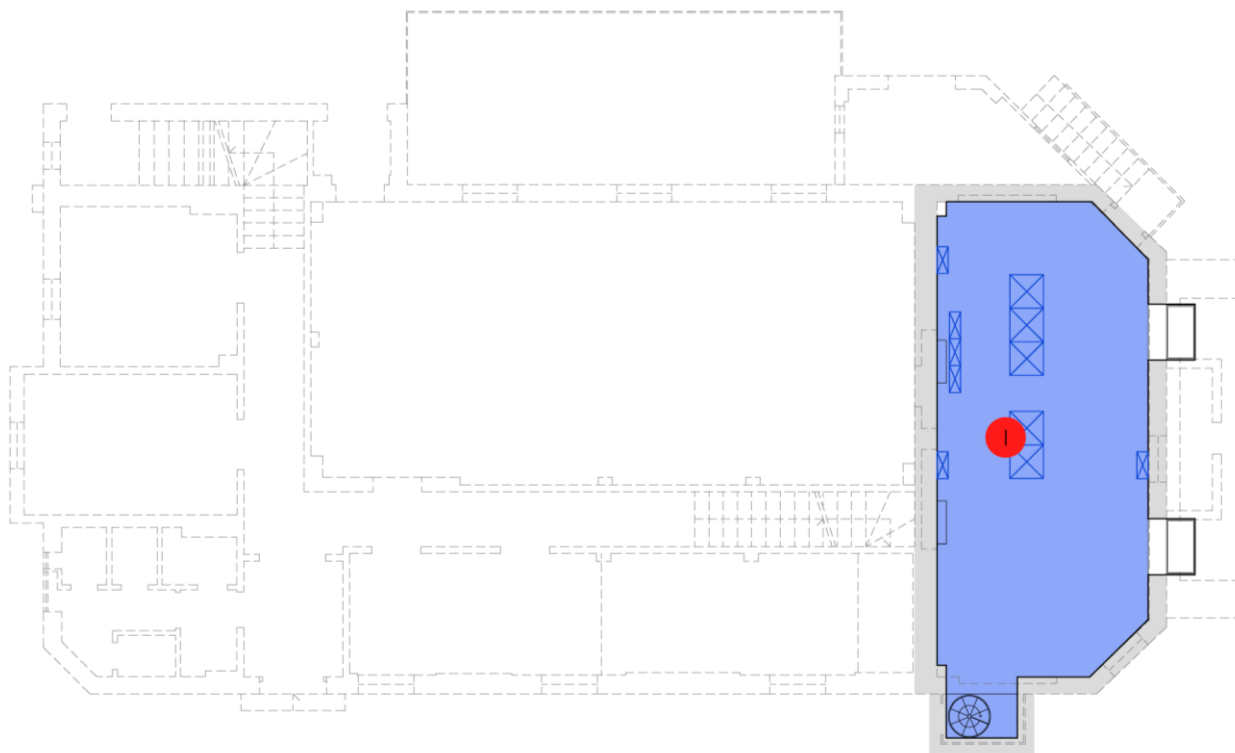
### Sommario

PREMESSA .....	1
INQUADRAMENTO PIANO INTERRATO .....	2
INQUADRAMENTO PIANO TERRA .....	4
INQUADRAMENTO PIANO PRIMO .....	13

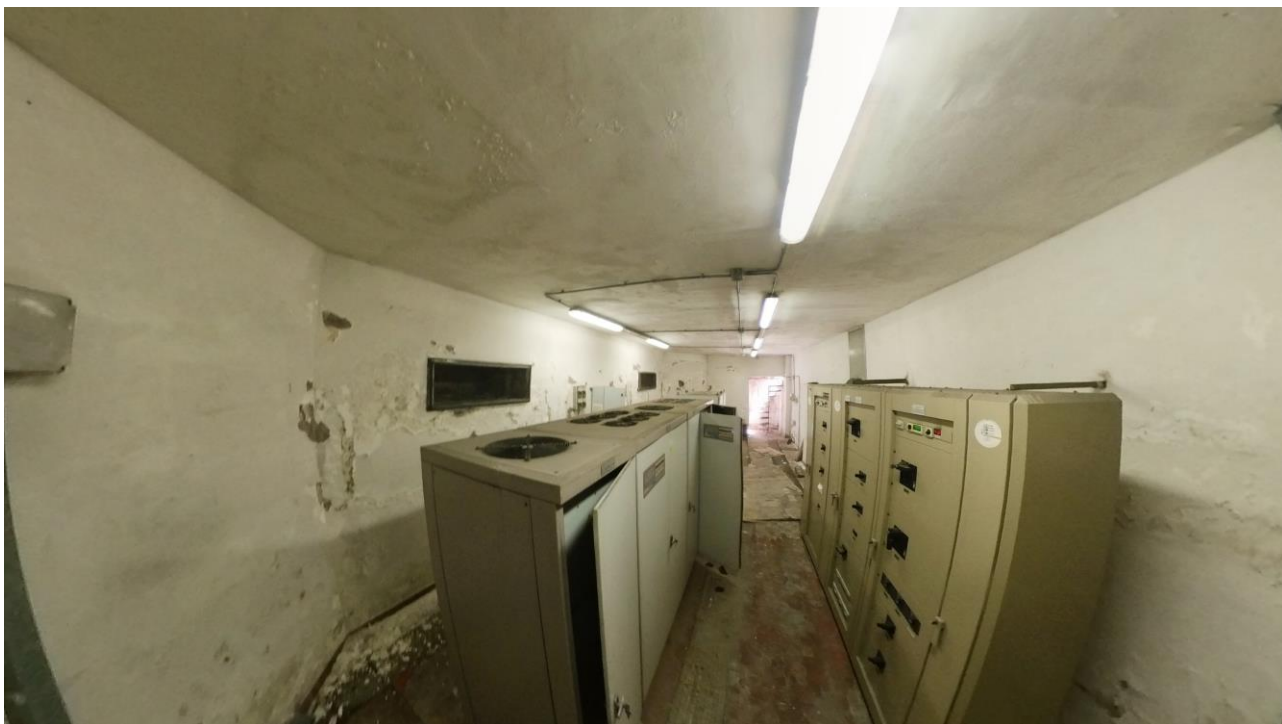
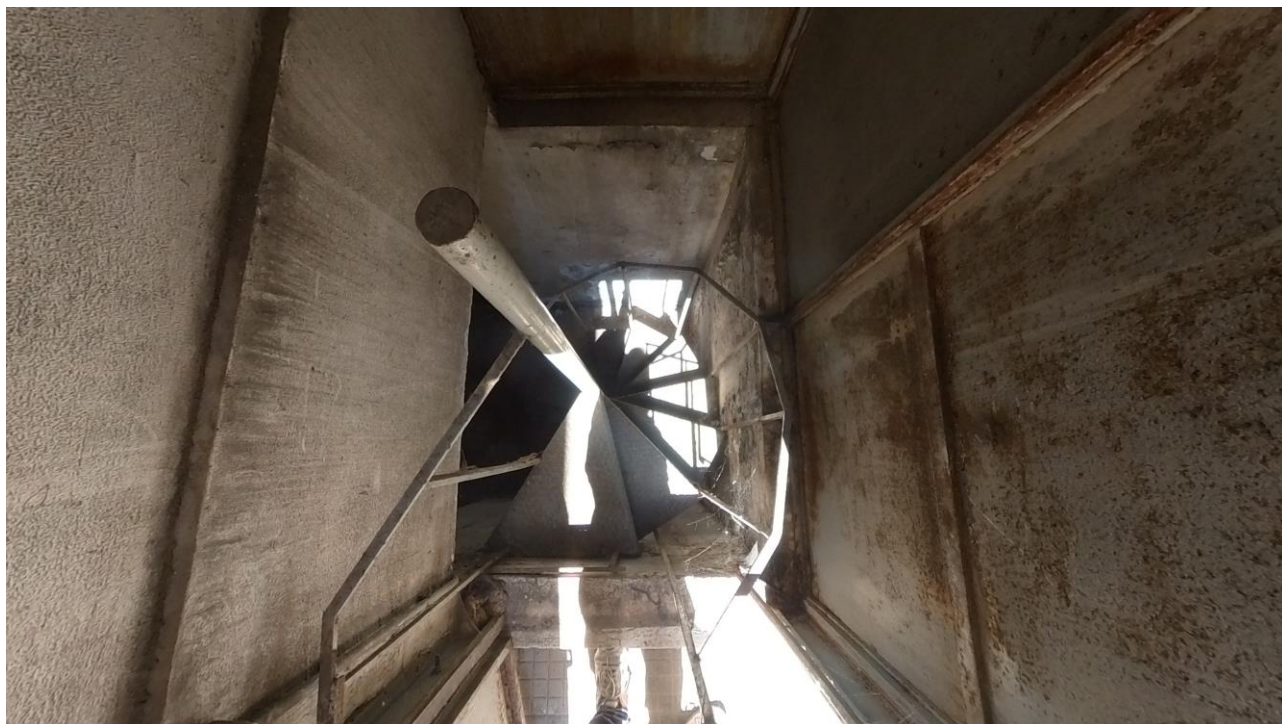
### PREMESSA

I seguenti capitoli riportano lo stato dei luoghi delle strutture dell'edificio "Ex Teatro" presente nel "cortile cinque" di Palazzo Esercito.

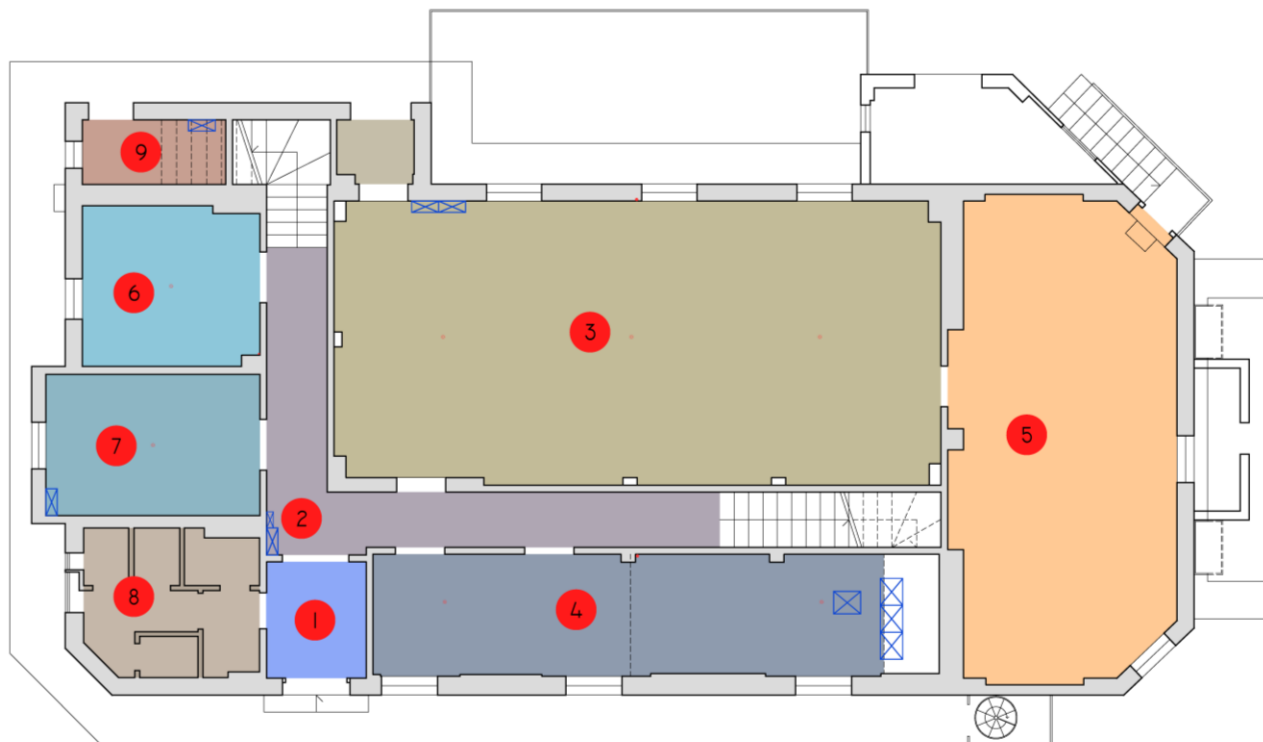
## INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO PIANO INTERRATO



*Inquadramento Stato di fatto n° 1*



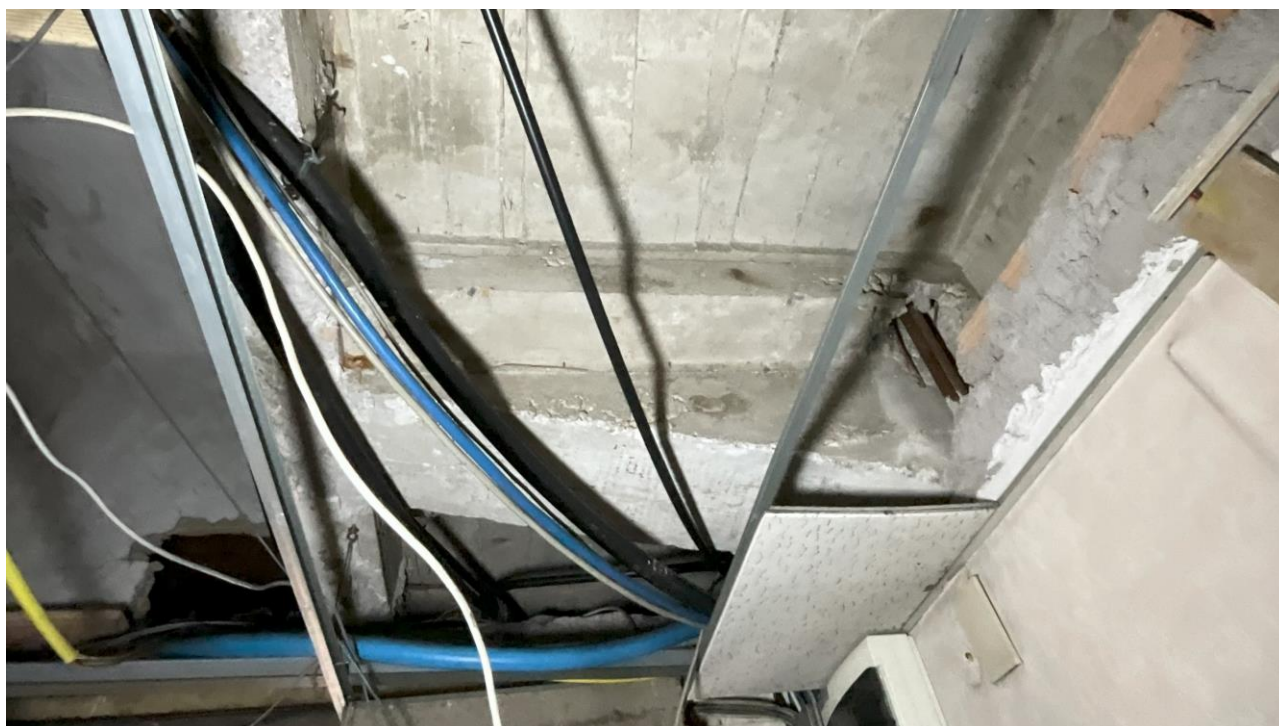
## INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO PIANO TERRA



*Inquadramento Stato di fatto n° 1*

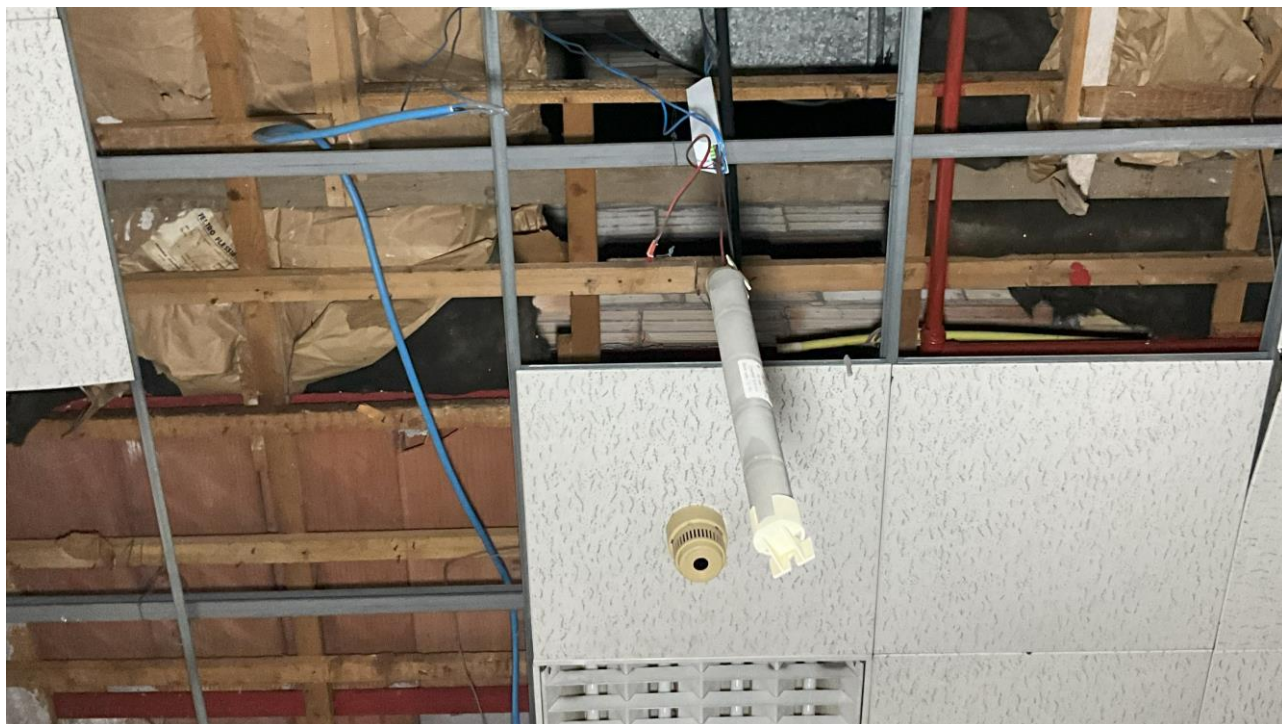


*Inquadramento Stato di fatto n° 2 - 3*



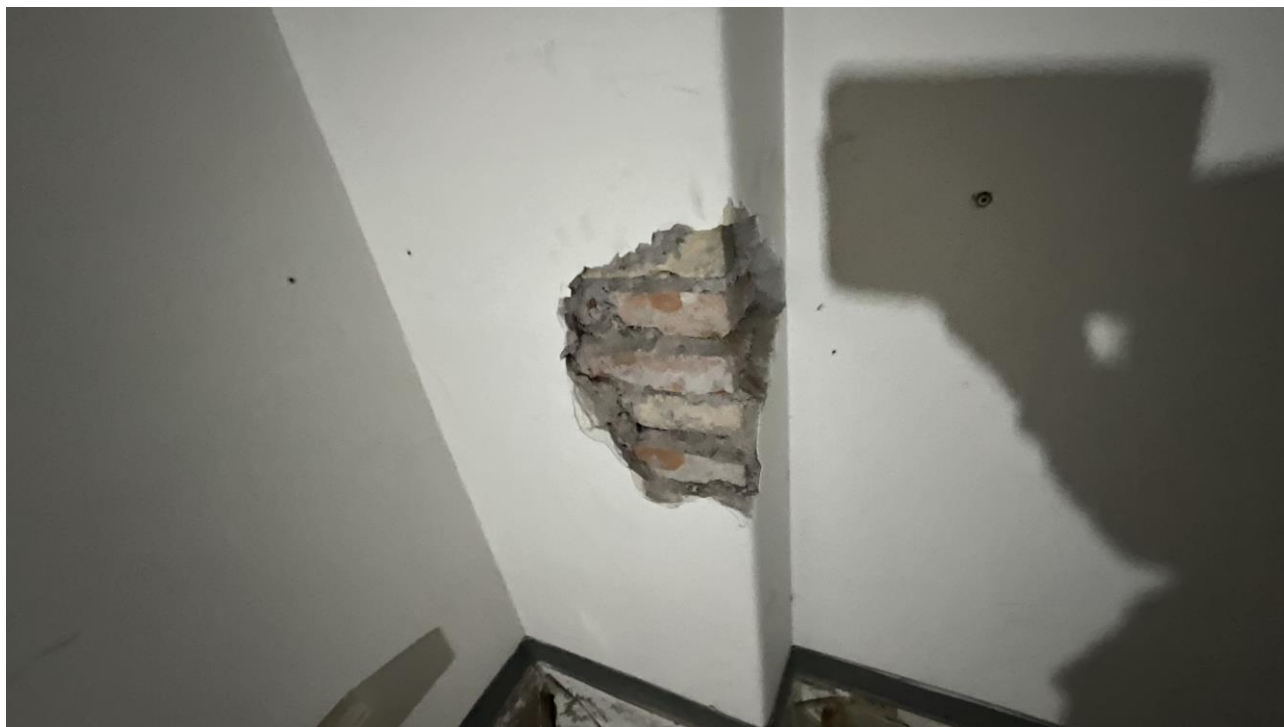
*Inquadramento Stato di fatto n° 4*



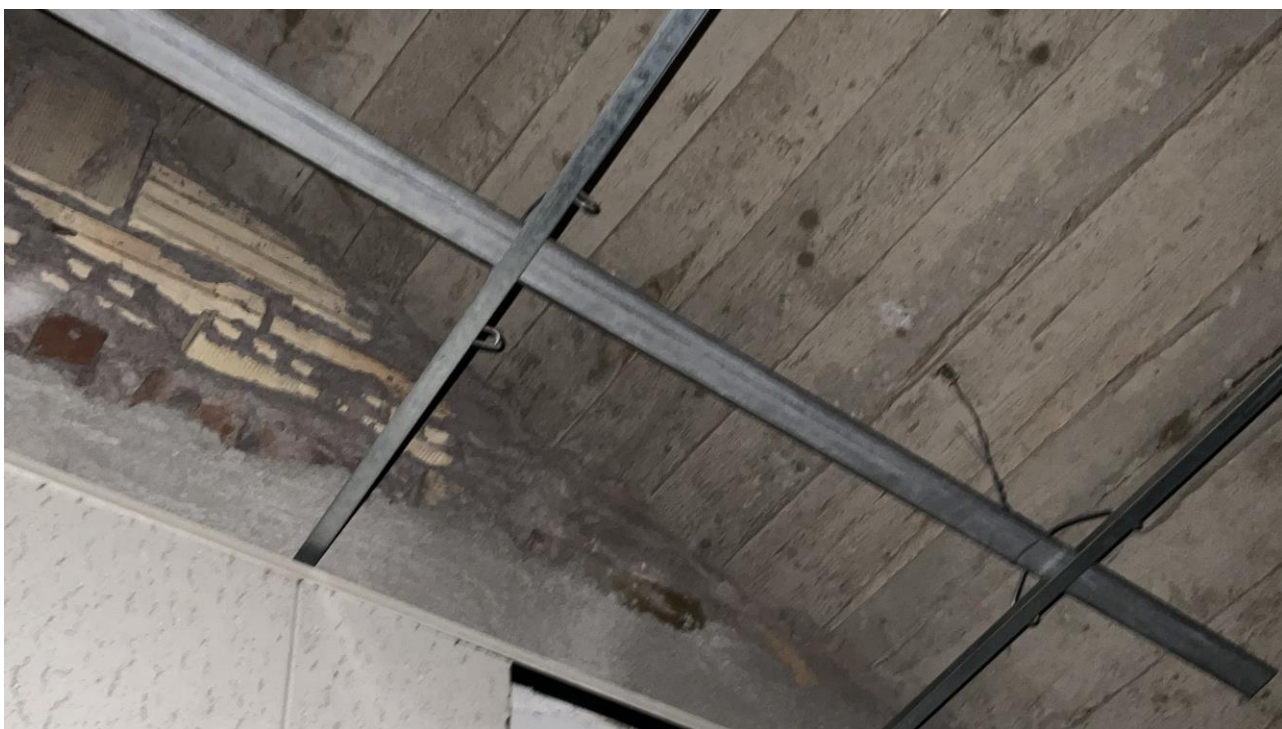


*Inquadramento Stato di fatto n° 5*





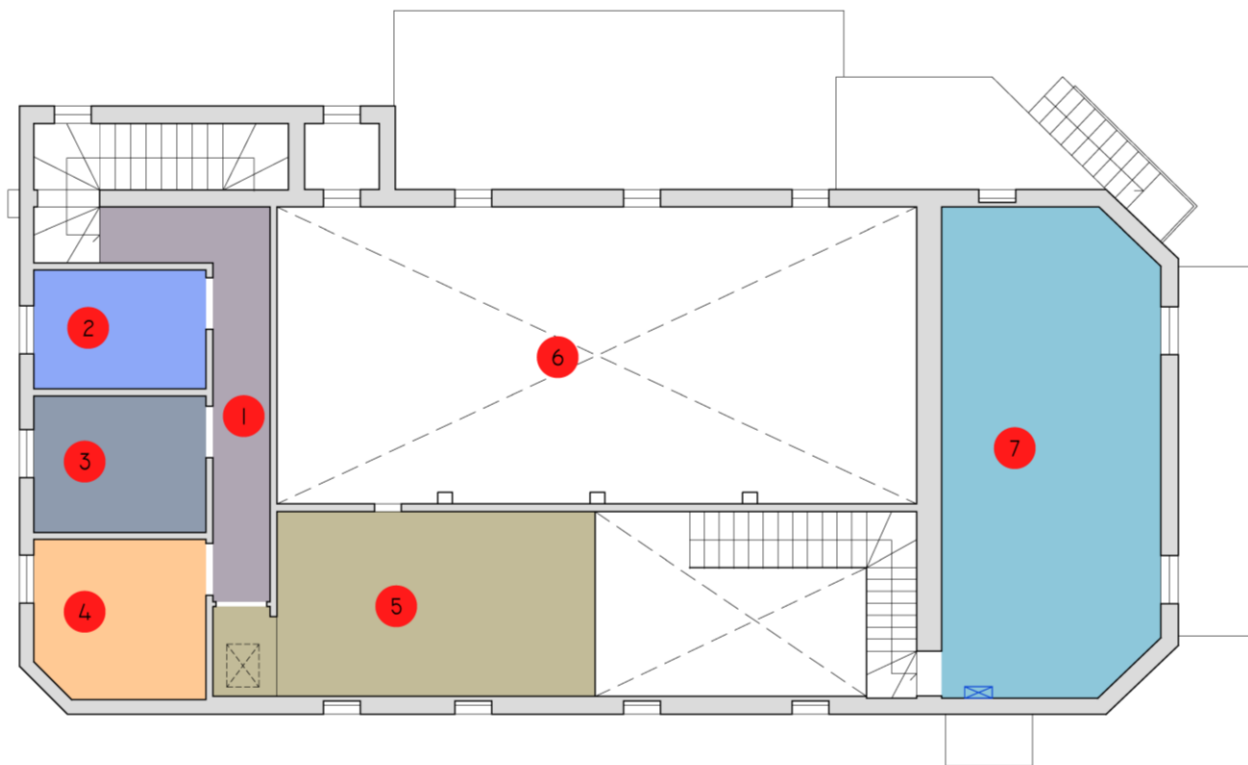
*Inquadramento Stato di fatto n° 6*



*Inquadramento Stato di fatto n° 7*



## INQUADRAMENTO PIANO PRIMO



*Inquadramento Stato di fatto n° 1*

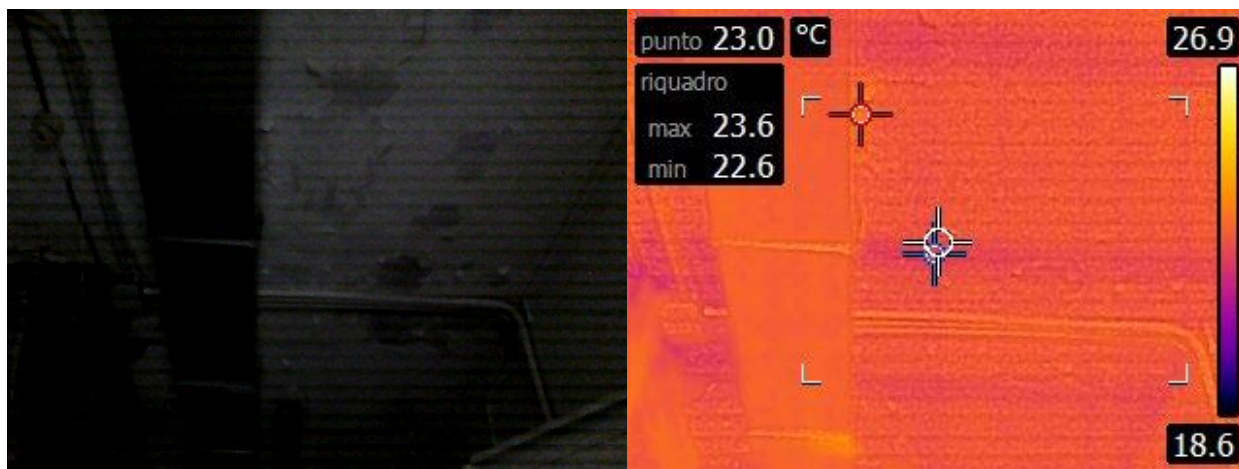


*Inquadramento Stato di fatto n° 4*



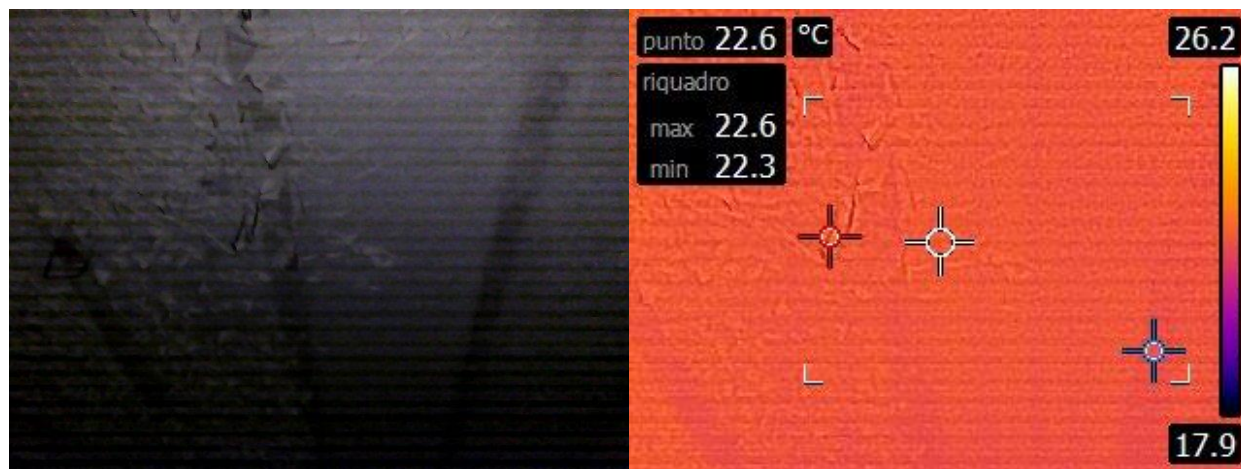
*Inquadramento Stato di fatto n° 5*





*Inquadramento Stato di fatto n° 6*





*Inquadramento Stato di fatto n°7*









**ALLEGATI**

---



**Ministero dei Beni  
e delle Attività Culturali  
e del Turismo**

SOPRINTENDENZA PER I BENI ARCHITETTONICI  
E PAESAGGISTICI PER IL COMUNE DI ROMA  
Via di San Michele, 17 - 00153 ROMA  
Tel. 06/588951 - Fax 06/5883340  
sbap-rm@beniculturali.it

Al Ministero della Difesa  
Ufficio Autonomo Lavori  
Genio Militare per il Ministero della Difesa  
Via Firenze, 35  
00184 Roma

MBAC-SBAP-RM  
SEGR  
0015808 17/10/2014  
Cl. 34.19.12/1558

OGGETTO: Roma - Ministero della Difesa. Autorizzazione richiesta ai sensi dell' art. 21 comma 4 del D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei Beni culturali e del Paesaggio" per lavori di manutenzione straordinaria e messa a norma dell'edificio denominato "ex Teatro" all'interno del cortile n. 5 di Palazzo Esercito. .  
Immobile sottoposto a tutela ai sensi degli artt. 10 del D. Lgs. 42/04

In esito all'istanza in oggetto, pervenuta il 20.06 c.a in atti al prot. 11270 del 23.07.2014, esaminata la documentazione inviata, comunica che non sussistono motivi ostativi alla realizzazione di quanto previsto a condizione che:

- le previste scale di sicurezza antincendio siano installate ad adeguata distanza dai prospetti e con struttura autoportante tali da essere rimosse al cessare delle motivazioni per cui è stata richiesta la loro installazione;
- dovranno essere rimossi dai prospetti cavi, canalizzazioni, apparecchiature e/o attrezzature varie in quanto aggiunte incongrue;
- gli infissi esterni di tipo tradizionale, saranno preferibilmente restaurati con idonei interventi di falegnameria mentre, laddove si rendesse assolutamente necessario si procederà con la loro sostituzione con altri che per tipologia, sezione, forma, disegno e qualità dell'essenza siano identici a quelli rimossi; la verniciatura sarà effettuata per tutti gli infissi con il medesimo materiale e colore di quelli presenti sul prospetto del fabbricato.

Si allega copia della documentazione autorizzata a condizioni.

Il Funzionario Responsabile  
Arch. Sergio Anzivino

IL SOPRINTENDENTE ad interim  
Arch. Agostino Bureca

1<sup>a</sup> - 7 mezza 17/10  
17/10  
17/10

UFFICIO AUTONOMO LAVORI GENIO MILITARE p. M.D.	
Prot. N.	2189
Data	17 OTT. 2014



**UFFICIO AUTONOMO LAVORI**  
G.M. per M.D. - ROMA

**PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEI  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E MESSA A NORMA  
DELLA PALAZZINA IN USO AL COMANDO C4 IN  
PALAZZO ESERCITO - ROMA**

**PROGETTO ESECUTIVO**



Impresa **TES ENERGIA SRL**  
ing. **VINCENZO SERAO**  
Marcianise (CE) Viale della Vittoria n.37 - c.a.p. 81025

**Raggruppamento Temporaneo di Professionisti**

**ARCH. FABRIZIO MIRARCHI** | *capogruppo*  
coordinamento generale, progetto architettonico, progetto strutturale

**ING. VINCENZO CARPENTIERO** | *mandante*  
progetto impianti tecnologici

**ING. ANTONIO PAGLIUCA** | *mandante giovane professionista*  
progetto impianti tecnologici

**ARCH. GAETANO RICCARDELLI** | *mandante*  
progetto architettonico

**THAI STUDIO DI ARCHITETTURA** | *mandante*

**consulenti**

**ing. Gianluca Rennella**  
calcoli strutturali

il Direttore dei Lavori  
**ing. FRANCESCO CALABRESE**

R.U.P.  
**Col. TICCONI MAURIZIO**

Titolo elaborato

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
*(fornita dalla Stazione Appaltante)*

scala: --

data: MAGGIO 2018

argomento

**PD**

numero

**01**

# MINISTERO DELLA DIFESA

Ufficio Autonomo Genio Militare



## Studio Associato IMST Progetti

*“Indagini geologiche propedeutiche alla redazione del progetto di ristrutturazione della palazzina ex teatro per le esigenze del Comando C4 Difesa S.M.D.”*



All. 2 Prove Astronomiche

## RELAZIONE GEOLOGICA

Il Tecnico:

(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)



commessa	revisione	redatto	verificato	approvato
S375/06	rev0	F. Muscolo 20/02/13	G. Caproni 21/02/13	M. Scarapazzi 22/02/13

## INDICE

1. Premessa	pag. 3
2. Inquadramento geologico e geomorfologico	pag. 4
3. Inquadramento idrogeologico	pag. 6
4. Inquadramento sismico	pag. 7
5. Indagini eseguite in sito	pag. 14
6. Caratterizzazione geologica e geotecnica delle formazioni	pag. 15
7. Considerazioni	pag. 17

## BIBLIOGRAFIA

## ALLEGATI

All. 1	Risposta Sismica Locale
All. 2	Prove penetrometriche
All. 3	Indagini geofisiche HVSR

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 1 di 18

## NORMATIVA

D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni

C.S.L.L.P.P. Circolare 2 febbraio 2009 N. 617

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale del 14 gennaio 2008

Legge 02 febbraio 1974, n. 64

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

UNI EN 1997-1 (2005)

Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - parte 1: Regole generali

UNI EN 1997-2 (2007)

Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo

UNI EN 1998-1 (2005)

Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

UNI EN ISO 14688-1: 2003

Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione

UNI EN ISO 14688-2: 2004

Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Principi per una classificazione

UNI EN ISO 14689-1: 2003

Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione delle rocce - Identificazione e descrizione

Associazione Geotecnica Italiana (giugno 1977)

Raccomandazione sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche

Associazione Geotecnica Italiana (1994)

Raccomandazione sulle prove geotecniche di laboratorio

State of California - Department of Transportation - Division of Engineering Services- Geotechnical Services

Soil and Rock Logging, Classification, and Presentation Manual (June 2007)

D.G.R. Lazio 3 Novembre 2009, n. 835

Rettifica all'Allegato 1 della DGR Lazio 387 del 22 Maggio 2009

DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE n. 387 del 22.05.2009

Nuova classificazione sismica della Regione Lazio (BUR Lazio n. 24 del 27.06.2009 - Supplemento Ordinario 106)

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 2 di 18

## 1. PREMESSA

Lo studio in oggetto è stato svolto con lo scopo di accertare le caratteristiche geologico-stratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel “volume significativo” delle fondazioni di un edificio. In particolare l’indagine fa parte di un più ampio lavoro mirato alla ristrutturazione della palazzina denominata Ex Teatro appartenente al Ministero della Difesa.

L’area in esame è ubicata in via Firenze all’incrocio con via Modena; l’area in esame dal punto di vista amministrativo ricade nel territorio appartenente al I Municipio del Comune di Roma; come ubicazione topografica precisa il fabbricato ricade nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 n° 374060 (Figura 1).

Il lavoro è stato svolto in differenti fasi:

- a) studio bibliografico preliminare;
- b) sopralluogo del sito;
- c) esecuzione di tre prove penetrometriche leggere;
- d) esecuzione di due indagine geofisiche tipo HVSR

Lo studio bibliografico preliminare è stato mirato alla raccolta di informazioni particolareggiate e specifiche alla geologia e idrogeologia del sito indagato con particolare riguardo a eventuali sondaggi geognostici e individuazione di cavità. Nello specifico per la redazione del presente studio sono stati presi in considerazione i dati di un sondaggio geognostico; eseguito per un precedente studio dallo scrivente, nelle immediate vicinanze del sito in oggetto.

Il sopralluogo, eseguito il 22 gennaio 2013 è stato mirato in particolare:

- al rilievo di eventuali affioramenti del terreno di sedime,
- alle valutazioni delle condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche di insieme dell’area,
- all’eventuale presenza di segni di dissesto idrogeologico che coinvolgano o meno le aree di pertinenza del fabbricato in oggetto nella zona prossima alle zone di ubicazione dei sondaggi in programma.

Con la presente relazione geologico-tecnica si illustrano pertanto l’assetto stratigrafico riconosciuto, la situazione geologica e idrogeologica, e i risultati delle prove penetrometriche e delle indagini geofisiche eseguite.

Lo studio in oggetto, svolto su richiesta del Ministero della Difesa Ufficio Autonomo Genio Militare e incarico dell’IMST Studio Associato, è stato realizzato con la collaborazione del Geol. Giovanni Caprioni (OdG dell’Abruzzo n° 425) e della Dott.ssa Franca Muscolo.

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 3 di 18

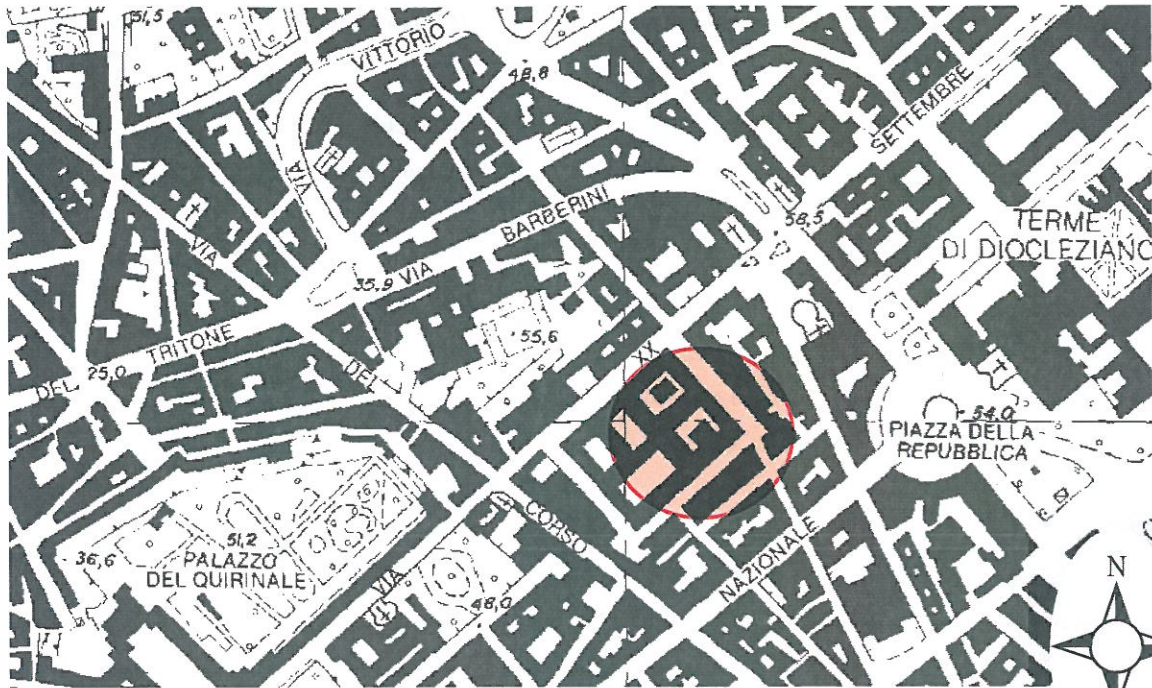


Figura 1 - Ubicazione dell'area in oggetto (da C.T.R. Regione Lazio, sez. 374060) e da google earth

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per meglio inquadrare le problematiche geologiche del settore in esame viene di seguito descritta brevemente l'evoluzione geologica dell'area romana a cui questo appartiene.

L'area ove oggi sorge la città di Roma, durante il Pliocene (fino al Pleistocene inferiore) era caratterizzata da un ambiente di sedimentazione marina che, su di un basamento carbonatico meso-cenozoico, consentì la deposizione delle argille azzurre dell'Unità di Monte Vaticano. Questa Unità, formata da argille consistenti dello spessore di circa 800 m, costituisce in pratica il substrato geologico che con continuità soggiace al di sotto dei terreni più recenti che caratterizzano l'area cittadina romana.

Dal Pleistocene medio un progressivo sollevamento dell'area cambia l'ambiente di sedimentazione da marino a continentale, con deposizione dapprima di sabbie e ghiaie marine e successivamente di termini fluvio-lacustri e deltizi eterometrici che presentano complessi rapporti stratigrafici.

Circa 0.6 M.A. or sono inizia l'attività dei vulcani laziali (Distretto Vulcanico dei Sabatini a NW e Distretto Vulcanico dei Colli Albani a SE) che determinano, in breve tempo, la messa in posto di una notevole quantità di prodotti vulcanici che, sotto forma di piroclastiti di ricaduta o di colate piroclastiche, ricoprono e modificano la precedente morfologia dell'area.

Successivamente, durante l'ultima fase del periodo glaciale würmiano (circa 18.000 anni fa), la forte regressione del livello marino determina una notevole erosione dei terreni deposti in precedenza: l'alveo del Tevere nell'area cittadina si approfondisce fino a mettere a nudo il substrato argilloso pliocenico, lungo il corso della sua valle e dei suoi affluenti. Si creano così le condizioni per la deposizione dell'Unità delle Alluvioni attuali che, con il successivo innalzamento del livello marino, continuato fino ad oggi, vanno a colmare le suddette incisioni fluviali con uno spessore che in alcuni punti supera i 60 m.

Dalla bibliografia consultata, dalle osservazioni desumibili dallo studio della carta geologica (Figura 2), della carta dei riporti (Figura 3) e dalla carta delle cavità (Figura 4) nonché sulla base del sopralluogo eseguito e dalle indagini eseguite dallo scrivente nelle vicinanze del sito in studio è stato possibile ipotizzare, in prima approssimazione, la seguente successione stratigrafica i cui livelli principali, procedendo dall'alto verso il basso, vengono di seguito individuati:

- Terreni di riporto
- Tufi stratificati varicolori di La Storta (LTT)

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 4 di 18

- Pozzolane Rosse (RED)
- Tufi stratificati varicolori di Sacrofano (SKF)
- Unità del Palatino (PT)

Al di sotto è in generale presente la successione sedimentaria del Paleotevere affiorante nella zona con la formazione di S. Cecilia (CIL).

La morfologia originale dell'area era caratterizzata da rilievi collinari (formatosi per deposizione sequenziale di varie colate piroclastiche provenienti dal vulcano di Albano e depositi di ricaduta del complesso sabatino) limitati da incise valli torrentizie (zona storica "dei sette colli"). Negli ultimi 2000 anni la zona, intensamente urbanizzata è stata oggetto di progressive peneplanazioni mediante l'apporto di terreni di riporto che possono raggiungere quindi spessori anche notevoli nelle zone degli antichi impluvi naturali che in parte ancora risultano direttrici delle acque di infiltrazione. E' utile sottolineare che in tale area spesso gli edifici sorgono su residui basali di edifici precedenti ed i terreni di riporto, che come ricordato sono stati apportati in periodi differenti, possono presentare un addensamento più o meno gradualmente crescente con la profondità anche se nella porzione basale si può viceversa riscontrare un peggioramento di tale caratteristica nel caso in cui tali terreni siano permeati da acque di falda.

La quota topografica del sito in oggetto è di circa 52-54 m.s.l.m..

Nell'area in studio è stata segnalata la possibile/probabile presenza di ipogei di cui non è però nota con chiarezza la profondità e l'estensione.

L'utilizzazione dell'area è attualmente di tipo abitativo intensivo.

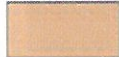
commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 5 di 18



**(SFT<sub>pa</sub>) deposito alluvionale**

Depositi siltoso-sabbiosi e siltoso-argillosi delle piane alluvionali. Nella piana alluvionale del Fiume Tevere e del Fiume Aniene è litologicamente nota da dati di sondaggio ed è prevalentemente costituita da depositi fini siltoso-argillosi alternati a livelli sabbiosi e a livelli di torbe a diversa profondità. Alla base sono frequenti livelli ghiaiosi e sabbiosi, che possono ospitare una falda in pressione. Spessore fino a 60 m.

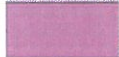
**OLOCENE**



**(LTT) TUFFI STRATIFICATI VARICOLORI DI LA STORTA**

Successione costituita da alternanze di piroclastici primarie cineritico-lapillose di scorie grigie e pomice da ricaduta e livelli vulcanoclastici rimaneggiati, con orizzonti pedogenizzati. Spessori fino a 10 m. La provenienza dei depositi è dal Distretto Vulcanico Sabatino. L'età radiometrica di uno dei livelli di pomice da ricaduta è stimata  $416 \pm 6$  ka<sup>(3)</sup>.

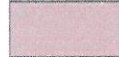
**PLEISTOCENE MEDIO p.p.**



**(RED) POZZOLANE ROSSE**

Unità piroclastica massiva e caotica, semicoerente, da rosso a viola vinaccia a grigio scuro, a matrice scoriacea povera della frazione cineritica, con scorie di dimensioni fino a 24 cm, litici lavici, sedimentari termometamorfosati e olocristallini di dimensioni fino a 20 cm e abbondanti cristalli di leucite, clinopirosseno e biotite, Composizione da tefritica a tefritico-foiditica<sup>(6)</sup>. Spessore fino a 15 m in affioramento e 35 m da dati di sondaggio. Nella parte alta del deposito sono frequenti le strutture da degassamento ("gas pipes"). La geometria del deposito è tabulare. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbritica di grande volume del litosoma Vulcano Laziale. "Pozzolane inferiori"; "Pozzolane di S. Paolo" *Auctt.* L'età radiometrica è stimata a  $457 \pm 4$  ka<sup>(3)</sup>.

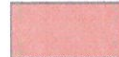
**PLEISTOCENE MEDIO p.p.**



**(SKF) TUFFI STRATIFICATI VARICOLORI DI SACROFANO**

Successione di depositi piroclastici lapillosi e cineritici in strati contenenti scorie e litici lavici di dimensioni centimetriche da ricaduta, intercalati a livelli vulcanoclastici rimaneggiati, orizzonti pedogenizzati e depositi limno-palustri. Nella parte intermedia della successione i livelli primari sono costituiti da pomice da ricaduta bianco-giallastre a sanidino e clinopirosseno in tre banchi con areali di affioramento differenziati (Granturchi *Auctt.*). La provenienza prevalente dei depositi di questa successione è dai vulcani sabatini. Spessori fino a 14 m. L'età radiometrica di uno dei livelli di pomice da ricaduta è stimata  $488 \pm 2$  ka<sup>(3)</sup>.

**PLEISTOCENE MEDIO p.p.**



**(PTI) UNITÀ DEL PALATINO**

Deposito piroclastico massivo, generalmente semicoerente o litoido, a matrice cineritica grigio-nerastra con scorie grigie o nere cristalli di leucite alterata, pirosseno e biotite, clasti centimetrici di lava. Localmente sono presenti clasti di ghiaie calcaree del substrato. Alla base sono frequenti impronte di tronchi d'albero. Alla base è presente un livello tabulare di scorie millimetriche da caduta, di spessore massimo 25 cm. Verso l'alto è presente intercalato un livello cineritico ricco di lapilli accrezionari spesso fino a 30 cm. Spessore massimo 10 m. La composizione chimica è fono-tefritica<sup>(6)</sup>. L'unità è riferibile ad una eruzione ignimbritica a componente freatomagmatica del litosoma Vulcano Laziale. "Tufi Antichi" e "Tufi pisolitici" *Auctt. p.p.* L'età radiometrica è stimata  $533 \pm 5$  ka<sup>(3)</sup>.

**PLEISTOCENE MEDIO p.p.**

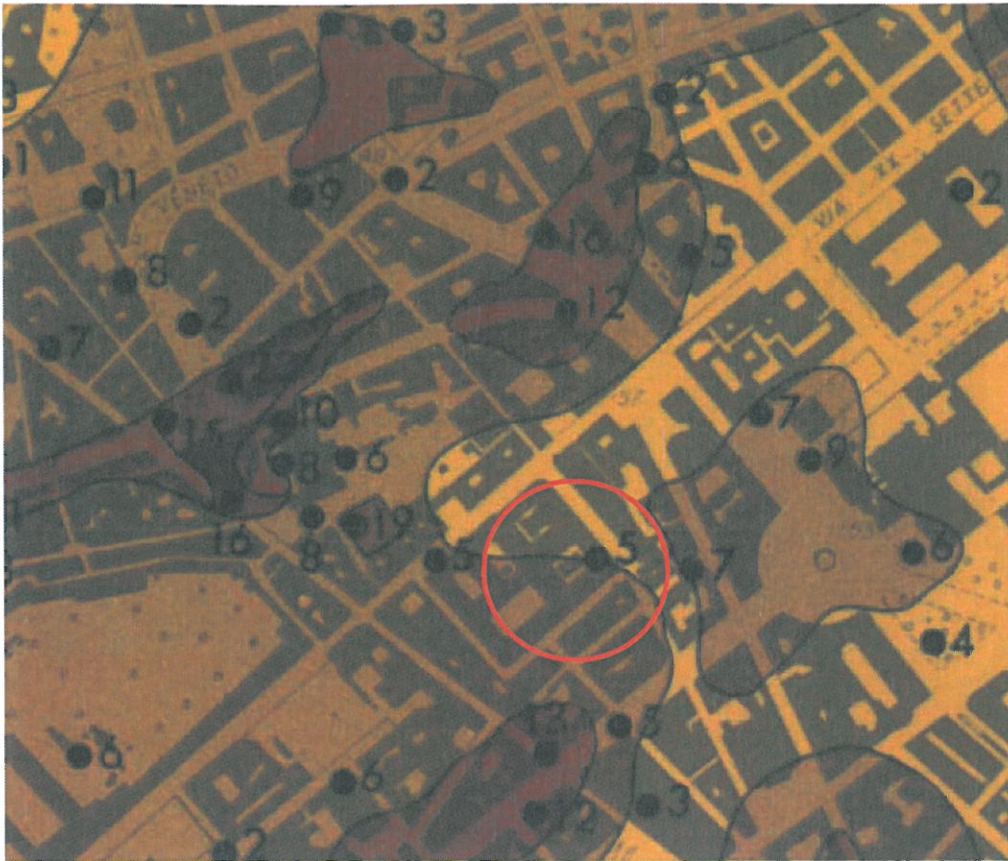
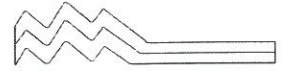


**(CIL) FORMAZIONE DI S. CECILIA**

Alternanze ed interstratificazioni di conglomerati, sabbie e limi di ambiente fluviale ad elementi vulcanici (zona di Ponte Galeria). Alternanze di strati cineritici a lapilli accrezionari, pomice e cenere avana con orizzonti pedogenizzati (zona Flaminia). Spessori fino a 40 m.

**PLEISTOCENE MEDIO p.p.**

Figura 2 - geologia dell'area in esame (da Funicello 2008 , scala non definita)



LEGENDA



Spessore dei riporti compresi tra 10 e 15 m



Spessore dei riporti compresi tra 5 e 10 m



Spessore dei riporti compresi tra 0 e 5 m

Figura 3 - Carta dei riporti (stralcio non in scala da Ventriglia 2002).



## LEGENDA

- ▲    Cavità e ipogei riscontrati
- Zone nelle quali è molto probabile l'esistenza di cavità sotterranee nelle rocce vulcaniche: abbondanti segnalazioni di cavità sotterranee con estensione direttamente accertata, gruppi di cavità tra loro ricollegabili, ecc..
- Zone nelle quali è probabile l'esistenza di cavità sotterranee nelle rocce vulcaniche: mancano in esse segnalazioni dirette della presenza di cavità sotterranee; la probabile esistenza di queste è deducibile da elementi indiretti quali morfologia, geologia, possibile sviluppo delle cavità già note, ecc..
- Zone nelle quali è possibile l'esistenza di cavità sotterranee nelle rocce vulcaniche, con caratteristiche geo-morfologiche simili a quelle delle zone con cavità probabili o molto probabili, ma senza indicazioni che facciano ritenere probabile l'esistenza di cavità.

f 12/n° 80 e n° 79b Via XX Settembre.

Note Nella zona dove sorge il Ministero della Difesa è stato segnalato il rinvenimento di una rete di cunicoli e di pozzi alla profondità massima di 17 m. e di gallerie scavate nel tufo (SI3).

Figura 4 - carta delle cavità (da Ventriglia 2002 stralcio non in scala).

### 3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La struttura idrogeologica su cui si è sviluppata la città di Roma è caratterizzata da un substrato di base costituito dalle argille grigio-azzurre dell'Unità di Monte Vaticano; al di sopra di questo si possono individuare quattro differenti complessi idrogeologici sedi di più circolazioni idriche (dal più antico al più recente):

- complesso idrogeologico dei sedimenti pleistocenici;
- complesso idrogeologico delle vulcaniti;
- complesso idrogeologico dei depositi alluvionali;
- complesso idrogeologico dei terreni di riporto.

In generale, nel nostro caso, il complesso idrogeologico caratteristico dell'area è quello delle sedimenti pleistocenici che risulta costituito da alternanze di terreni molto eterogenei (formazione del Paleotevere); tali terreni si presentano generalmente permeabili negli orizzonti in cui la granulometria è prevalentemente grossolana (sabbioso, ghiaiosa e/o ciottolosa) e la cementazione non sia elevata (tanto da riempire significativamente i vuoti presenti tra i vari clasti), mentre al contrario livelli impermeabili sono identificabili con gli orizzonti argilloso-limosi e/o diatomitici o francamente cementati. Tale assetto stratigrafico è un fattore predisponente la presenza di falde sovrapposte sostenute dai livelli impermeabili e/o una falda principale sostenuta dalla sottostante formazione delle argille grigio-azzurre.

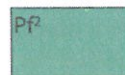
I terreni superficiali risultano in genere caratterizzati da una permeabilità da media ad elevata.

La falda principale profonda è indicata nel settore ad una quota di circa 40 m s.l.m. e cioè ad una profondità di circa a 15 m dal p.c. che dovrebbe essere presente all'interno delle sabbie e limi della formazione di S. Cecilia. Tale profondità non esclude comunque la possibile presenza di falde di modesta entità soprattutto alla base dei terreni di riporto e, più in generale, all'interno delle piroclastiti, a tetto di orizzonti più saldati e quindi in generale meno permeabili.

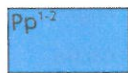
commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 6 di 18



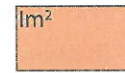
Rocce sciolte mediamente permeabili per porosità.



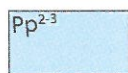
Rocce lapidee mediamente permeabili



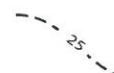
Rocce sciolte da molto a mediamente permeabili per porosità.



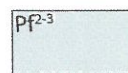
Rocce lapidee e sciolte impermeabili.



Rocce sciolte da mediamente a poco permeabili per porosità.



Curve isofreatiche



Rocce lapidee da mediamente a poco permeabili per discontinuità.



Principali direzioni di deflusso

Figura 5 - Idrogeologia dell'area in esame (da Ventriglia U., 2002, scala 1/100.000)

## 4. INQUADRAMENTO SISMICO

### 4.1 Sismicità dell'area romana

La sismicità della provincia di Roma, che nonostante la sua modestia ha sempre costituito un pericolo per il patrimonio monumentale, ha permesso di suddividere la sua attività in funzione delle diverse zone sismogenetiche d'influenza, in particolare:

- a) Attività sismica di origine locale. Riguarda l'area compresa in un raggio di 15 km ed è caratterizzata da una frequenza alquanto scarsa e da intensità massima di VI – VII grado MCS e con ipocentri poco profondi (< 5 km).
- b) Attività sismica di aree prossime alla zona dei Colli Albani, sede di terremoti molto frequenti con magnitudo massime intorno a 5 e risentimenti di bassa intensità (< V grado MCS), e dalla zona del litorale tirrenico, sede invece di terremoti molto poco frequenti ma a volte di entità molto rilevante e risentimenti di medio-bassa intensità (V - VI grado MCS).
- c) Attività sismica di aree dell'Appennino Centrale. A distanze comprese tra i 60 e 130 km sono presenti importanti aree sismogenetiche, a cui terremoti sono dovuti i più forti risentimenti sismici osservati in città (intensità massima VII - VIII grado MCS). Le aree più rilevanti sono quelle dell'Aquilano e quelle del Fucino, in cui hanno avuto origine terremoti di magnitudo intorno a 7 che hanno prodotto a Roma danneggiamenti riferibili a circa il VII grado MCS.
- d) Attività sismica di altre aree sismogenetiche. I terremoti con origine in settori diversi da quelli finora considerati risultano, relativamente alla sismicità della Provincia di Roma, di scarsa importanza e relativi risentimenti non hanno mai superato il IV grado MCS.

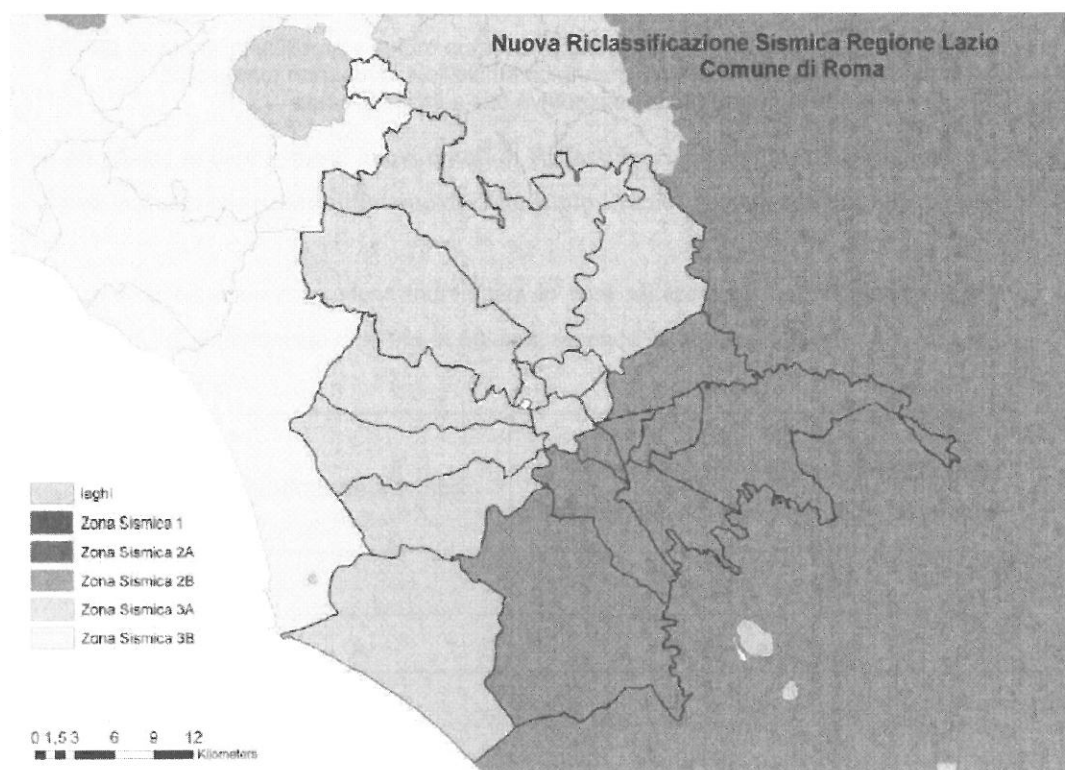
Nel complesso a Roma, nonostante le notizie sui rari eventi di epoca antica ed altomedioevale sono vaghe e di difficile interpretazione e le informazioni sui terremoti nel basso medioevo sono piuttosto scarse, gli eventi sismici risentiti con intensità di VI grado MCS si sono storicamente verificati ogni 100 anni circa mentre quelli risentiti con intensità di VII grado MCS ogni 500 anni circa.

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 7 di 18

## 4.2 Classificazione sismica del sito

Il 22 maggio 2009 la Giunta Regionale con l'approvazione della DGR n. 387 ha riclassificato il territorio laziale sulla base dei criteri nazionali stabiliti dall'OPCM 3519/06. Queste nuove disposizioni normative hanno permesso di svincolare la classificazione sismica del territorio dal solo criterio politico del limite amministrativo utilizzato in precedenza.

Nella proposta di nuova riclassificazione sismica dell'area romana, divenuta effettiva per quanto riguarda il Comune di Roma a gennaio 2010, si è tenuto conto soprattutto dell'analisi della sismicità storica che evidenzia come gli effetti risentiti durante gli eventi sismici siano variabili, eterogenei e diseguali nelle diverse zone del territorio romano. Il Comune di Roma è stato suddiviso in 20 Unità Amministrative Sismiche denominate UAS corrispondenti ai limiti municipali e appartenenti ognuna ad una zona e sottozona sismica. Nella figura sottostante sono raffigurati i limiti delle 20 UAS, mentre nella Tabella B è evidenziato il dettaglio delle zone sismiche di ogni UAS secondo la Nuova proposta di riclassificazione.



Nuova Riclassificazione Sismica del territorio Romano (dal sito della Regione Lazio).

commessa 375/12	elaborato Rege/tc	revisione Rev 0	nome file 3 copie	Roma 22/02/2013 Pagina 8 di 18
--------------------	----------------------	--------------------	----------------------	-----------------------------------

UAS (Municipio)	NUOVA ZONA SISMICA PROPOSTA	SOTTOZONA PROPOSTA	ZONA SISMICA DGR 766/03	VARIAZIONE ZONA SISMICA
Roma I	3	A	3	0
Roma II	3	A	3	0
Roma III	3	A	3	0
Roma IV	3	A	3	0
Roma V	2	B	3	+1
Roma VI	2	B	3	+1
Roma VII	2	B	3	+1
Roma VIII	2	B	3	+1
Roma IX	2	B	3	+1
Roma X	2	B	3	+1
Roma XI	2	B	3	+1
Roma XII	2	B	3	+1
Roma XIII	3	A	3	0
Roma XV	3	A	3	0
Roma XVI	3	A	3	0
Roma XVII	3	A	3	0
Roma XVIII	3	A	3	0
Roma XIX	3	A	3	0
Roma XX	3	A	3	0
Roma XX Isola Amm	3	B	3	0

Tabella B: Municipi di Roma e la loro corrispondente zona sismica secondo la nuova e la precedente normativa. Nell'ultima colonna sono state messe a confronto le due classificazioni e si è evidenziato la variazione di zona.

A tal proposito, in base a questi nuovi criteri di Riclassificazione sismica della Regione Lazio 2009, l'area in studio che ricade all'interno del Municipio I viene inserita nella Zona Sismica 3A.

Inoltre, poiché ciascuna zona viene individuata in base all'accelerazione di picco al suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente:

Zona Sismica	sottozona sismica	Correlazione con $a_g$ con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1		$0,25 \leq a_g \leq 0,278g$
2	A	$0,20 \leq a_g \leq 0,25$
	B	$0,15 \leq a_g \leq 0,20$
3	A	$0,10 \leq a_g \leq 0,15$
	B	(val. min.) $0,062 \leq a_g \leq 0,10$

Tabella 4: Suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della Regione Lazio

commessa 375/12	elaborato Rege/tc	revisione Rev 0	nome file 3 copie	Roma 22/02/2013 Pagina 9 di 18
--------------------	----------------------	--------------------	----------------------	-----------------------------------

Si considera preliminarmente dunque, per il sito in esame, un'accelerazione orizzontale dello spettro elastico  $a_g$  compresa tra 0,10 g e 0,15 g.

Il terreno presente nell'area in studio fino a 30 m, è stato caratterizzato similmente mediante 2 indagini geofisiche tipo HVSR che sono state correlate con i risultati delle prove SPT del sondaggio S1 eseguite nelle vicinanze.

Suolo di fondazione	$V_{s30}$	$N_{spt} - c_u$
<b>A</b> Formazione litoide o suoli rigidi	> 800 m/sec	
<b>B</b> Sabbie o ghiaie addensate, argille molto consistenti	>360 m/sec <800 m/sec	$N_{spt} > 50$ $c_u > 250$ kPa
<b>C</b> Sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille mediamente consistenti	>180 m/sec <360 m/sec	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < c_u < 250$ kPa
<b>D</b> Terreni granulari sciolti, terreni coesivi da poco a mediamente consistenti	<180 m/sec	$N_{spt} < 15$ $c_u < 70$ kPa
<b>E</b> Strati superficiali alluvionali (5-20 m) su substrato rigido	<360 m/sec	
<b>S1</b> Terreni costituiti o che includono uno strato di argille > 10 m, $PI > 40$	<100 m/sec	$c_u < 20$ kPa
<b>S2</b> Terreni soggetti a liquefazione, argille sensibili, terreni non classificati in precedenza		

Tabella A: Categorie di suolo di fondazione in ottica sismica ( $V_{s30}$ )

Le indagini geofisiche con tecnica HVSR riportate nell'Allegato 3 hanno evidenziato un valore medio delle  $V_{s30}$  pari a 205 m/s e una frequenza di picco H/V variabile fra 6.65 e 9.15 Hz

Quindi considerando la sottostante tabella 2, che mette in relazione la  $V_{s30}$  ricavata dalle prove con la profondità del substrato sismico, sulla base di quanto previsto dalla normativa vigente, il terreno presente può essere riferito nel complesso alla **categoria C**. Infatti nel caso specifico la  $V_{s30}$  è risultata compresa tra 180 e 360 m/s, il substrato sismico, dalle indagini eseguite nella zona, è stato evidenziato ad una profondità >30 m.

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 10 di 18

$V_{s30}$ (m/s)	<b>casistica</b> <i>con SS si intende substrato sismico (<math>V_{s30} &gt; 800</math> m/s)</i>	<b>Categoria di sottosuolo</b>
<b>&gt; 800</b>	se $SS \leq 3$ m di profondità	<b>A</b>
	se $SS > 3$ m di profondità	<b>S2</b>
<b>360 - 800</b>	se $SS \geq 30$ m di profondità	<b>B</b>
	se $SS < 30$ m di profondità	<b>S2</b>
<b>180 - 360</b>	se $SS \leq 20$ m di profondità	<b>E</b>
	se $20 \text{ m} < SS < 30 \text{ m}$ di profondità	<b>S2</b>
	se $SS \geq 30$ m di profondità	<b>C</b>
<b>&lt; 180</b>	se $SS \leq 20$ m di profondità	<b>E</b>
	se $20 \text{ m} < SS < 30 \text{ m}$ di profondità	<b>S2</b>
	se $SS \geq 30$ m di profondità	<b>D</b>
<b>&lt; 100</b>	con strato di almeno 8 m di argilla a bassa consistenza o con strato di almeno 3 m di torba o argilla organica	<b>S1</b>

commessa 375/12	elaborato Rege/tc	revisione Rev 0	nome file 3 copie	Roma 22/02/2013 Pagina 11 di 18
--------------------	----------------------	--------------------	----------------------	------------------------------------

Nel dettaglio, al fine di ottemperare a quanto richiesto della stessa normativa per individuare la pericolosità sismica di base relativa al bedrock, sono stati ricavati i parametri sismici necessari per la determinazione delle azioni sismiche:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- $T^*_C$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

A tale proposito, per il sito in esame di Lat. 41,90249° e Long. 12,49319° tramite il software specifico "Spettri NTC ver. 1.0.3" e con esclusivo riferimento alla Fase 1 "Individuazione della pericolosità del sito" sono stati calcolati i valori  $a_g$ ,  $F_o$ , e  $T^*_C$ .

L'elaborazione, in riferimento al S.L.V, ha dato i seguenti risultati:

- $a_g$  = 0.116 g
- $F_o$  = 2.627
- $T^*_C$  = 0.299 sec

Nota - parametri riferiti ad un periodo di ritorno  $T_R$  di 475 anni

Vengono riportati gli spettri di risposta elastici per differenti periodi di ritorno  $T_R$  (Allegato 1).

Per quanto riguarda gli effetti topografici sull'azione di amplificazione sismica il sito rientra nella categoria topografica **T1** (superfici pianeggianti, pendii e rilievi con inclinazione uguale o minore di 15°) a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica **St = 1**.

L'amplificazione stratigrafica è stata valutata mediante la determinazione del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  e del coefficiente  $C_c$  secondo quanto prescritto per la categoria sismica C:

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 12 di 18

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Da cui:

$$S_s = 1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$$

$$\text{da cui } S_s = 1,50$$

Da tali considerazione ne consegue il valore del coefficiente S:

$$S = S_s \times S_t = 1,50$$

## 5. INDAGINI ESEGUITE IN SITO

La campagna geognostica, di cui in premessa, si è composta:

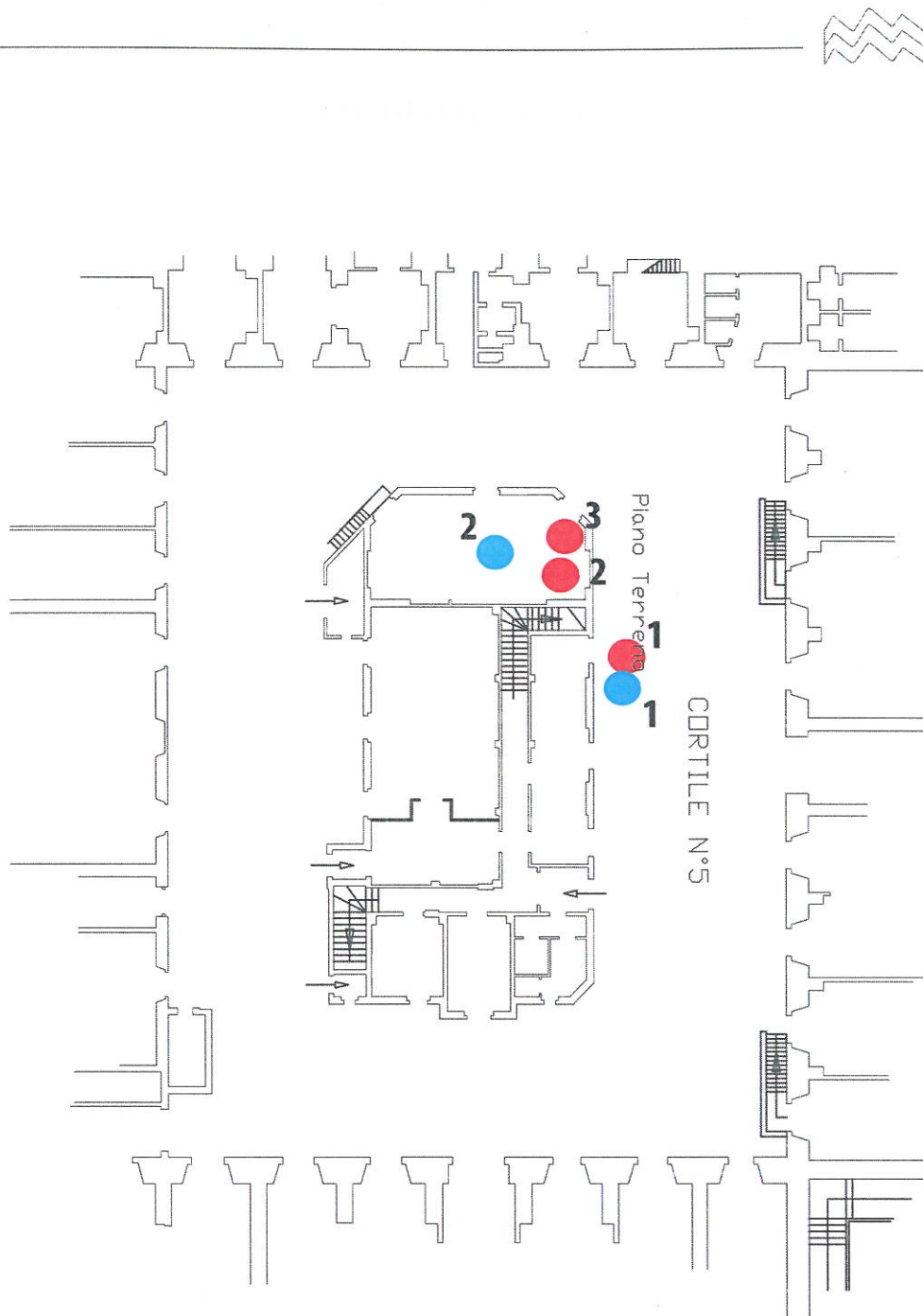
- tre (DPM1, DPM2 e DPM3) prove penetrometriche medie eseguite in direzione verticale e spinte fino a rifiuto strumentale;
- due (HVSR1 e HVSR2 ) indagini geofisiche puntuali per la misura del rumore ambientale mediante tecnica HVSR per caratterizzare simicamente il terreno del sito in esame.

L'ubicazione delle indagini eseguite sono riportate nella figura 6, mentre i risultati delle prove penetrometriche e delle indagini geofisiche con la relativa documentazione fotografica sono riportate rispettivamente nell'Allegato 2 e Allegato 3 .

Due delle prove penetrometriche sono state eseguite all'interno di uno scavo eseguito precedentemente per visionare la tipologia della fondazione esistente. Le prove hanno raggiunto un profondità massima di 0,80 m dal piano di scavo.

In particolare la prova penetrometrica 1 e HVSR 1 sono state eseguite dal piano campagna mentre le restanti prove, eseguite nel prescavo suddetto, sono state condotte a partire dal piano interrato a circa 3.5 m al di sotto del piano campagna

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 14 di 18



Ubicazione prova penetrometrica n°



Ubicazione prova HVSR n°

Figura 6 - Ubicazione delle indagini

## 6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE FORMAZIONI

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è di seguito definita sulla base dei risultati delle prove penetrometriche eseguite coadiuvati con i dati del sondaggio geognostico con prove SPT e prove di laboratorio eseguite precedentemente nelle immediate vicinanze dell'edificio in esame, per la precisione il sondaggio è stato eseguito all'interno del cortile di Palazzo Caprara.

Le risultante delle prove penetrometriche non sono state prese in considerazione poiché le prove hanno raggiunto una profondità d'indagine minore di 1 m dal p.c.

### caratteristiche fisiche

- $\gamma$  = peso di volume naturale;

### caratteristiche meccaniche

- $c'$  = coesione drenata (in termini di tensione efficace), ottenuta da una prova di taglio diretto consolidata drenata;
- $\phi'$  = angolo d'attrito interno (in termini di tensione efficace), ottenuto da una prova di taglio diretto consolidata drenata;
- $E'$  = modulo elastico di Young.
- $E$  = modulo edometrico

La caratterizzazione geotecnica dei terreni incontrati ha permesso la suddivisione nelle seguenti unità litotecniche.

### Unità 1 – Terreno di riporto marrone-grigiastro.

$\gamma_n$	=	12.00 – 15.00	kN/m <sup>3</sup>
$c'$	=	0	kPa
$\phi'$	=	25 – 30	°
$E'$	=	4 – 5	MPa

Terreno eterogeneo (prevalentemente piroclastico) ed eterometrico (prevalentemente sabbioso e ghiaioso).

Spessore compreso fra i 3.0 e 5.0 m .

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 15 di 18

**Unità 2 – Piroclastiti granulari blandamente saldate** (Valori da bibliografia geotecnica)

$$\gamma_n = 13.00 - 15.00 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c' = 5 - 10 \quad \text{kPa}$$

$$\phi' = 32 - 36 \quad ^\circ$$

$$E' = 5 - 20 \quad \text{MPa}$$

Spessore: compreso fra gli 8.0 – 10.0 m.

**Unità 3 – Sabbie e sabbie limose avana** (Valori da bibliografia geotecnica)

$$\gamma_n = 18.00 - 20.00 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c' = 0 \quad \text{kPa}$$

$$\phi' = 30 - 34 \quad ^\circ$$

$$E' = 25 - 35 \quad \text{MPa}$$

Spessore di circa 4.00 – 6.00 m.

**Unità 4 – Sabbie e limi giallo ocra** (Valori da bibliografia geotecnica)

$$\gamma_n = 19.00 - 20.00 \quad \text{kN/m}^3$$

$$c' = 0 - 10 \quad \text{kPa}$$

$$\phi' = 26 - 33 \quad ^\circ$$

$$E' = 10 - 15 \quad \text{MPa}$$

Spessore di circa 8.00 – 10.0 mm

Di seguito viene riportato uno schema litostratigrafico desunto dalla bibliografia geotecnica e dal sondaggio eseguito nelle vicinanze al fabbricato in esame (figura 7).

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 16 di 18

~ 52 - 54 m s.l.m.

p.c.

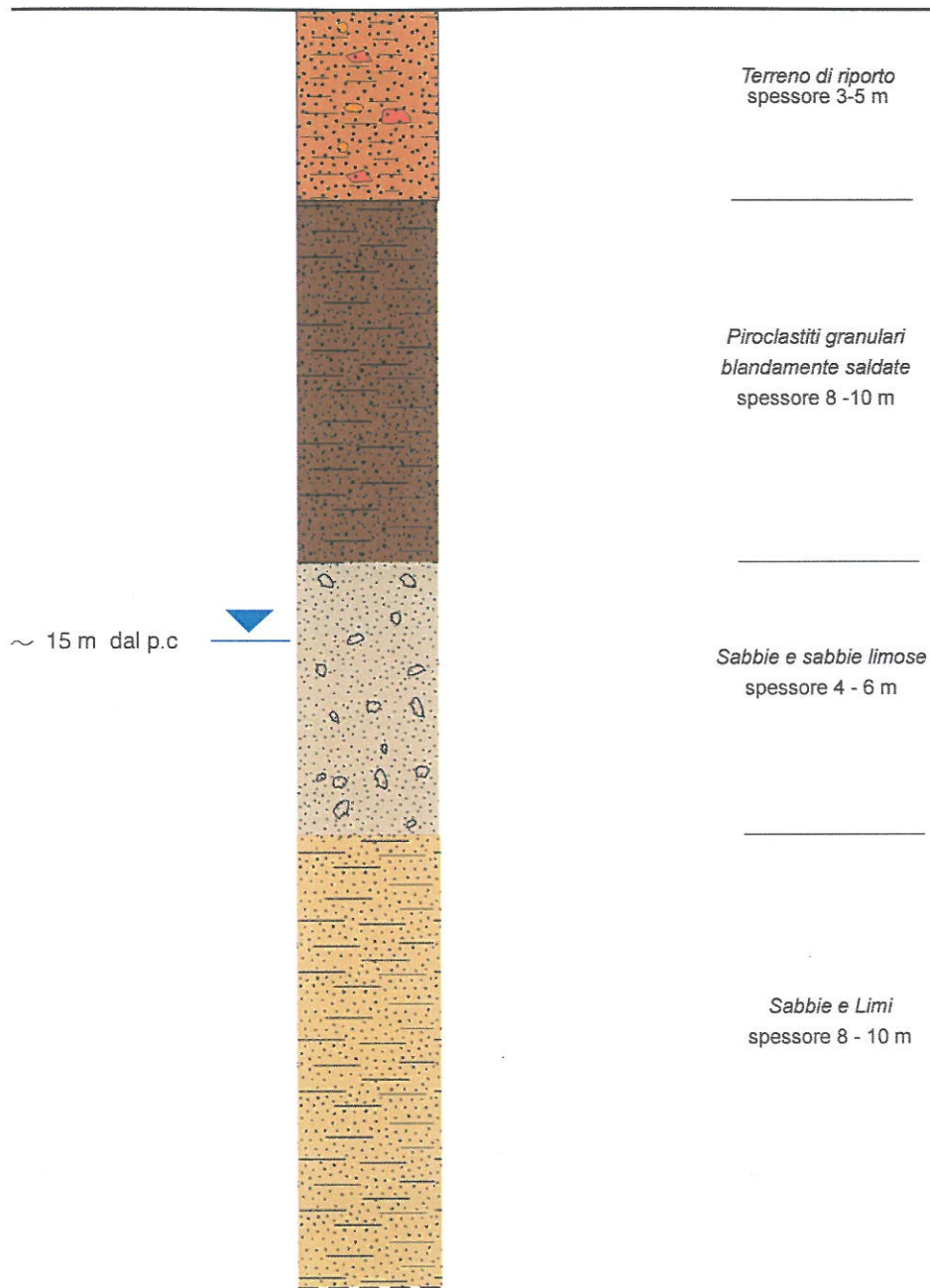


Figura 7 - Stratigrafia di massima del terreno desunta dalla bibliografia e da sondaggi eseguiti nelle zone limitrofe (non in scala).

## 7. CONSIDERAZIONI

Le evidenze geologico-stratigrafiche, dinamiche e geotecniche esposte nel presente lavoro, permettono la definizione del *modello geotecnico* come definito nelle Norme Tecniche per le costruzioni.

I tal senso si può riassumere che i terreni presenti nel presunto volume significativo dell'opera (nell'ipotesi di murature fondate direttamente a terra a circa 3 - 4 m dal piano di calpestio) presentano, nel complesso dei vari strati, una buona continuità laterale come desumibile anche dalla carta geologica e da dati bibliografici; tali terreni presentano caratteristiche geotecniche gradualmente crescenti (in generale da mediamente a buone) con la profondità e nei primi trenta metri, da un punto di vista dinamico, rientrano in Categoria di suolo C. La falda principale dovrebbe essere presente a profondità compresa tra 13 e 15 m circa ma non si possono escludere a profondità inferiori falde sospese minori.

Roma, 22 febbraio 2013

Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi



commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 17 di 18

## BIBLIOGRAFIA

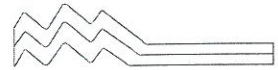
- CARBONI M.G., FUNICIELLO R., PAROTTO M., MARRA F., SALVI S., CORAZZA A., LOMBARDI L. & FEROCI M. (1991) – *Geologia e idrogeologia del centro storico di Roma*. Progetto Strategico Roma Capitale, CNR.
- CECCONI M., SCARAPAZZI M., VIGGIANI G.B.M. (2010) - On the geology and the geotechnical properties of pyroclastic flow deposits of the Colli Albani - *Bullettin Engineerin and Geological Environmental* 1/2010.
- DE RITA D., FUNICELLO R., PAROTTO M. & SALVINI F. (1984) – *Geologia dei Colli Albani* (ENEL-AGIP).
- FEROCI M., FUNICIELLO R., MARRA F. & SALVI S. (1990) – *Evoluzione tettonica e paleogeografica plio-pleistocenica dell'area di Roma*. *Il Quaternario*, 3 (2), 141-148, Roma.
- MARRA F. (1993) – *Stratigrafia e assetto geologico-strutturale dell'area romana tra il Tevere e il Rio Galeria*. *Geologica Romana*, 29, 515-535, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1995) – *La Geologia di Roma. Il centro Storico*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., L, Roma.
- VENTRIGLIA U. (2002) – *La geologia della città di Roma*. Amm. Prov. di Roma, Roma.
- VENTRIGLIA U. (1990) – *Idrogeologia della Provincia di Roma*. Provincia di Roma, Ass. LL. PP. Viab. e Trasp., Roma.

commessa	elaborato	revisione	nome file	Roma 22/02/2013
375/12	Rege/tc	Rev 0	3 copie	Pagina 18 di 18



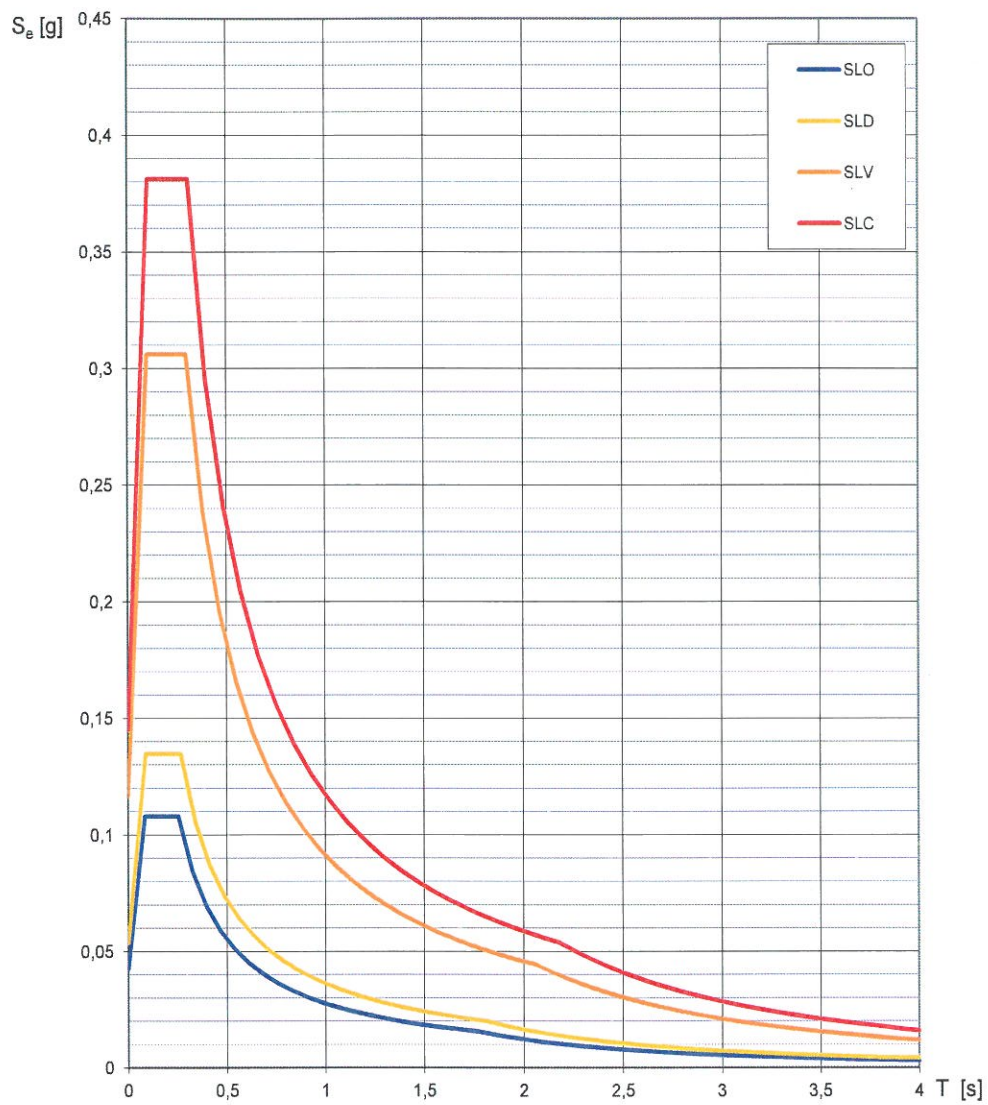
Allegato - 1

RISPOSTA SISMICA LOCALE



Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

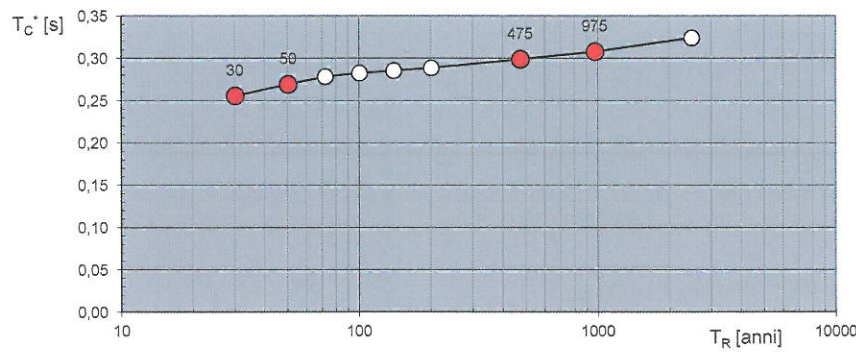
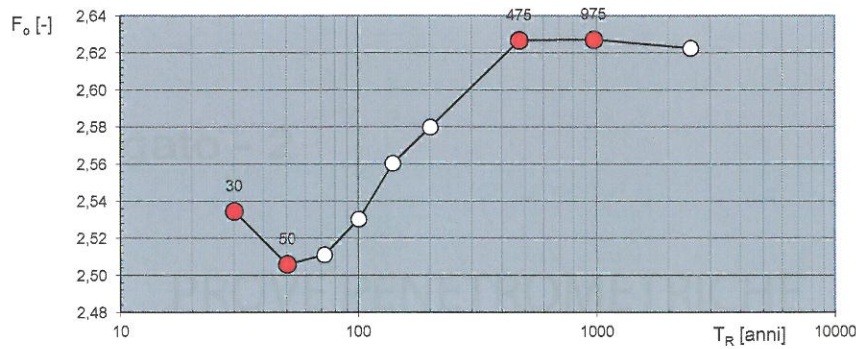
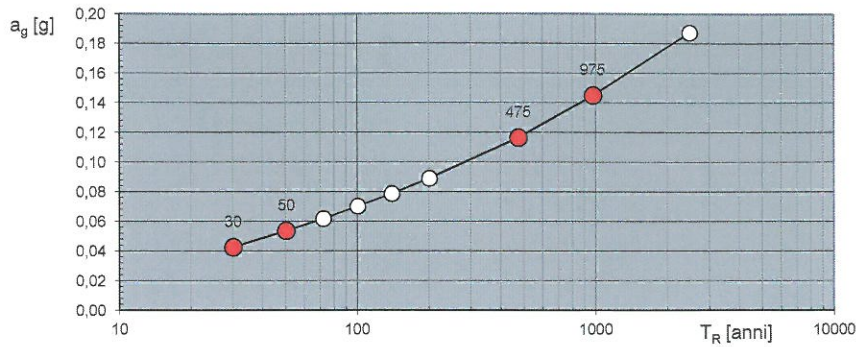
### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite





Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$**



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,043	2,535	0,256
SLD	50	0,054	2,506	0,270
SLV	475	0,116	2,627	0,299
SLC	975	0,145	2,627	0,308



Allegato - 2

PROVE PENETROMETRICHE

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: IMST Progetti S.r.l  
Cantiere: Palazzina Ex Teatro, Via Firenze  
Località: Roma

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PENNY 30

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	12 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.90 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.765
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

**OPERATORE**  
Dott. Geologo Angelo Bonifazi

**RESPONSABILE**

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

**penetrometri in uso in Italia**

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFEE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFEE)  
massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta  
conica  
( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango  
bentonitico : talora  
previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFEE)  
massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta  
conica  
( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango  
bentonitico : talora  
previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFEE)  
massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta  
conica ( $\alpha = 60^\circ$ ),  
diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo  
precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta  
conica conica ( $\alpha =$   
 $60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango  
bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con $N_{spt}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{spt}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

$M$  = peso massa battente;

- M' = peso aste;  
 H = altezza di caduta;  
 A = area base punta conica;  
 δ = passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- Rpd = resistenza dinamica punta (area A);  
 e = infissione media per colpo (δ/ N);  
 M = peso massa battente (altezza caduta H);  
 P = peso totale aste e sistema battuta.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

### Valutazioni statistiche e correlazioni

## **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Media + s**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

### **Media - s**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

## **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immorsamento  $d = 1$  mt..

## **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

### **Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

### **Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda**

$N_{spt}$  corretto =  $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### **Modulo Di Young ( $E_v$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Peso di volume saturo**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

#### *Modulo di poisson*

- Classificazione A.G.I.

#### *Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)*

- Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

#### *Velocità onde di taglio $V_s$ (m/sec)*

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

#### *Modulo di deformazione di taglio (G)*

- Ohsaki & Iwasaki - elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

#### *Modulo di reazione ( $K_0$ )*

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### *Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )*

- Robertson 1983  $Q_c$

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### *Coesione non drenata*

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt < 8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .
- Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### *Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )*

- Robertson 1983  $Q_c$

#### *Modulo Edometrico-Confinato ( $M_0$ )*

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.

- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

#### *Modulo Di Young ( $E_y$ )*

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### *Stato di consistenza*

- Classificazione A.G.I. 1977

#### *Peso di Volume Gamma*

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### *Peso di volume saturo*

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova  
 Falda non rilevata

PENNY 30  
 31/01/2013  
 .80 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	1	0.857	3.47	4.05	0.17	0.20
0.20	30	0.755	91.78	121.62	4.59	6.08
0.30	14	0.803	45.56	56.76	2.28	2.84
0.40	12	0.851	41.39	48.65	2.07	2.43
0.50	12	0.849	41.30	48.65	2.06	2.43
0.60	4	0.847	13.74	16.22	0.69	0.81
0.70	3	0.845	10.28	12.16	0.51	0.61
0.80	50	0.643	130.41	202.70	6.52	10.14

**TERRENI COESIVI**

**Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
Strato 1	8.31	0.70	0.56	1.04	0.50	0.33	0.81	1.32	0.74	1.06	0.42	1.39	1.04

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	8.31	0.70	Robertson (1983) 16.62

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	8.31	0.70	38.13	--	86.55	103.88

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	8.31	0.70	75.17	83.10

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	8.31	0.70	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	8.31	0.70	Meyerhof ed altri	1.91

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	8.31	0.70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	--

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 2	38.25	0.80	71.97	100	66.43	70.95

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 2	38.25	0.80	38.25	37.93	30.93	38.71	0	41.21	42	35-38	38.95	38.47	32.78	42.66

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 2	38.25	0.80	38.25	441.45	306.00	452.05	466.88	266.25

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 2	38.25	0.80	38.25	229.50	106.03	271.58	208.60

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	38.25	0.80	38.25	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	38.25	0.80	38.25	Meyerhof ed altri	2.19

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	38.25	0.80	38.25	Terzaghi-Peck 1948-1967	---

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	38.25	0.80	38.25	(A.G.I.)	0.28

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 2	38.25	0.80	38.25	1997.96	1158.50

**PROVA ... Nr.2**

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova  
 Falda non rilevata

PENNY 30  
 31/01/2013  
 .80 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	1	0.857	3.47	4.05	0.17	0.20
0.20	5	0.855	17.32	20.27	0.87	1.01
0.30	4	0.853	13.83	16.22	0.69	0.81
0.40	4	0.851	13.80	16.22	0.69	0.81
0.50	7	0.849	24.09	28.38	1.20	1.42
0.60	8	0.847	27.47	32.43	1.37	1.62
0.70	30	0.745	90.63	121.62	4.53	6.08
0.80	50	0.643	130.41	202.70	6.52	10.14

**TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
Strato 1	3.69	0.60	0.23	0.46	0.15	0.15	0.36	0.59	0.34	0.71	0.19	0.59	0.46

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	3.69	0.60	Robertson (1983) 7.38

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat

Strato 1	3.69	0.60	16.93	55.35	39.43	46.13
----------	------	------	-------	-------	-------	-------

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	3.69	0.60	22.04	36.90

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	3.69	0.60	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	3.69	0.60	Meyerhof ed altri	1.68

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	3.69	0.60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.87

**TERRENI INCOERENTI**
**Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 2	30.6	0.80	66.25	100	65.48	64.11

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 2	30.6	0.80	30.6	35.74	28.74	36.57	0	39.8	42	32-35	36.42	36.18	31.94	39.74

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Apollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 2	30.6	0.80	30.6	394.85	244.80	361.78	409.50	228.00

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 2	30.6	0.80	30.6	183.60	90.32	217.26	174.48

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	30.6	0.80	30.6	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	30.6	0.80	30.6	Meyerhof ed altri	2.14

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	30.6	0.80	30.6	(A.G.I.)	0.29

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 2	30.6	0.80	30.6	1619.91	1010.85

**PROVA ... Nr.3**

Strumento utilizzato...  
 Prova eseguita in data  
 Profondità prova  
 Falda non rilevata

PENNY 30  
 31/01/2013  
 .70 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.10	2	0.857	6.95	8.11	0.35	0.41
0.20	4	0.855	13.86	16.22	0.69	0.81
0.30	3	0.853	10.37	12.16	0.52	0.61
0.40	2	0.851	6.90	8.11	0.34	0.41
0.50	5	0.849	17.21	20.27	0.86	1.01
0.60	4	0.847	13.74	16.22	0.69	0.81
0.70	50	0.645	130.78	202.70	6.54	10.14

**TERRENI COESIVI**

**Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	Terzaghi-Peck (1948)	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
Strato 1	2.55	0.60	0.16	0.32	0.15	0.10	0.25	0.41	0.23	0.63	0.13	0.39	0.32

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	2.55	0.60	Robertson (1983) 5.10

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
Strato 1	2.55	0.60	11.70	38.25	27.80 31.88

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
Strato 1	2.55	0.60	8.93 25.50

**Classificazione AGI**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	2.55	0.60	Classificaz. A.G.I. (1977) POCO CONSISTENTE

**Peso unità di volume**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2.55	0.60	Meyerhof ed altri 1.60

**Peso unità di volume saturo**

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	2.55	0.60	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967 1.86

**TERRENI INCOERENTI**

**Densità relativa**

Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 2	38.25	0.70	73.14	100 66.76	70.95

**Angolo di resistenza al taglio**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 2	38.25	0.70	38.25	37.93	30.93	38.71	0	41.21	42	35-38	38.95	38.47	32.79 42.66

**Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)**

Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Apollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 2	38.25	0.70	38.25	441.45	306.00	452.05	466.88 266.25

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 2	38.25	0.70	38.25	229.50	106.03	271.58	208.60

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	38.25	0.70	38.25	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	38.25	0.70	38.25	Meyerhof ed altri	2.19

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 2	38.25	0.70	38.25	(A.G.I.)	0.28

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

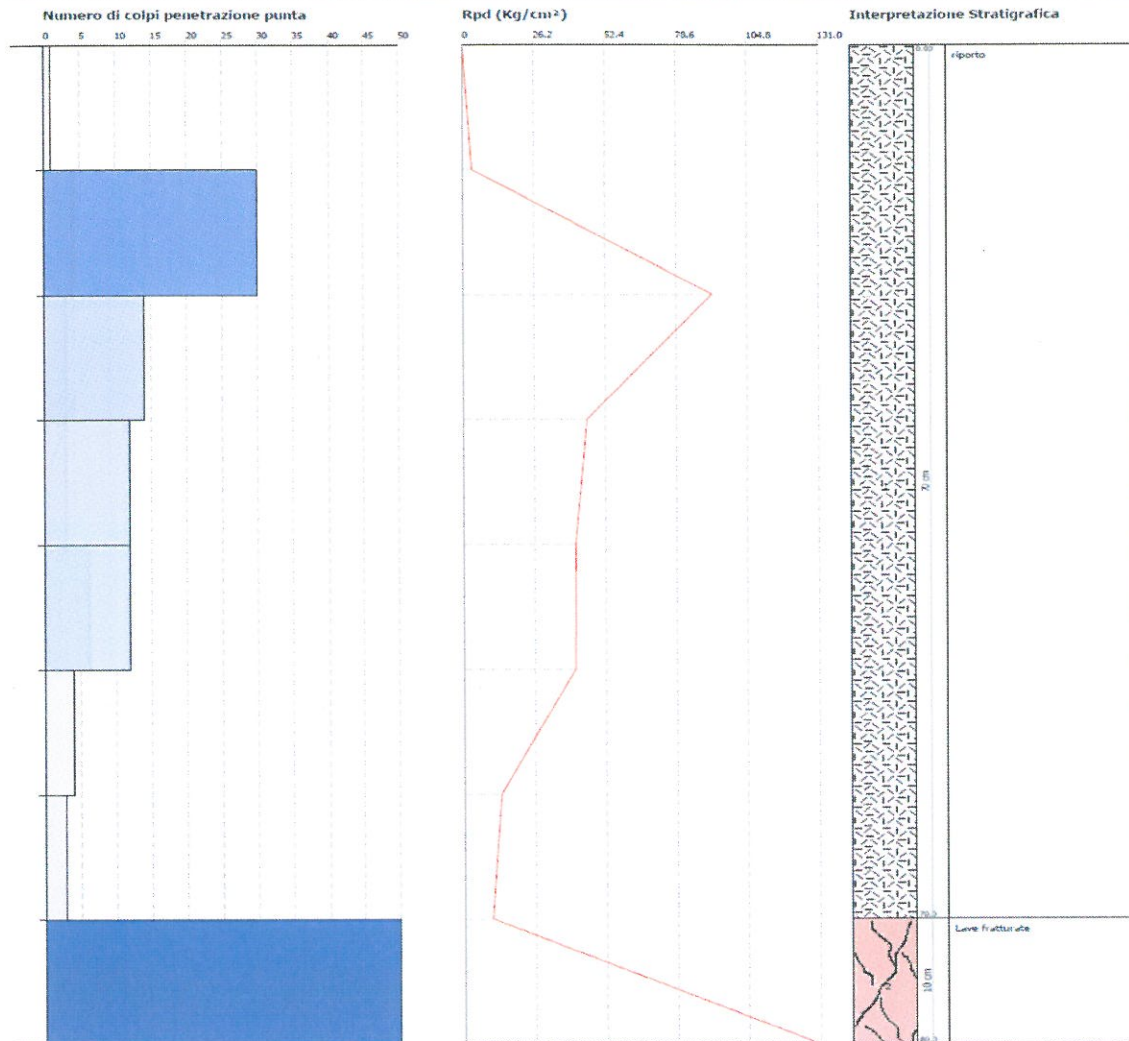
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 2	38.25	0.70	38.25	1997.96	1158.50

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1**  
**Strumento utilizzato... PENNY 30**  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd**

Committente :  
 Cantiere :  
 Località :

Data : 31/01/2013

Scala: 1:4

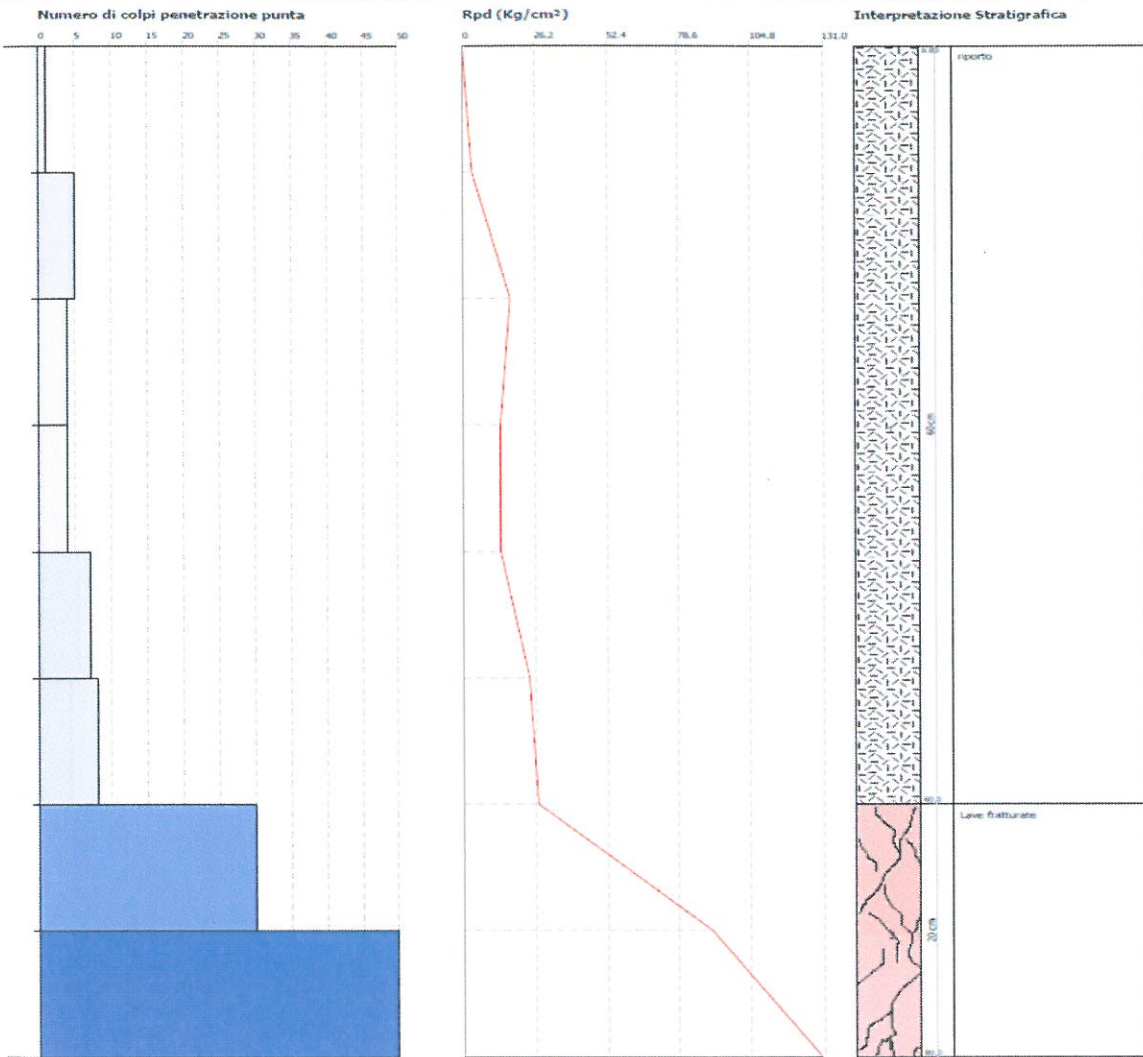


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... PENNY 30  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente :  
Cantiere :  
Località :

Data :31/01/2013

Scala 1:4

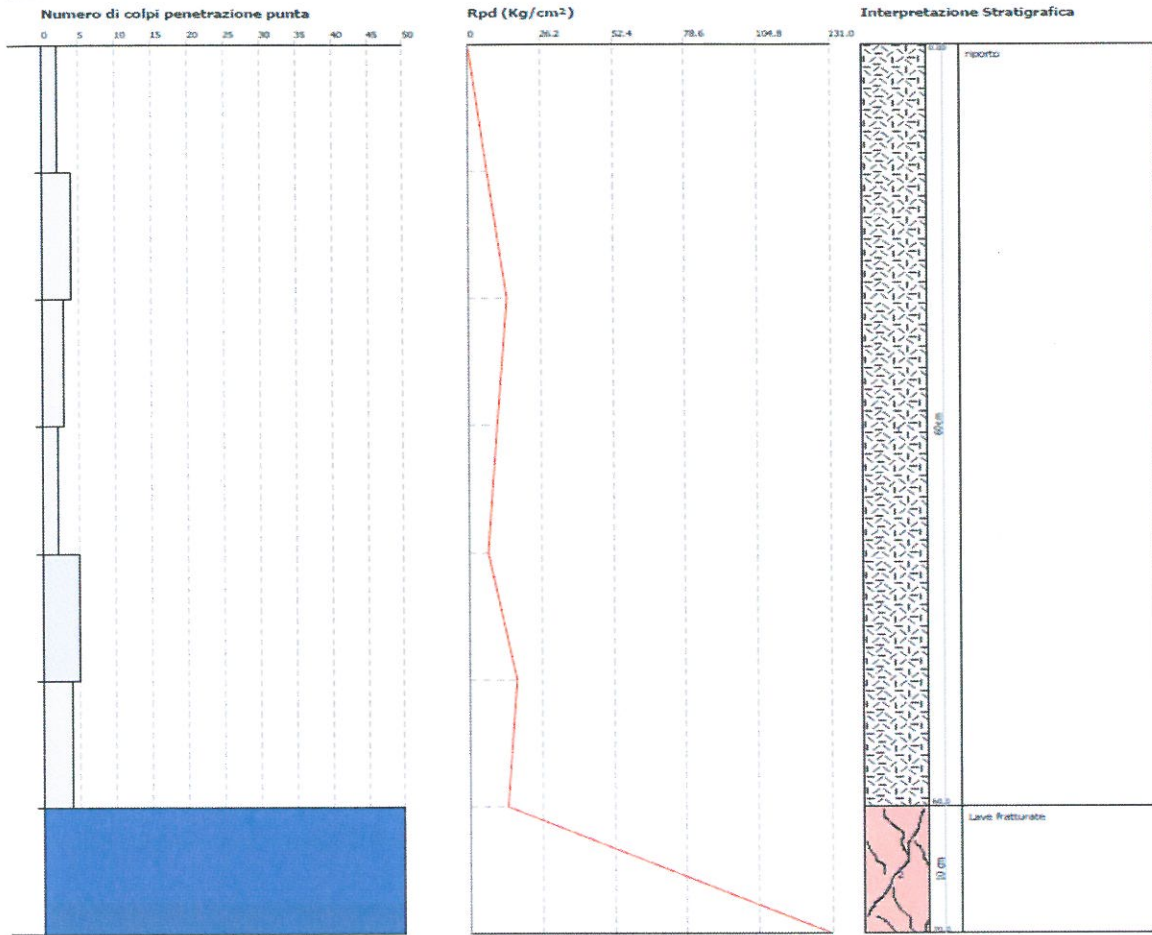


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
Strumento utilizzato... PENNY 30  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente :  
Cantiere :  
Località :

Data :31/01/2013

Scala 1:1



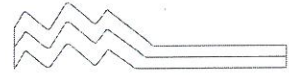


FOTO 1 :  
Prova penetrometrica DPM1



FOTO 2 :  
Prova penetrometrica DPM2



**Allegato - 3**

**INDAGINE GEOFISICA HVSR**

# Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

## Indice

Cenni tecnica HVSR .....	2
Dati generali .....	3
Tracce in input .....	3
Grafici tracce .....	3
Finestre selezionate .....	4
Tabella finestre .....	4
Grafici tracce con finestre selezionate .....	5
Grafici degli spettri .....	7
Mappa stazionarietà .....	7
Mappa direzionalità .....	7
Rapporto spettrale H/V .....	8
Grafico H/V .....	8
Verifiche SESAME .....	9
Modello stratigrafico .....	9
Grafico Profilo velocità .....	10
Indice .....	13

### **Cenni sulla teoria della tecnica HVSR**

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

# HVSR MINDIF 1

## Dati generali

Operatore: Dott. Geologo Angelo Bonifazi

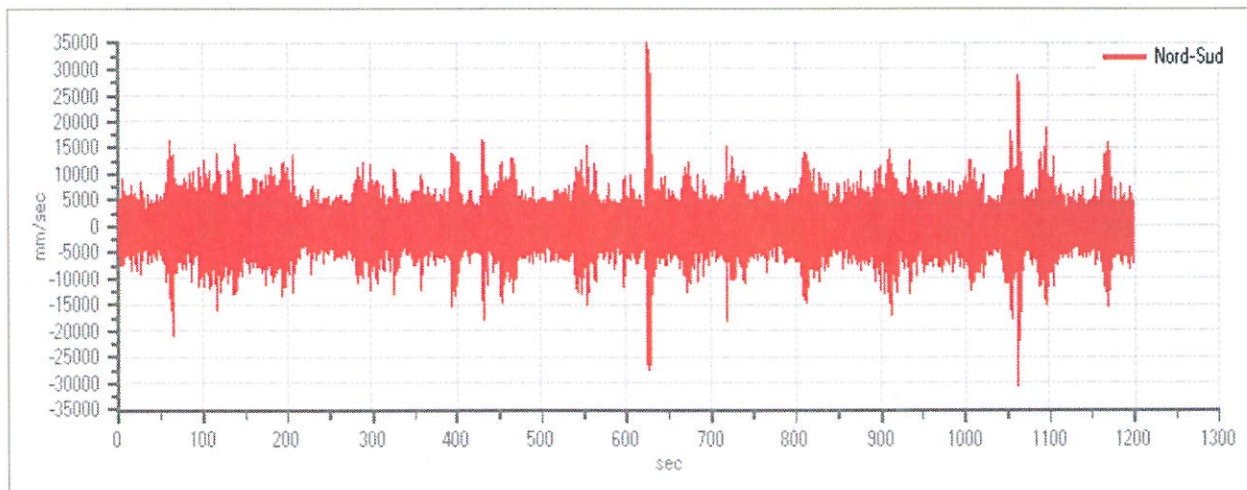
Data: 31/01/2013

## Tracce in input

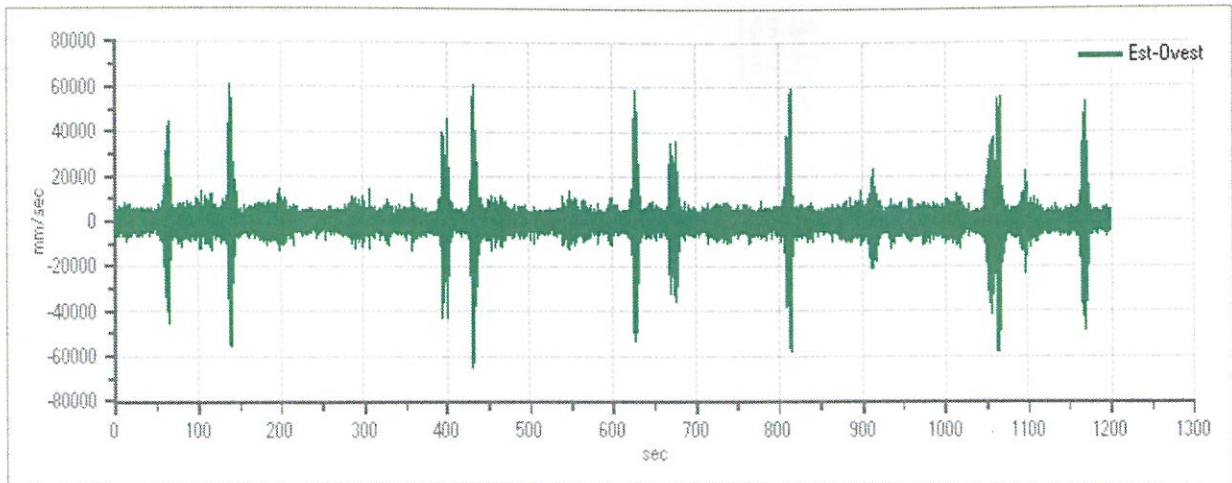
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	100.00 Hz
Numero campioni:	120024
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

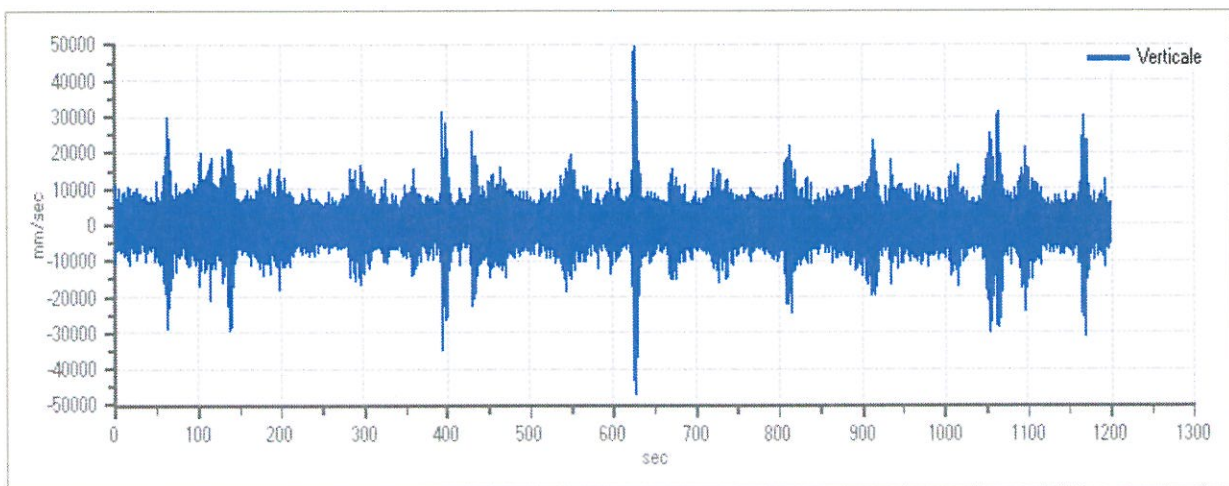
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

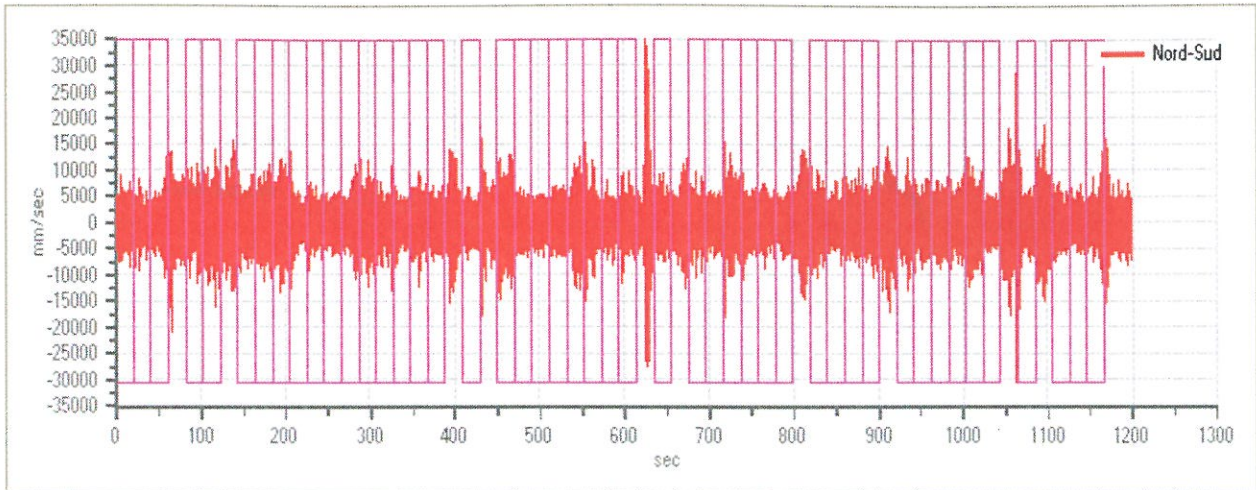
Numero totale finestre selezionate: 47  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 47  
 Dimensione temporale finestre: 20.480 s  
 Tipo di lisciamto: Triangolo proporzionale  
 Percentuale di lisciamto: 10.00 %

### Tabella finestre:

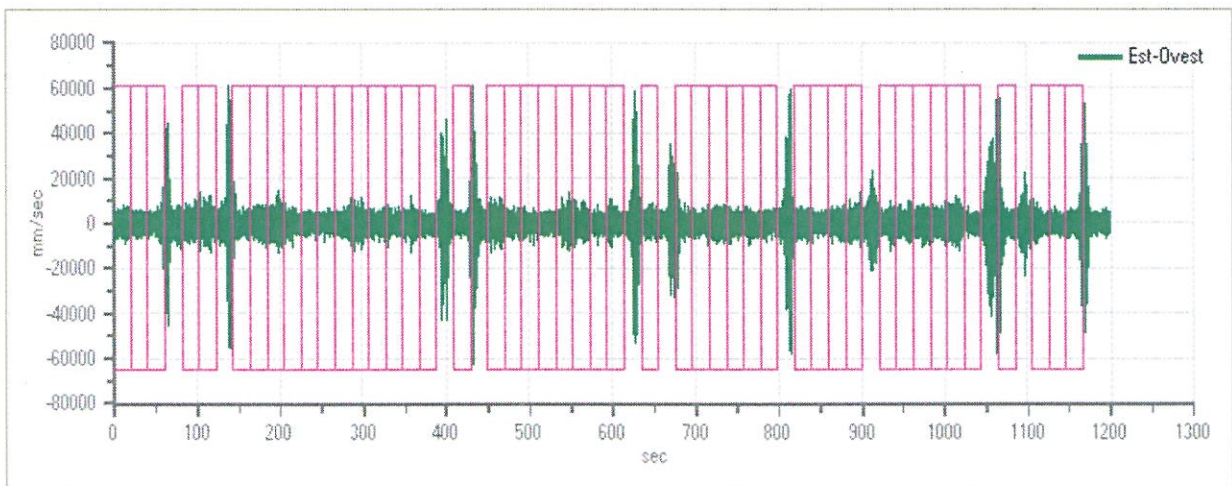
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20.48	Inclusa
2	20.48	40.96	Inclusa
3	40.96	61.44	Inclusa
4	81.92	102.4	Inclusa
5	102.4	122.88	Inclusa

6	143.36	163.84	Inclusa
7	163.84	184.32	Inclusa
8	184.32	204.8	Inclusa
9	204.8	225.28	Inclusa
10	225.28	245.76	Inclusa
11	245.76	266.24	Inclusa
12	266.24	286.72	Inclusa
13	286.72	307.2	Inclusa
14	307.2	327.68	Inclusa
15	327.68	348.16	Inclusa
16	348.16	368.64	Inclusa
17	368.64	389.12	Inclusa
18	409.6	430.08	Inclusa
19	450.56	471.04	Inclusa
20	471.04	491.52	Inclusa
21	491.52	512	Inclusa
22	512	532.48	Inclusa
23	532.48	552.96	Inclusa
24	552.96	573.44	Inclusa
25	573.44	593.92	Inclusa
26	593.92	614.4	Inclusa
27	634.88	655.36	Inclusa
28	675.84	696.32	Inclusa
29	696.32	716.8	Inclusa
30	716.8	737.28	Inclusa
31	737.28	757.76	Inclusa
32	757.76	778.24	Inclusa
33	778.24	798.72	Inclusa
34	819.2	839.68	Inclusa
35	839.68	860.16	Inclusa
36	860.16	880.64	Inclusa
37	880.64	901.12	Inclusa
38	921.6	942.08	Inclusa
39	942.08	962.56	Inclusa
40	962.56	983.04	Inclusa
41	983.04	1003.52	Inclusa
42	1003.52	1024	Inclusa
43	1024	1044.48	Inclusa
44	1064.96	1085.44	Inclusa
45	1105.92	1126.4	Inclusa
46	1126.4	1146.88	Inclusa
47	1146.88	1167.36	Inclusa

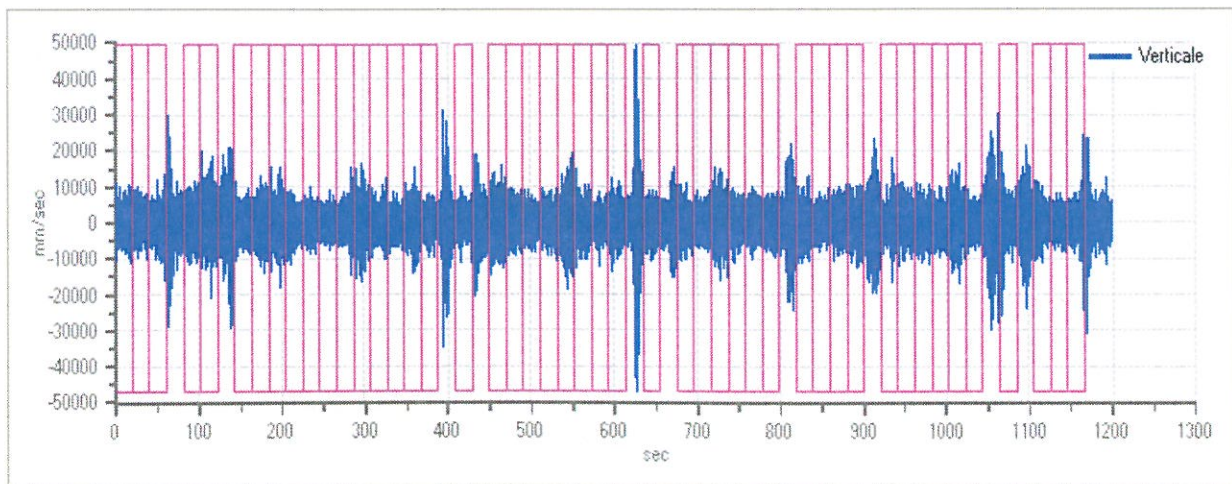
*Grafici tracce con finestre selezionate:*



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

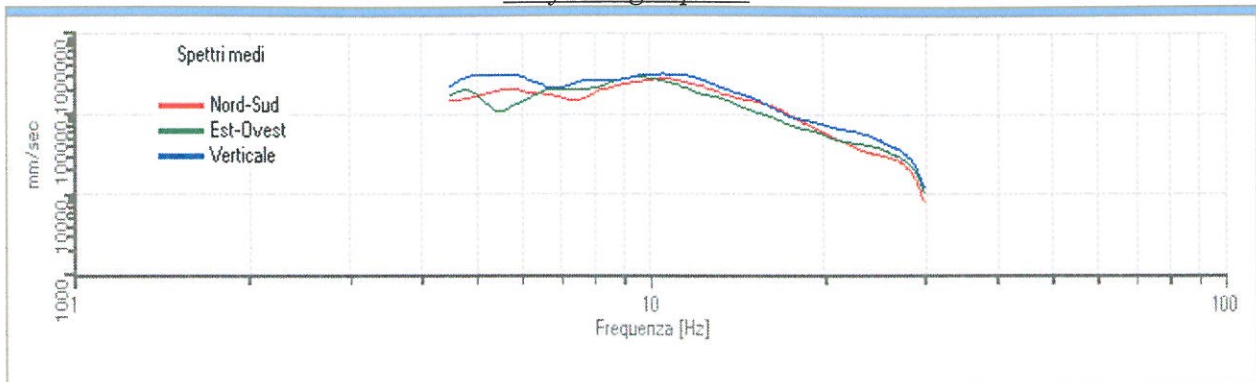


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

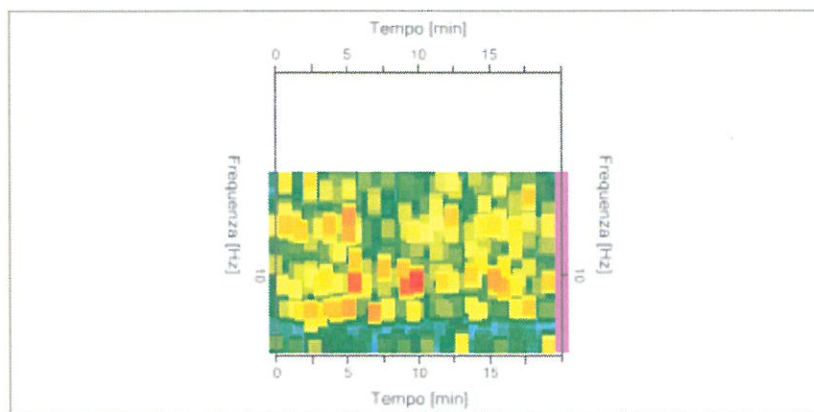


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

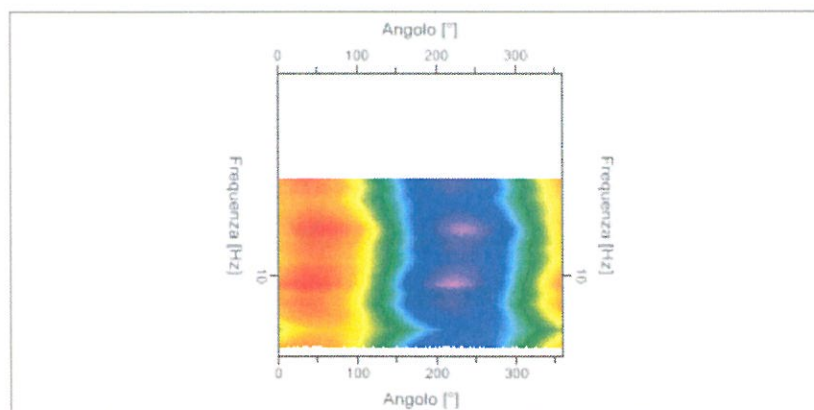
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mapa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

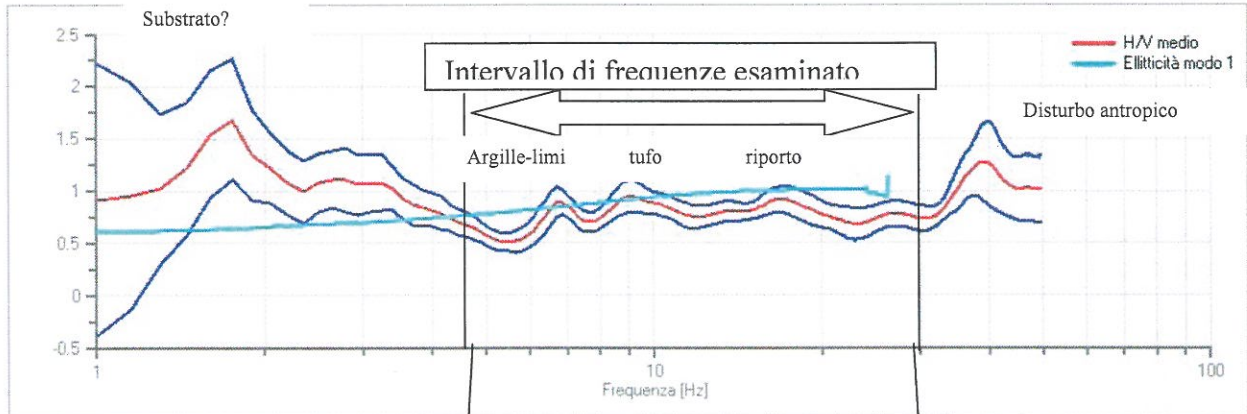
#### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	30.00 Hz
Frequenza minima:	4.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

**Risultati:**

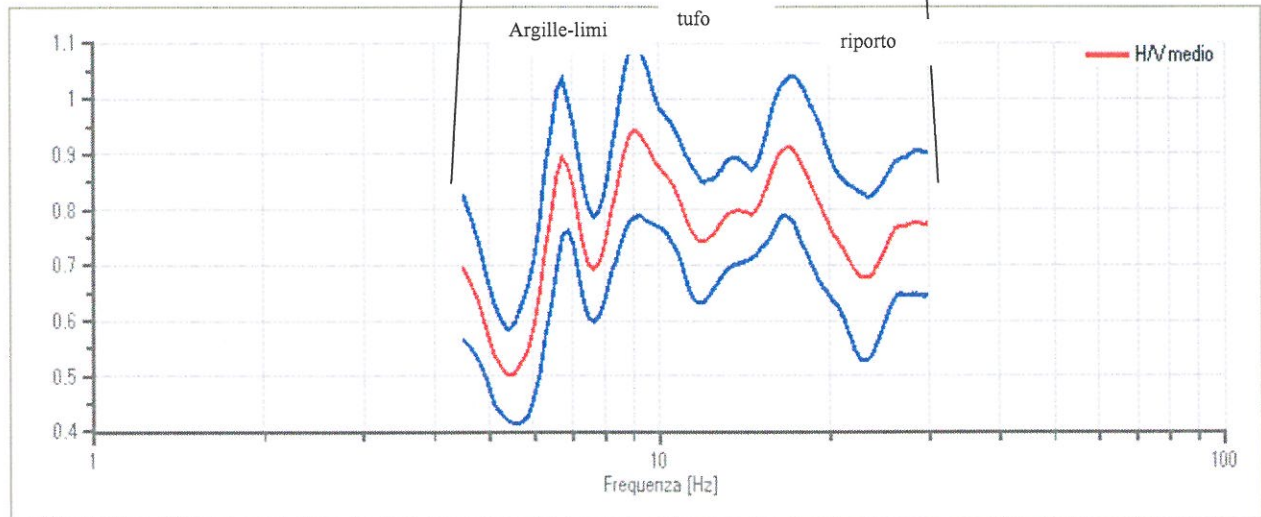
Frequenza del picco del rapporto H/V: 9.15 Hz ± 0.16 Hz



Rapporto spettrale H/V

frequenze 1-50 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ .	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$ .	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Non superato

$$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Ok

Ok

Ok

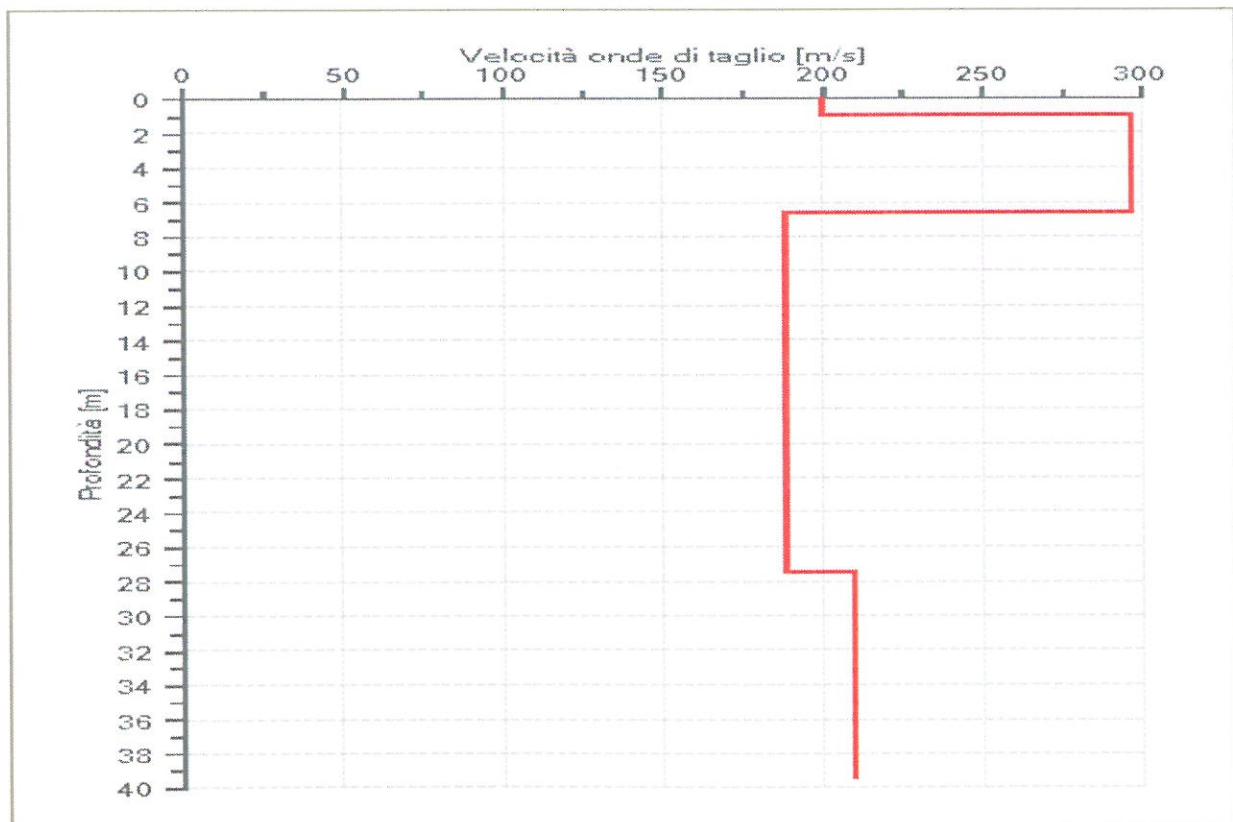
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 4  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 29.85 Hz  
 Valore di disadattamento: 0.14  
 Valore Vs30: 204.75 m/s

### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	18.5	0.35	200
2	1	5.7	19.5	0.3	297
3	6.7	20.74	18.5	0.3	188
4	27.44	12.07	18.5	0.3	210



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

# HVSR MINDIF 2

## Dati generali

Operatore: Dott. Geologo Angelo Bonifazi

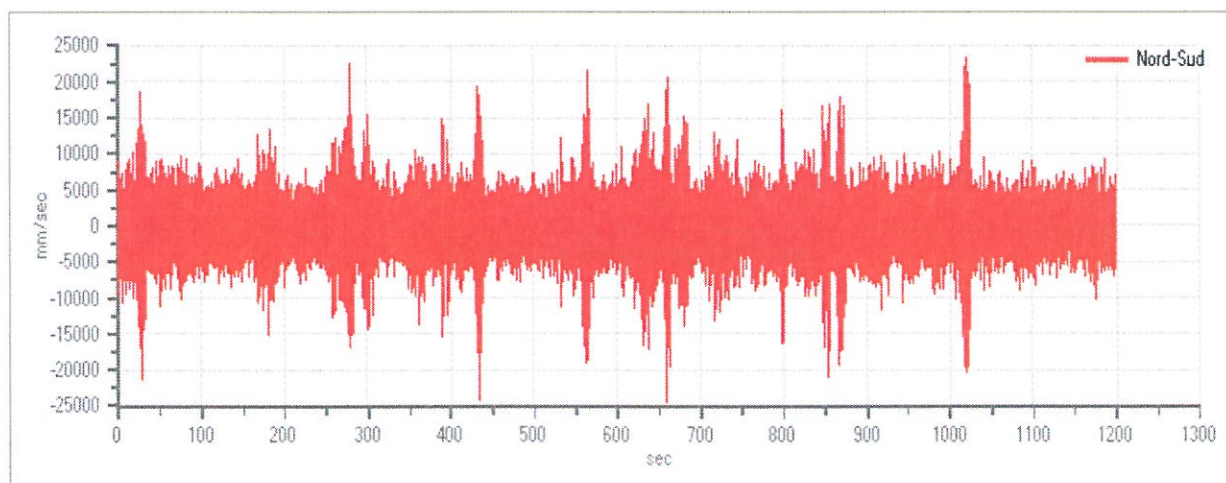
Data: 31/01/2013

## Tracce in input

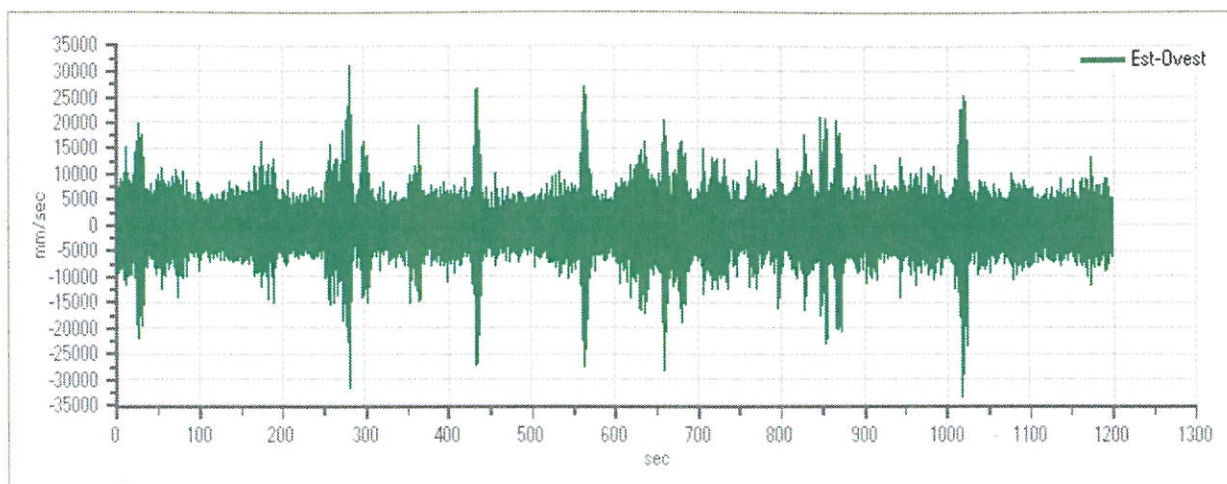
### Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	100.00 Hz
Numero campioni:	120024
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

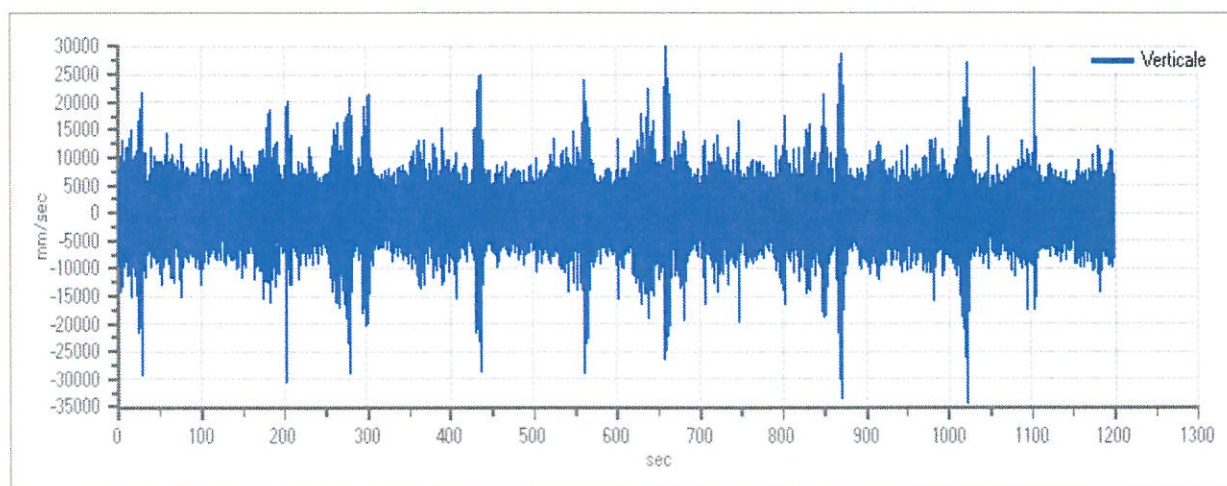
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

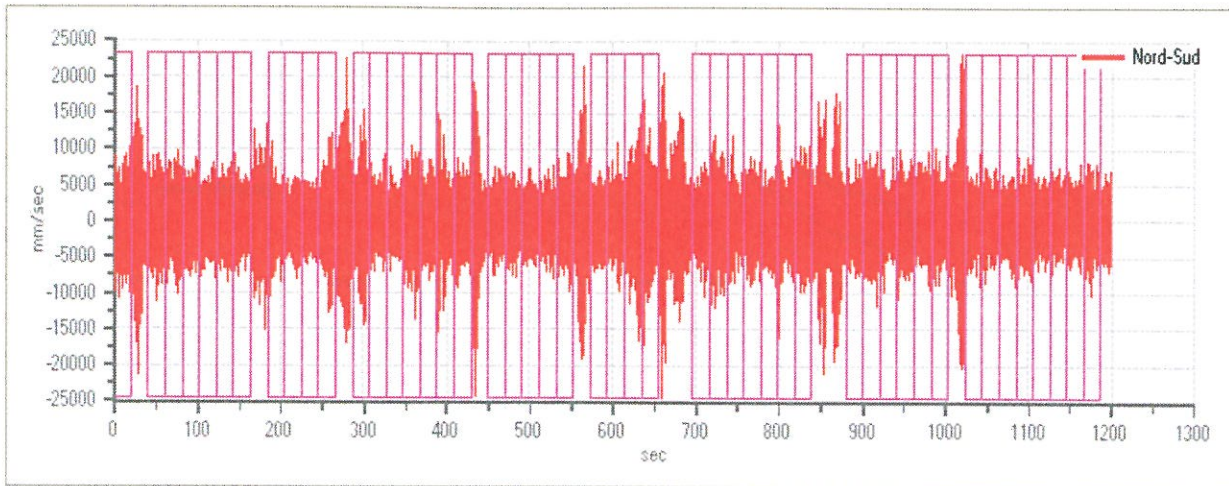
Numero totale finestre selezionate: 48  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 48  
 Dimensione temporale finestre: 20.480 s  
 Tipo di lisciamto: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamto: 10.00 %

### Tabella finestre:

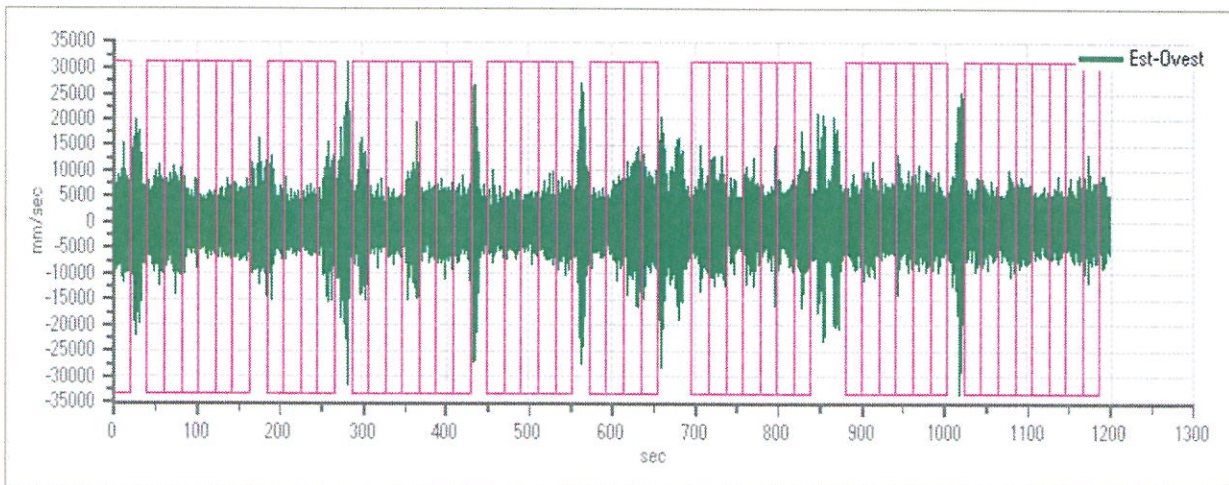
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20.48	Inclusa
2	40.96	61.44	Inclusa
3	61.44	81.92	Inclusa
4	81.92	102.4	Inclusa
5	102.4	122.88	Inclusa

6	122.88	143.36	Inclusa
7	143.36	163.84	Inclusa
8	184.32	204.8	Inclusa
9	204.8	225.28	Inclusa
10	225.28	245.76	Inclusa
11	245.76	266.24	Inclusa
12	286.72	307.2	Inclusa
13	307.2	327.68	Inclusa
14	327.68	348.16	Inclusa
15	348.16	368.64	Inclusa
16	368.64	389.12	Inclusa
17	389.12	409.6	Inclusa
18	409.6	430.08	Inclusa
19	450.56	471.04	Inclusa
20	471.04	491.52	Inclusa
21	491.52	512	Inclusa
22	512	532.48	Inclusa
23	532.48	552.96	Inclusa
24	573.44	593.92	Inclusa
25	593.92	614.4	Inclusa
26	614.4	634.88	Inclusa
27	634.88	655.36	Inclusa
28	696.32	716.8	Inclusa
29	716.8	737.28	Inclusa
30	737.28	757.76	Inclusa
31	757.76	778.24	Inclusa
32	778.24	798.72	Inclusa
33	798.72	819.2	Inclusa
34	819.2	839.68	Inclusa
35	880.64	901.12	Inclusa
36	901.12	921.6	Inclusa
37	921.6	942.08	Inclusa
38	942.08	962.56	Inclusa
39	962.56	983.04	Inclusa
40	983.04	1003.52	Inclusa
41	1024	1044.48	Inclusa
42	1044.48	1064.96	Inclusa
43	1064.96	1085.44	Inclusa
44	1085.44	1105.92	Inclusa
45	1105.92	1126.4	Inclusa
46	1126.4	1146.88	Inclusa
47	1146.88	1167.36	Inclusa
48	1167.36	1187.84	Inclusa

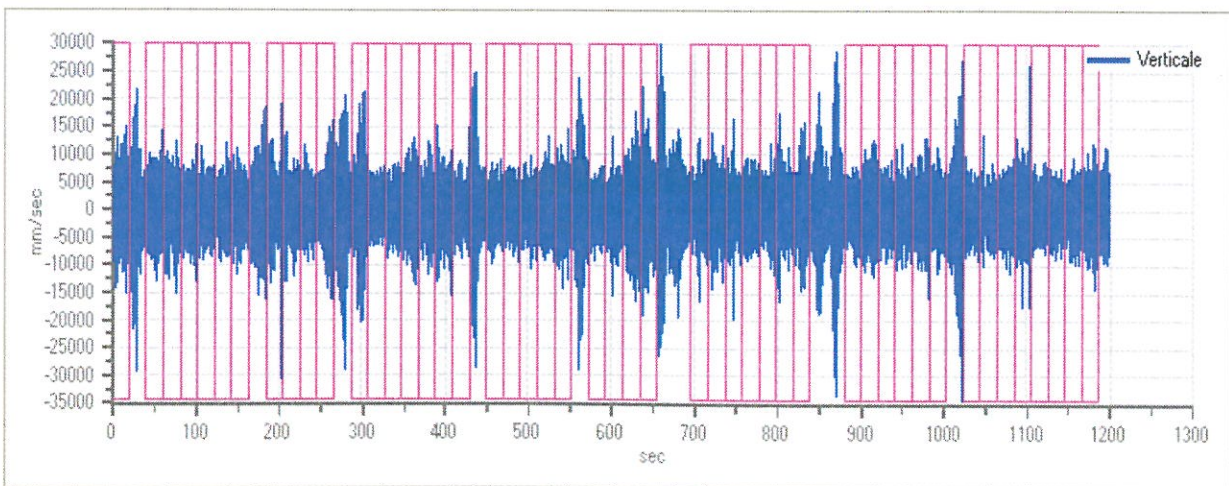
*Grafici tracce con finestre selezionate:*



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

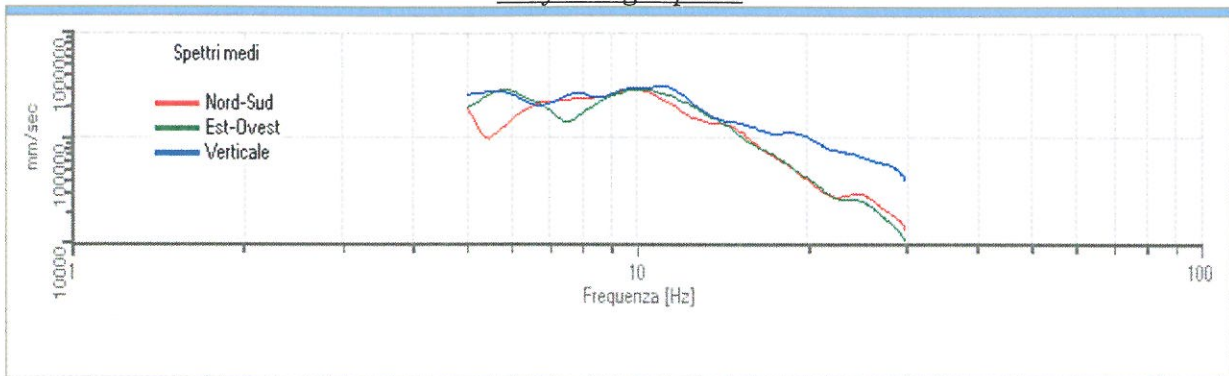


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

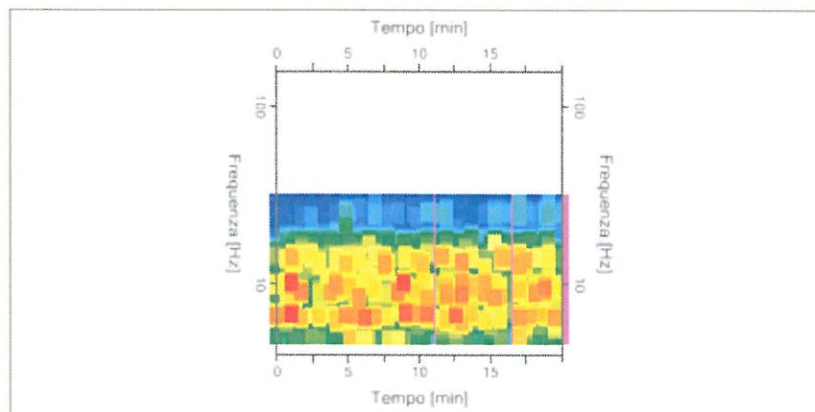


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

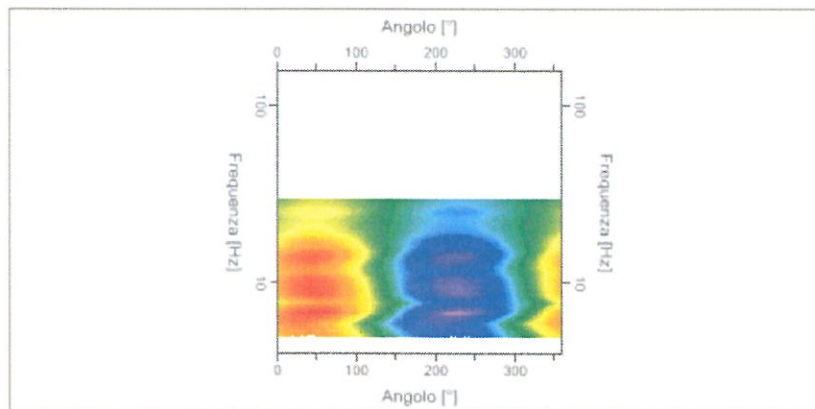
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mapa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità degli spettri

### Rapporto spettrale H/V

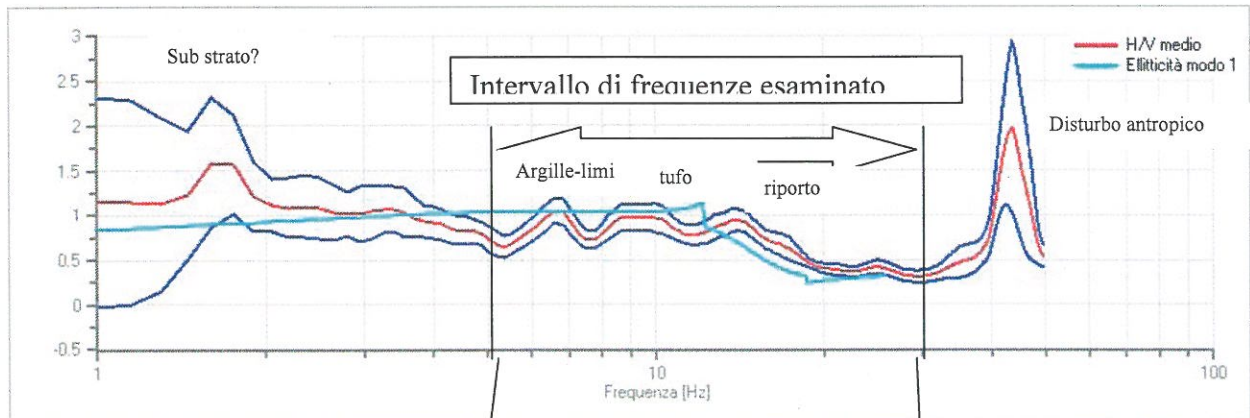
#### Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	30.00 Hz
Frequenza minima:	5.00 Hz
Passo frequenza:	0.15 Hz
Tipo lisciamiento::	Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

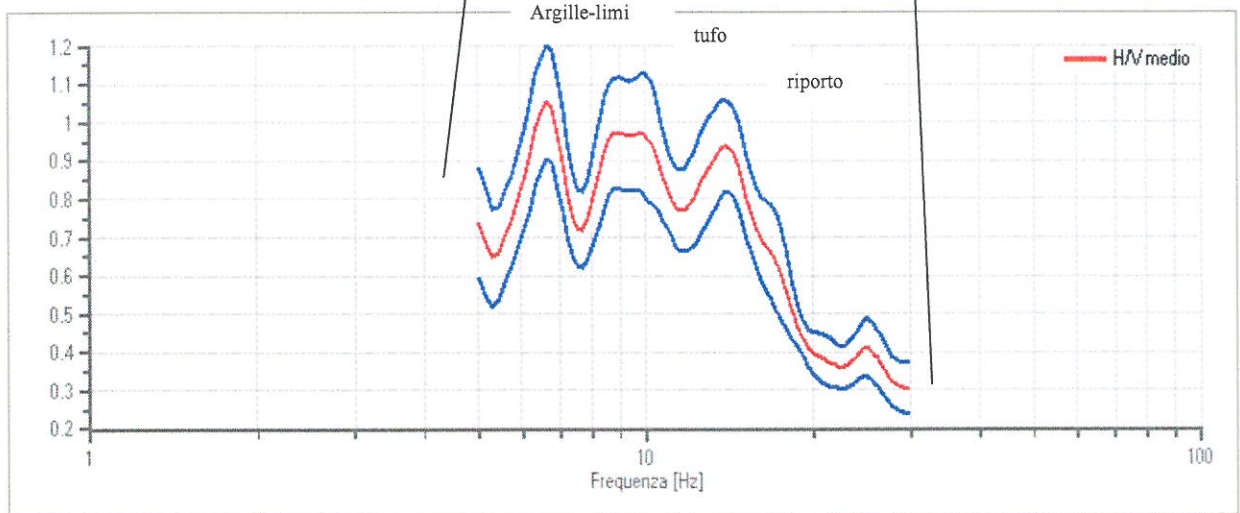
**Risultati:**

Frequenza del picco del rapporto H/V: 6.65 Hz ± 0.14 Hz



Rapporto spettrale H/V

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok

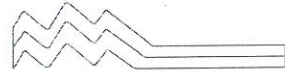


FOTO 1 :  
Esecuzione prova HVSR 1



FOTO 2 :  
Esecuzione prova HVSR 2

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Ok  
Ok

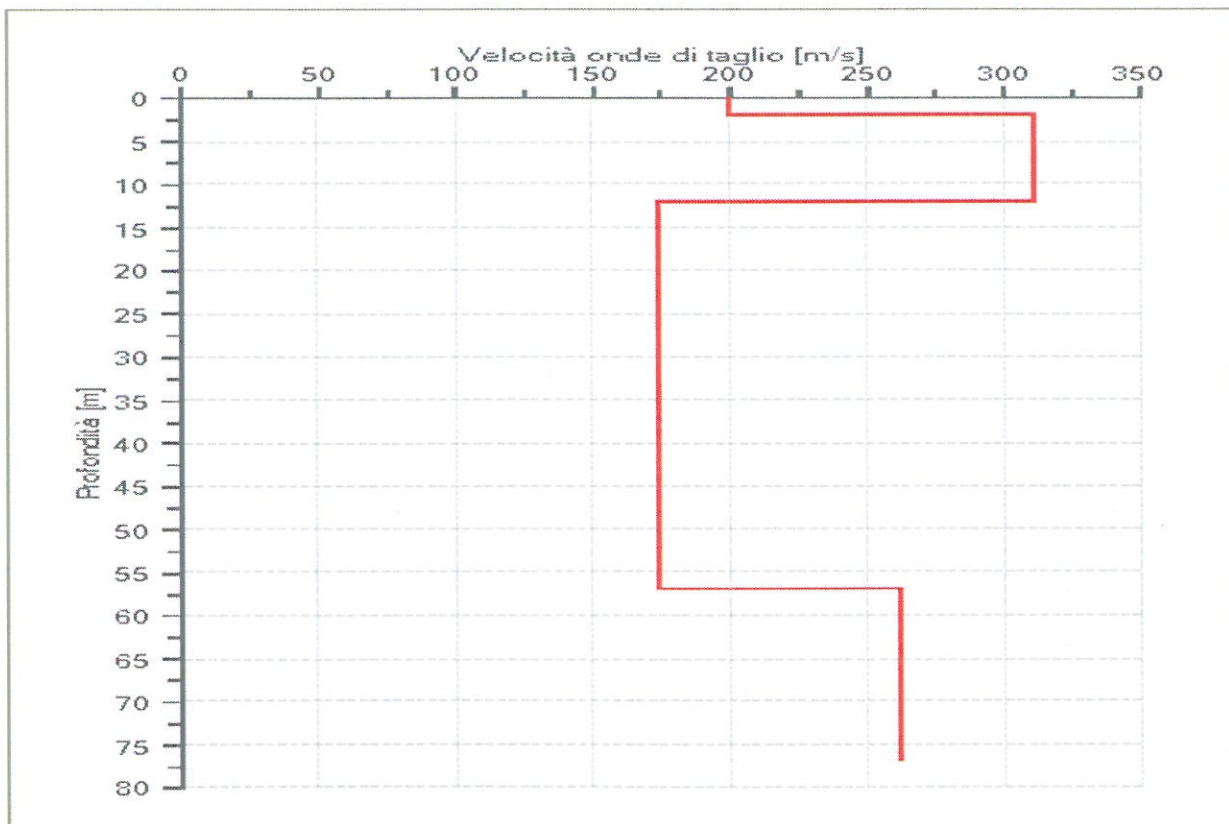
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 4  
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 16.10 Hz  
 Valore di disadattamento: 0.21  
 Valore Vs30: 206.19 m/s

### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2	18.5	0.34	200
2	2	10	19.5	0.3	311
3	12	44.92	18.5	0.3	174
4	56.92	20	18.5	0.3	262



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



**UFFICIO AUTONOMO LAVORI**  
G.M. per M.D. - ROMA

# PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI AMMODERNAMENTO E MESSA A NORMA DELLA PALAZZINA IN USO AL COMANDO C4 IN PALAZZO ESERCITO - ROMA

## PROGETTO ESECUTIVO



Impresa **TES ENERGIA SRL**  
ing. **VINCENZO SERAO**  
Marcianise (CE) Viale della Vittoria n.37 - c.a.p. 81025

### *Raggruppamento Temporaneo di Professionisti*

**ARCH. FABRIZIO MIRARCHI** | *capogruppo*  
coordinamento generale, progetto architettonico, progetto strutturale

**ING. VINCENZO CARPENTIERO** | *mandante*  
progetto impianti tecnologici

**ING. ANTONIO PAGLIUCA** | *mandante giovane professionista*  
progetto impianti tecnologici

**ARCH. GAETANO RICCARDELLI** | *mandante*  
progetto architettonico

**THAI STUDIO DI ARCHITETTURA** | *mandante*

### *consulenti*

**ing. Gianluca Rennella**  
*calcoli strutturali*

il Direttore dei Lavori  
**ing. FRANCESCO CALABRESE**

R.U.P.  
**Col. TICCONI MAURIZIO**

Titolo elaborato

**RELAZIONE TECNICA 2 INDAGINI E  
PROVE STRUTTURALI**

*(fornita dalla Stazione Appaltante)*

scala: --

data: MAGGIO 2018

argomento

**PD**

numero

**02**

# COMUNE DI ROMA

MUNICIPIO I

Via Firenze, 35

00184 Roma

PROPRIETA':

**MINISTERO DELLA DIFESA**

EDIFICIO:

**PALAZZINA COMANDO C4**

**Via Firenze n.35 - Roma**

ELABORATO:

**RELAZIONE TECNICA 2  
INDAGINI E PROVE STRUTTURALI**

ESEGUITO E REDATTO:

**INGEGNERIA CIVILE  
INDAGINI E PROVE NON DISTRUTTIVA**

**Ing. Adriano Pignataro**

Via Gian Maria Volontè, 24

00139 - Roma



Roma, 25/02/2013

## Sommario

1.	PREMESSA.....	3
2.	ATTREZZATURE E MATERIALI UTILIZZATI.....	5
3.	RILIEVI, INDAGINI E PROVE ESEGUITE.....	6
3.1.	INDAGINE PACOMETRICA.....	6
3.1.1.	PILASTRI.....	10
3.1.2.	FONDAZIONI.....	15
4.	PROVE SUL CALCESTRUZZO.....	17
4.1.	PROVA SCLEROMETRICA.....	17
4.2.	PROVA ULTRASONICA.....	19
4.2.1.	Introduzione.....	19
4.2.2.	Apparecchiatura.....	19
4.2.3.	Esecuzione della prova.....	20
4.2.4.	Interpretazione dei risultati.....	21
4.3.	METODO COMBINATO “SONREB”.....	22
4.4.	SCLEROMETRICHE.....	23
4.5.	ULTRASUONI E SONREB.....	24
4.6.	CAROTAGGIO.....	25
4.6.1.	CARBONATAZIONE E DEGRADO CLS.....	25
4.7.	RIEPILOGO RISULTATI SUL CLS.....	28
4.8.	CERTIFICATO DI LABORATORIO.....	29
5.	INDAGINI E SAGGI CONOSCITIVI.....	30
5.1.	INDAGINE ENDOSCOPICA.....	31
6.	ALLEGATI REPORT FOTOGRAFICI.....	33
6.1.	PILASTRI.....	33
6.2.	FONDAZIONE.....	49
6.3.	SAGGI.....	51
6.4.	ENDOSCOPIA.....	57
6.5.	SOLAIO GRADINATA.....	60



## 1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto il risultato di una campagna di indagini e prove strutturali eseguite sulla struttura dell'edificio Palazzina Comando C4, sita in via Firenze n.35 Roma.

Tali indagini e prove sono state condotte nei giorni 24 e 25 gennaio 2013.

Lo scrivente è stato incaricato per l'esecuzione di tali indagini dalla società Studio Associato IMST Progetti, via Pietro Tacchini n.16 – 00197 Roma.

Le indagini sono state effettuate in diverse zone diffuse dell'edificio e sono consistite nel:

- Individuazione della tipologia muraria mediante saggi localizzati
- Individuazione elementi strutturali e rilievo geometrico
- rilievo dell'armatura di pilastri in c.a. mediante pacometro
- rilievo diretto mediante saggi localizzati di armature;
- Prove sclerometriche, ultrasoniche e sonreb;
- Saggio con rilievo fondazione;

Di seguito si riportano alcune viste dell'edificio.





## 2. ATTREZZATURE E MATERIALI UTILIZZATI

- Pacometro a microprocessore Protovale (Oxford) Covermaster CM 9, n° serie: S904136;
- Sclerometro tipo N della Seb, n° serie: 1F0965
- Rilevatore ad ultrasuoni portatile Solgeo modello CMS V3H, n° serie: SGO2.U017;
- Fibroscopio flessibile da 8mm LIGHT SCOPE della BOVIAR;
- Rilevatore impianti Bosch modello PDO Multi, n° serie: 3603k10000
- Phenolphtaleina diluita al 1%;
- Carotatrice Bosch modello GDB1600WE;
- Corona diamantata Bosch ad umido, diametro: 107mm.
- Levigatrice Fein Multimaster
- Martello demolitore/perforatore Makita modello HRC3000C;
- Martello demolitore/perforatore Makita modello HR4011C-AVT;
- Malta tissotropica premiscelata: Mapegrout.
- Scale telescopiche.
- Vari strumenti ed utensili manuali.

### 3. RILIEVI, INDAGINI E PROVE ESEGUITE

#### 3.1. INDAGINE PACOMETRICA

Il pacometro CoverMaster CM9 prodotto dalla Protovale (Oxford) Ltd, è uno strumento di facile utilizzo che permette l'individuazione e la misura delle barre di armatura ed il relativo copriferro. A differenza degli altri pacometri che sfruttano il principio della induzione magnetica, il CM9 si fonda sul principio delle correnti parassite "eddy current" garantendo stabilità, precisione e ripetibilità delle letture (assenza di interferenze elettriche, magnetiche, termiche e di condizionamenti dovuti agli effetti ionici dell'umidità del calcestruzzo non stagionato).

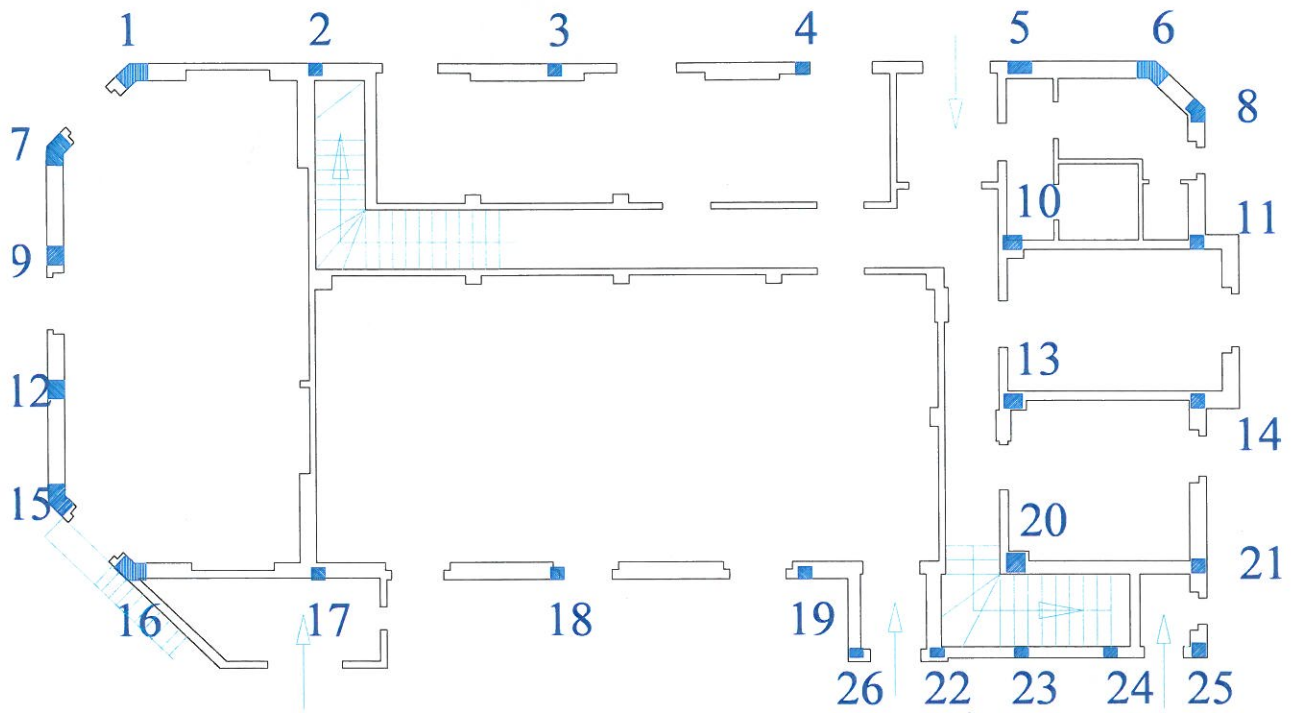
Il pacometro è composto da una unità di emissione/lettura del campo magnetico e da una sonda (possono essere anche più di una) emittente/ricevente il campo magnetico, ciò consente all'operatore di eseguire una ricostruzione affidabile delle armature, soprattutto quando si intende controllarne le modalità di posa in opera.

Attraverso un corretto utilizzo il pacometro permette di determinare la posizione, la direzione ed il numero delle barre principali e secondarie, valuta la dimensione della armatura (barra), rileva la misura del copriferro fino ad una profondità di circa 8/9 cm, fornisce indicazioni sulla presenza di eventuali oggetti metallici come tubazioni, cavi elettrici, tiranti o per la localizzazione di nervature di solai non visibili, cordoli architravi, ecc..

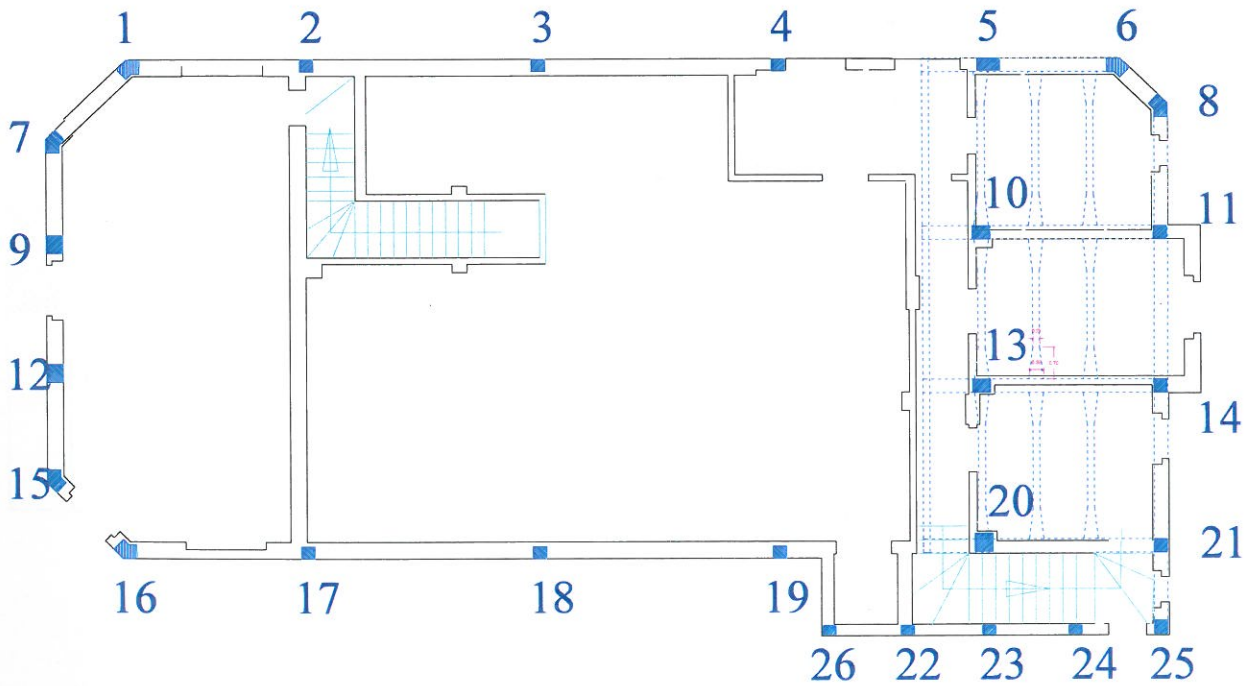


Pacometro CoverMaster *CM9*

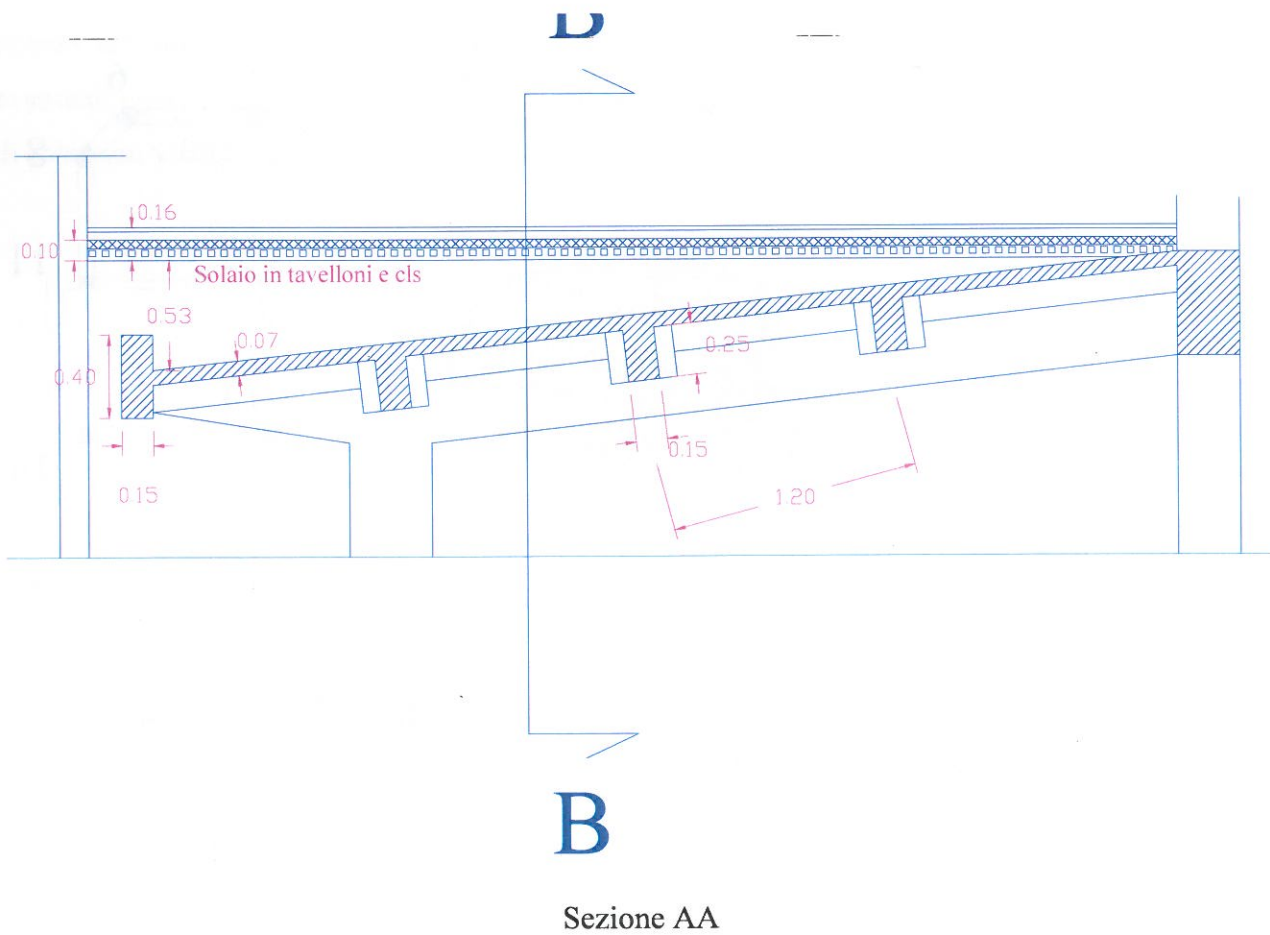
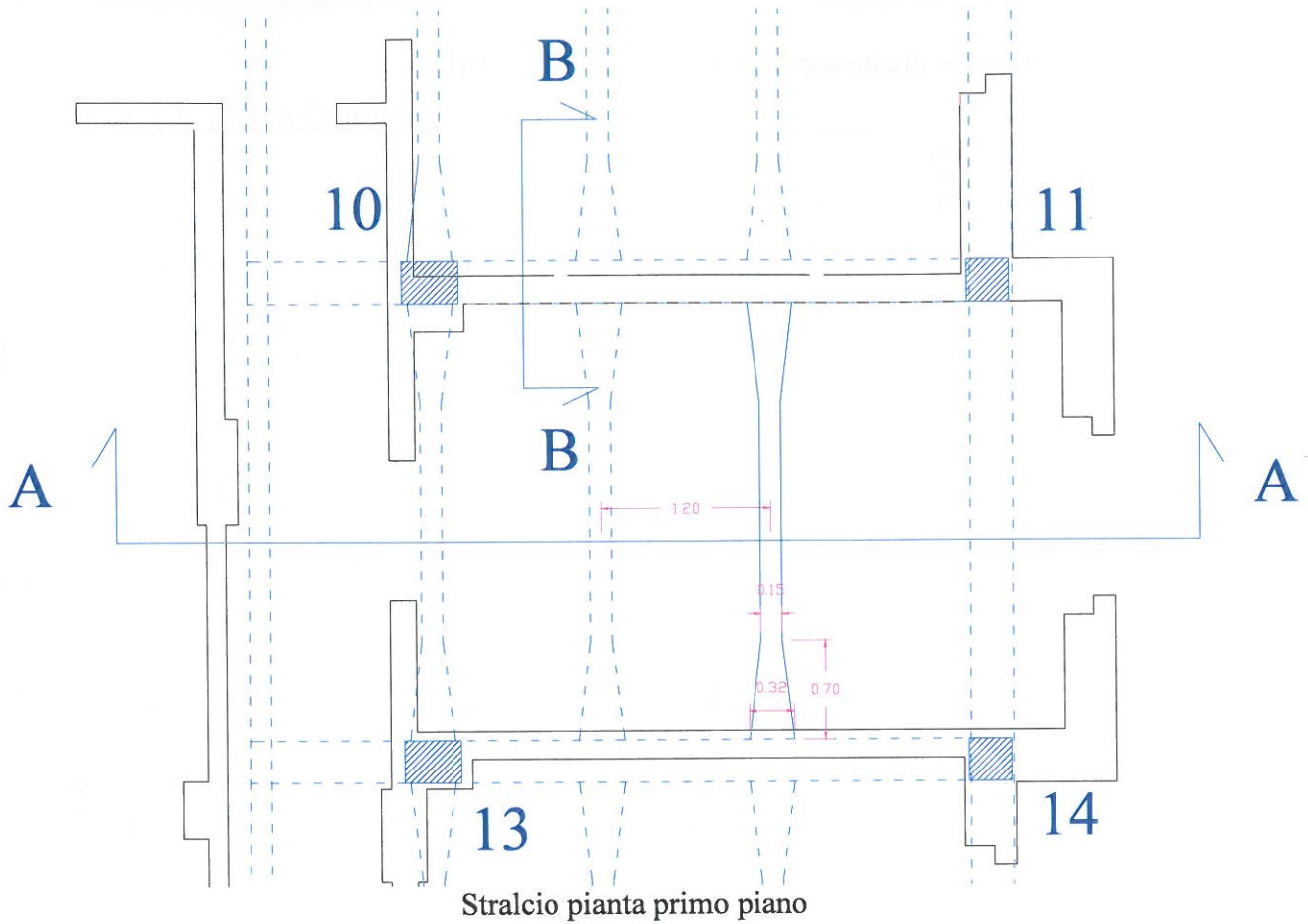
Di seguito si riportano le piante con la numerazione dei pilastri.

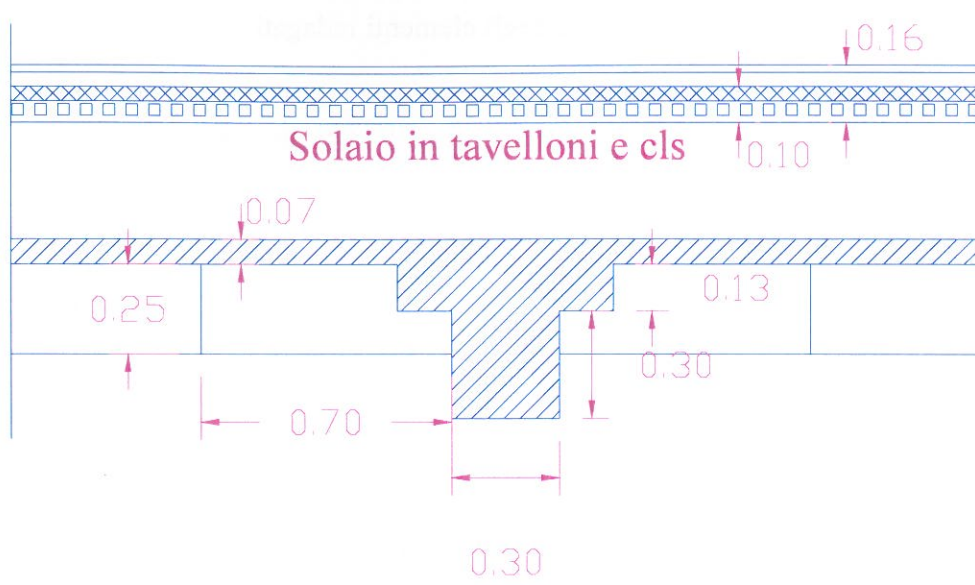


Pianta piano terra



Pianta primo piano





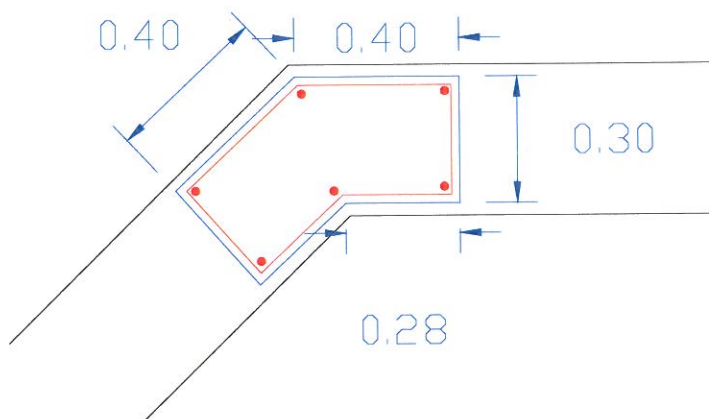
Sezione BB

Di seguito si riporta la sezione e le armature degli elementi indagati.

### 3.1.1. PILASTRI

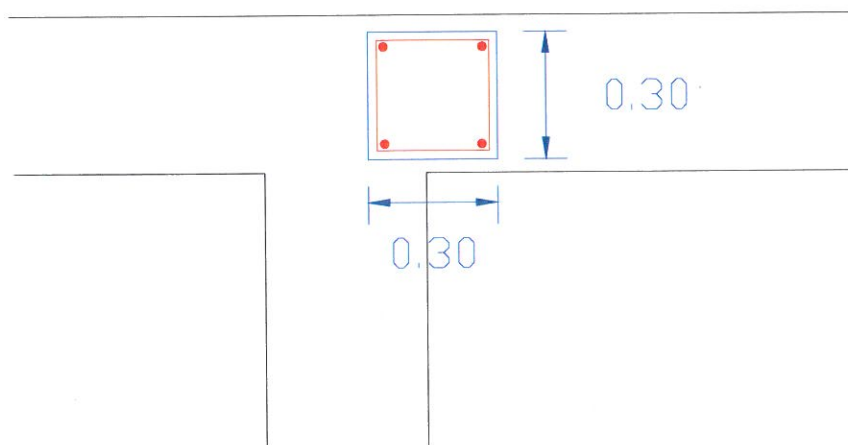
#### P1

Pilastro d'angolo, armato con  $6\phi 22$  lisci longitudinali e staffe  $\phi 5/20$  (circa) lisce.



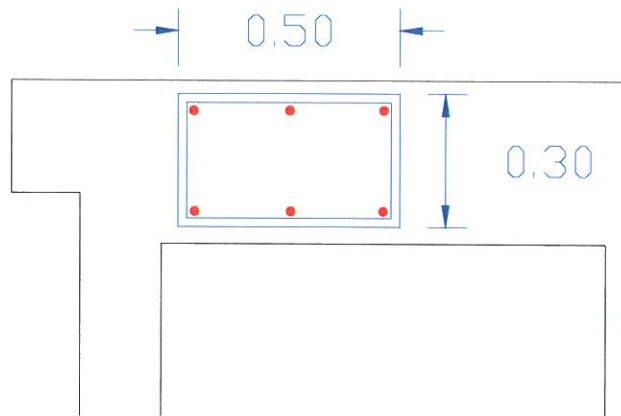
#### P2, P3, P4

Pilastro di parete in facciata (30cmx30cm), armato con  $4\phi 18$  lisci longitudinali e staffe  $\phi 6/20$  (circa) lisce.



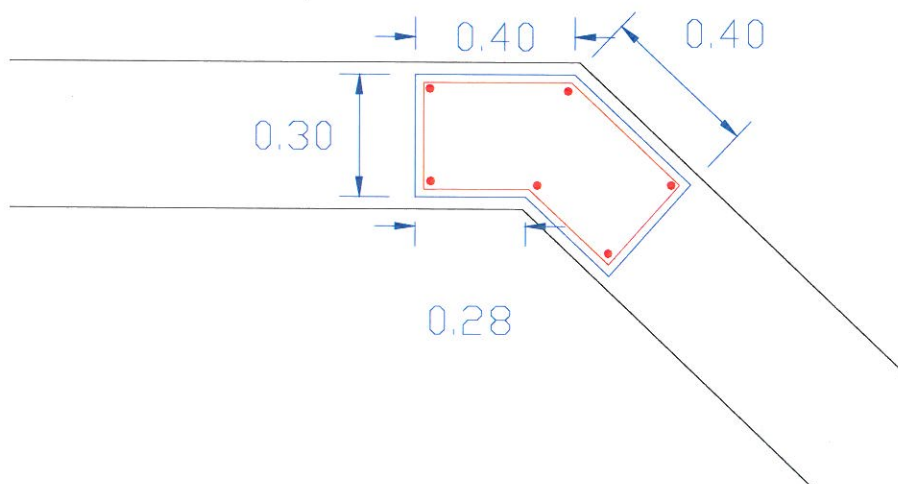
**P5**

Pilastro di parete in facciata (50x30), armato con 6 $\phi$ 18 longitudinali e staffe  $\phi$ 6/20 (circa).



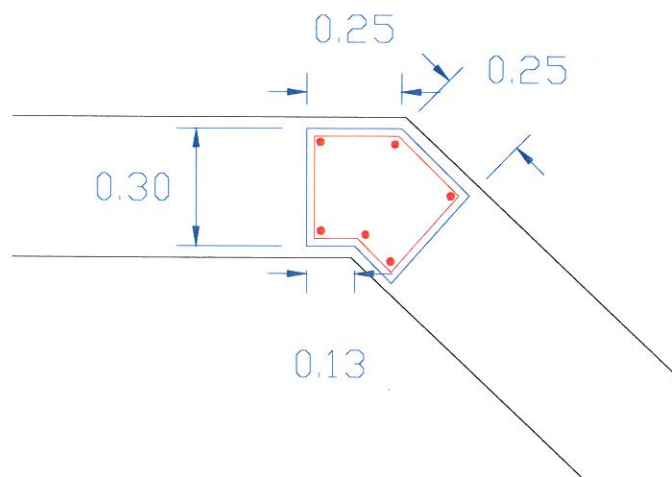
**P6**

Pilastro d'angolo, armato con 6 $\phi$ 22 lisci longitudinali e staffe  $\phi$ 5/20-25 (circa) lisce.



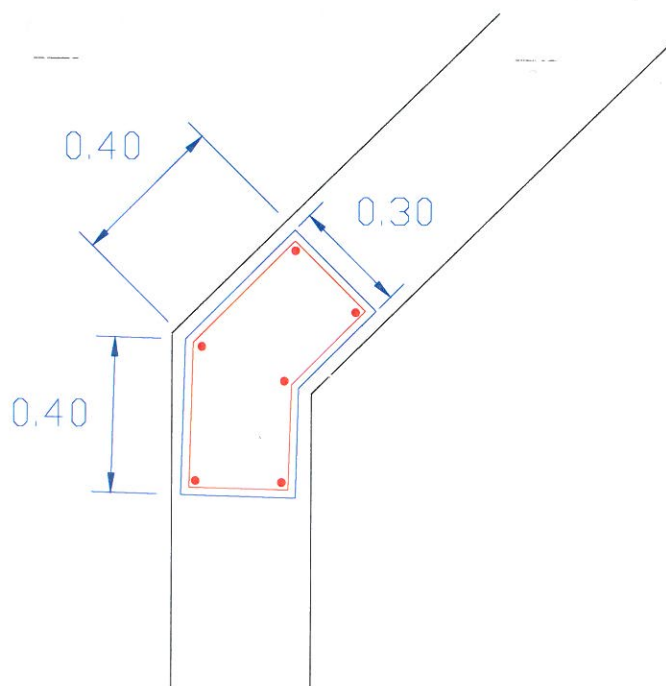
**P6 1° Piano**

Pilastro d'angolo, armato con 6 $\phi$ 22 lisci longitudinali e staffe  $\phi$ 5/20-25 (circa) lisce.



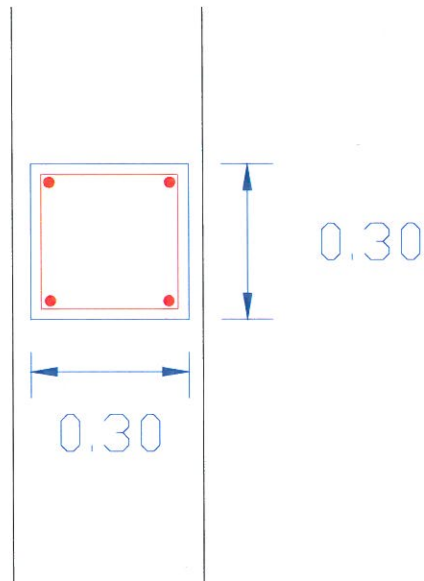
**P7, P15, P16**

Pilastro d'angolo, armato con 6 $\phi$ 22 longitudinali e staffe  $\phi$ 5/20-25 (circa).



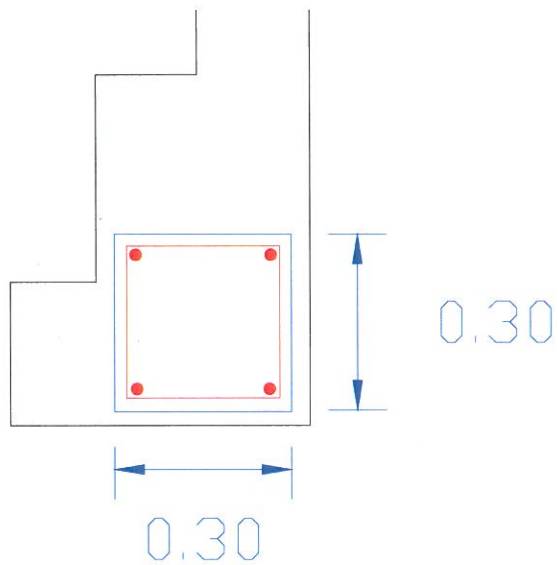
**P9, P12**

Pilastro di parete in facciata (30cmx30cm), armato con 4 $\phi$ 18 longitudinali e staffe  $\phi$ 6/20 (circa).



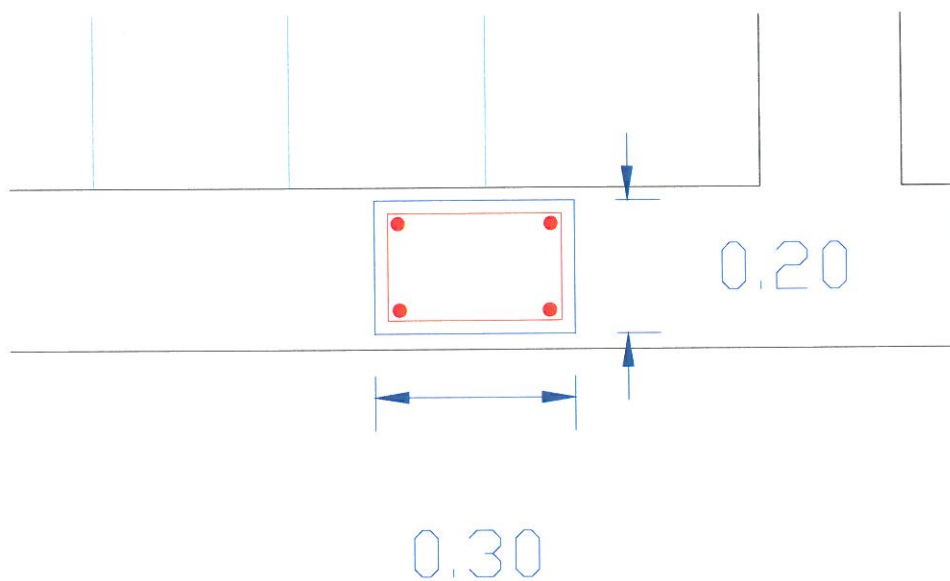
**P25**

Pilastro d'angolo (30cmx30cm), armato con 4 $\phi$ 18 longitudinali e staffe  $\phi$ 6/20-25 (circa).



**P24, P23, P22, P26**

Pilastro di facciata (30cmx20cm), armato con 4 $\phi$ 18 longitudinali e staffe  $\phi$ 6/20-25 (circa).



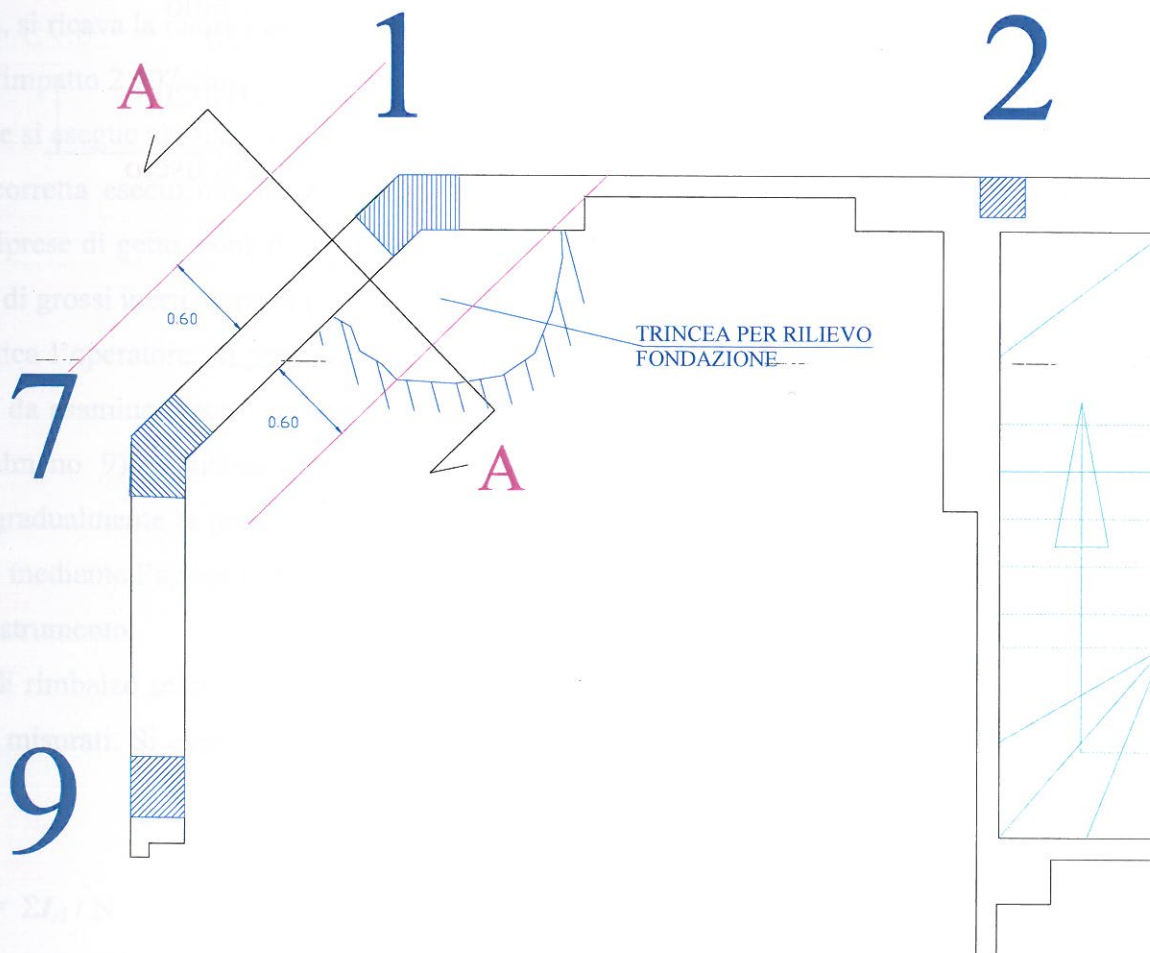
### 3.1.2. FONDAZIONI

Sono state fatte delle indagini sulla fondazione per verificarne la tipologia dimensione e quota di imposta.

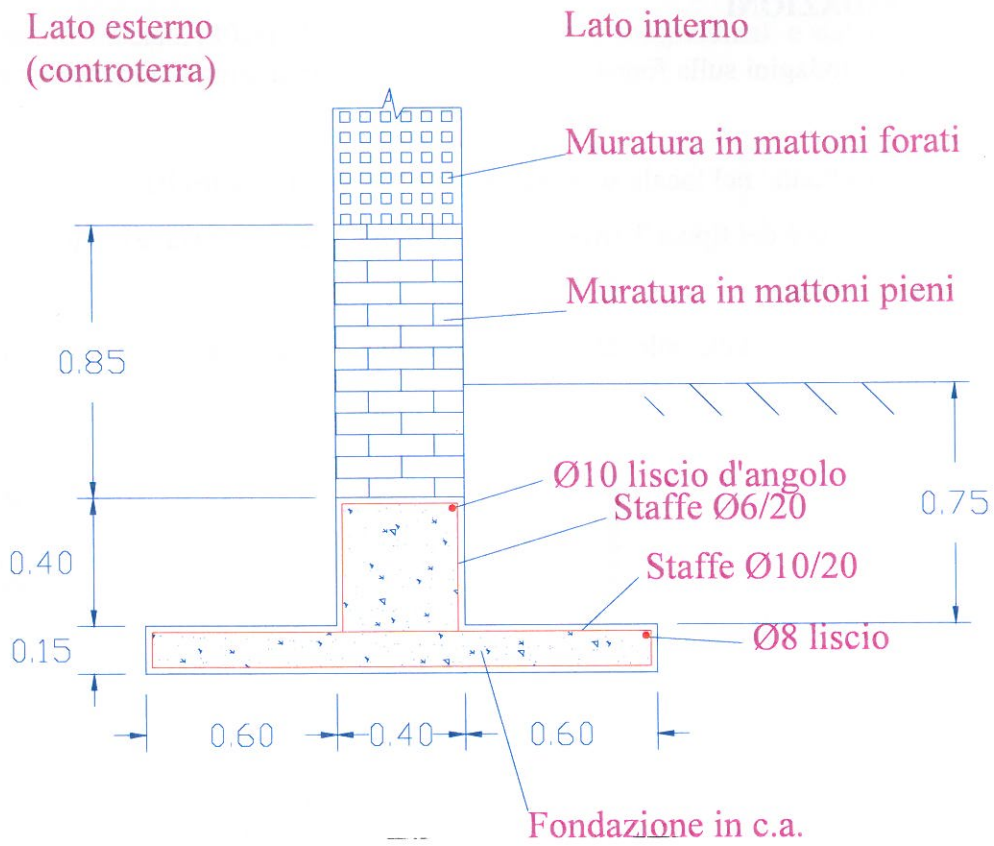
L'indagine è stata effettuata nel locale seminterrato a ridosso del pilastro P1.

La fondazione incontrata è del tipo a T rovescia in c.a. con quota d'imposta a circa 90cm dalla quota di calpestio del locale.

La trincea di indagine è stata fatta solo da un lato (lato interno), per simmetria si determina la sezione totale.



Stralcio pianta con localizzazione trincea d'ispezione



Sezione AA

## 4. PROVE SUL CALCESTRUZZO

### 4.1. PROVA SCLEROMETRICA

Lo sclerometro è uno strumento per il controllo non distruttivo del calcestruzzo in opera. Di semplice utilizzo, determina la resistenza alla compressione di manufatti in cls. Il suo funzionamento si basa sul rimbalzo di una massa battente. Quanto più elevata è la resistenza del calcestruzzo, tanto maggiore è il rimbalzo.

Misurando su una scala tale rimbalzo e riportandolo sulle curve del diagramma applicato allo strumento, si ricava la resistenza alla compressione, espressa in MPa.

Energia d'impatto 2,207 Nm.

L'indagine si esegue nel rispetto della Norma UNI EN 12504-1.

Per una corretta esecuzione delle indagini devono essere evitate zone vicino agli spigoli, zone vicino a riprese di getto, zone dove non si ha una perfetta superficie levigata, zone nelle immediate vicinanze di grossi inerti, zone in prossimità di barre d'armatura.

Nella pratica l'operatore, in prima fase, individua un'area di almeno 15cm di diametro, pulisce la superficie da esaminare con l'ausilio di una pietra abrasiva, successivamente individuati i punti di battuta (almeno 9) posiziona lo strumento perpendicolarmente alla superficie da investigare, aumenta gradualmente la pressione sullo sclerometro fino a produrre l'urto. Dopo l'urto blocca lo strumento mediante l'apposito pulsante, e legge l'indice di rimbalzo  $I_{ri}$  sulla scala graduata posta a lato dello strumento.

L'indice di rimbalzo sclerometrico medio  $I_{rm}$  della superficie di prova si calcola facendo la media dei valori misurati. Si escludono i valori dell'indice di rimbalzo  $I_{ri}$  che non rispettano la seguente relazione:

$$0.8I_{rm} < I_{ri} < 1.2 I_{rm}$$

con:  $I_{rm} = \Sigma I_{ri} / N$

Determinato il valore dell'indice di rimbalzo medio  $I_{rm}$  si può risalire alla resistenza a compressione del calcestruzzo utilizzando le curve fornite dal costruttore dello strumento.

(Fonte: Patologia e diagnostica del cemento armato – R. Pucinotti dicembre 2005 – Dario Flaccovio Editore)



### Sclerometro tipo N

Prima di utilizzare lo sclerometro in sito è stata verificata la sua taratura ed il corretto funzionamento sottoponendo lo strumento alla procedura di verifica:

su apposita incudine di taratura si effettuano 3 battute e l'indice di rimbalzo deve rimanere nell'intervallo di  $82 \pm 2$ .



## 4.2. PROVA ULTRASONICA

### 4.2.1. Introduzione

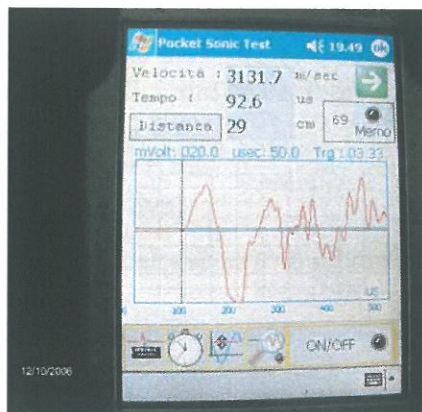
Le indagini ultrasoniche consentono la determinazione delle caratteristiche elastiche dei materiali quali in particolare il calcestruzzo. Con esse si possono determinare il grado di omogeneità, la presenza di fratturazioni o cavità, il modulo di elasticità e la resistenza del materiale. La velocità di propagazione dell'impulso ultrasonico in un mezzo dipende dalla densità e dalle proprietà elastiche, che sono correlabili alla qualità e resistenza.

### 4.2.2. Apparecchiatura

L'apparecchiatura ultrasonica *SOLGEO CMS*, commercializzata dalla *Boviar* è in grado di misurare il tempo di propagazione delle onde compressionali (onde P) nei materiali, con grande precisione e con la possibilità di visualizzare la forma d'onda reale del segnale acquisito, su un monitor ad alta definizione di un computer palmare controllando la qualità del segnale. La misura può essere effettuata per trasmissione diretta, semi-diretta o superficiale.

L'apparecchiatura è costituita da una centralina di acquisizione dati e da una serie di sensori piezoelettrici con trasmettitori ad alta potenza ( $>1,6$  Kv), per poter effettuare misure del tempo di propagazione delle onde compressionali (onde P) in molti tipi di materiali, anche con scarse caratteristiche di propagazione e velocità.

La potenza di trasmissione degli impulsi, e la elevata sensibilità dei ricevitori piezoelettrici di tipo attivo, con frequenza propria di  $55$  KHz, consentono di effettuare misure sia in laboratorio, su provini anche di grandi dimensioni, in materiali quali calcestruzzo, rocce, materiali plastici, vetroresina, legno, ecc..., sia presso cantieri, per indagini in sito su pilastri e travi in calcestruzzo o materiali lapidei, edifici civili o monumentali.

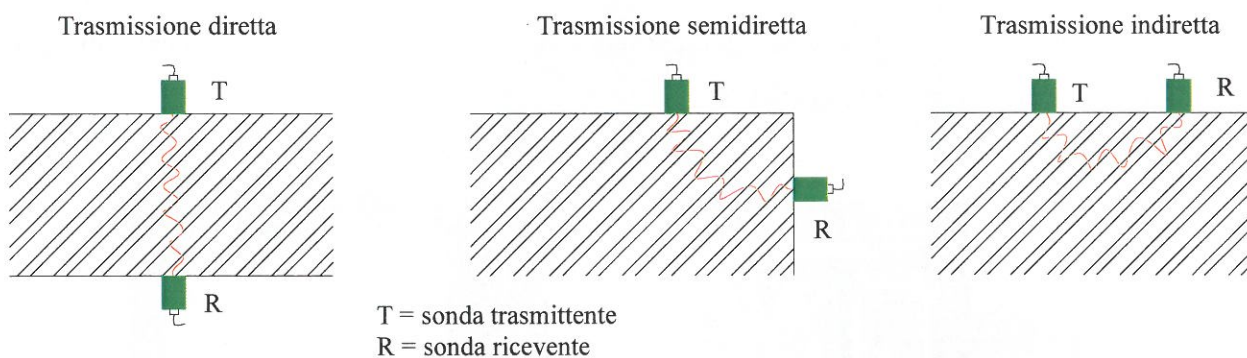


Apparecchiatura ultrasonica *SOLGEO CMS*, tipico segnale di acquisizione

#### 4.2.3. Esecuzione della prova

Nell'utilizzo pratico, dapprima si procede alla individuazione delle barre d'armatura, successivamente si individua la zona dove posizionare le sonde il più possibile lontano dalle barre d'armatura e da bordi, quindi si procede alla pulizia ed alla levigatura delle superfici. Le due sonde vengono poste a contatto con la superficie del manufatto per mezzo di uno speciale gel adatto per ultrasuoni, e tenute serrate al manufatto per mezzo di una morsetta. La sonda trasmittente genera impulsi ultrasonici che si propagano nel mezzo secondo fronti d'onda approssimativamente sferici date le sue caratteristiche dimensionali e di frequenza di vibrazione. La trasmissione è comunque, regolata da quelle che sono le comuni leggi fisiche che soddisfano i fenomeni relativi alla propagazione delle onde elastiche in qualsiasi mezzo. La sonda ricevente rileva l'arrivo dell'impulso e, grazie all'utilizzo del timer digitale, è possibile registrare il tempo di percorrenza relativo al primo fronte d'onda. Nota la distanza fra le sonde, si deduce la velocità di propagazione degli ultrasuoni nello specifico mezzo. Le misure possono essere eseguite, laddove possibile, per trasmissione diretta, applicando le due sonde sulle due facce opposte dell'elemento da indagare; nei casi di inaccessibilità di una delle due facce, si opera per trasmissione semidiretta, (consiste nell'applicare i trasduttori in punti appartenenti a due facce adiacenti, in genere ortogonali) o indiretta posizionando le sonde su una stessa faccia a distanza nota.

Il procedimento eseguito nell'indagine rispetta la Norma UNI 9524.



Tipologie di esecuzione della prova

**4.2.4. Interpretazione dei risultati**

La propagazione dell'onda ultrasonora è legata strettamente alle condizioni di eterogeneità e/o omogeneità del mezzo in cui essa si trasmette.

In particolare, la velocità di propagazione delle onde ultrasonore in un mezzo solido è funzione diretta del modulo di elasticità dei materiali che compongono il solido e dei loro pesi specifici.

Pertanto appare evidente quanto le velocità siano influenzate dalla presenza di materiali con diverse proprietà elastiche e dalla presenza di soluzioni di continuità. Premesso che l'entità dei difetti cresce in maniera inversamente proporzionale alla velocità, di seguito si riportano le classi di qualità del calcestruzzo in funzione dei valori medi di velocità ricavati dalle diversi fonti bibliografiche (Sawczuk, Cheesman, ecc.):

Classe	Velocità di propagazione (m/s)	Qualità del cls
<b>A</b>	< 2500	<b>Molto scadente</b>
<b>B</b>	2500 ÷ 3200	<b>Scadente</b>
<b>C</b>	3200 ÷ 3800	<b>Discutibile</b>
<b>D</b>	3800 ÷ 4500	<b>Buona</b>
<b>E</b>	4500 ÷ 5500	<b>Eccellente</b>

Per ogni punto di indagine si eseguono almeno tre letture di velocità ultrasoniche, da cui se ne ricava la velocità media ultrasonica ( $V_m = \Sigma V_{uls}/N$ )

Nota la velocità media ultrasonica ( $V_m$ ), è possibile determinare il modulo di elasticità dinamica ( $E_d$ ) per il calcestruzzo, utilizzando la seguente formula:

$$E_d = V_m^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

attribuendo allo stesso una densità ( $\rho$ ) pari a 23 kN/m<sup>3</sup> ed un coefficiente di Poisson ( $\nu$ ) pari a 0.15-0.25 (inteso come valore medio più probabile per il cls in oggetto) (inteso come valore medio più probabile ed appartenente al range di valori suggerito dalla normativa)

Noto il modulo elastico  $E_d$ , è possibile risalire alla resistenza del calcestruzzo mediante la formula:

$$Rc_{ULS} = \left( \frac{E_d}{5700} \right)^2$$

(Fonte: Patologia e diagnostica del cemento armato – R. Pucinotti dicembre 2005 – Dario Flaccovio Editore)

### 4.3. METODO COMBINATO “SONREB”

Metodo combinato sclerometro+ultrasuoni (SONREB): la combinazione dei metodi non distruttivi mediante sclerometro ed ultrasuoni consente di ottenere i risultati più attendibili sulla resistenza del calcestruzzo sia in sito che sulle carote.

I vantaggi del metodo possono essere così riassunti:

- annullamento dell'influenza dell'umidità e del grado di maturazione del calcestruzzo sui risultati dell'analisi in quanto essi hanno, a parità di effettiva resistenza a rottura, effetto opposto sulle misure della velocità di propagazione degli ultrasuoni e dell'indice di rimbalzo;
- riduzione, rispetto al metodo ultrasonico, dell'influenza della granulometria dell'inerte, del dosaggio e del tipo di cemento e dell'eventuale additivo utilizzato per il getto del calcestruzzo;
- diminuzione, rispetto al metodo sclerometrico, dell'importanza delle variazioni di qualità tra strati superficiali e strati profondi del calcestruzzo.

Il metodo viene applicato determinando per ogni area di saggio due coppie di valori:

- velocità media di propagazione degli impulsi ultrasonici (mediata su tre misure);
- indice di rimbalzo medio (mediato su 10 misure).

L'indagine Sonreb, eseguita secondo la Raccomandazioni RILEM 43 CND, si avvale quindi della combinazione dei risultati del rilievo ultrasonico (eseguito secondo la Norma UNI 9524/89), basato sulla misura della velocità di propagazione di impulsi ultrasonici, e di quelli del metodo sclerometrico (eseguito secondo la Norma UNI EN 12504-1), basato sulla misura della durezza superficiale tramite l'indice di rimbalzo dello sclerometro.

I parametri misurati con queste indagini, e cioè velocità di propagazione ed indice di rimbalzo, possono essere messi in correlazione con la resistenza a compressione del calcestruzzo secondo la seguente legge di variazione ottenuta sperimentalmente:

$$R_{cson} = A \cdot I^B \cdot V^C \quad (\text{MPa})$$

I = indice medio di rimbalzo; V = velocità media degli ultrasuoni; A, B, C = costanti da ricavarsi sperimentalmente.

$$R_{c1} = 7.695 \cdot 10^{-11} \cdot I_m^{1.4} \cdot V_m^{2.6} \quad \text{Norme RILEM}$$

$$R_{c2} = 0.0286 \cdot I_m^{1.246} \cdot \left( \frac{V_m}{1000} \right)^{1.85} \quad \text{Gasparik}$$

$$R_{c3} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot I_m^{1.058} \cdot V_m^{2.446} \quad \text{Di Leo Pascale modificata}$$

con:

$R_c$  = resistenza del calcestruzzo (MPa);  $I_m$  = indice medio di rimbalzo (MPa);  $V_m$  = velocità media ultrasuoni (m/s);

(Fonte: Patologia e diagnostica del cemento armato – R. Pucinotti dicembre 2005 – Dario Flaccovio Editore)

#### 4.4. SCLEROMETRICHE

n° PROVA	LIVELLO	ELEMENTO		INDAGINE SCLEROMETRICA										Rc (N/mm <sup>2</sup> )	
		TIPO	N°	BATTUTE		Indice di rimbalzo		Indice medio (N/mm <sup>2</sup> )	Valori < 1 < 1,2lm		Scarto quadratico medio (N/mm <sup>2</sup> )	Indice medio di rimbalzo arrotond. (N/mm <sup>2</sup> )			
				Angolo	N°	Lato 1	Lato 2		Lato 1	Lato 2					
1	-1	Pilastro	P1/-1	α=0	1	22		26		27,15	22	26	2,86	27	19
					2	28		32			28	32			
					3	29		34	>1,2		29				
					4	24		26			24	26			
					5	27		26			27	26			
					6	25		30			25	30			
					7	25		28			25	28			
					8	25		32			25	32			
					9	27		30			27	30			
					10	24		23			24	23			
2	-1	Pilastro	P12/-1	α=0	1	25		31		27,65	25	31	2,21	27	19
					2	37	>1,2	26				26			
					3	27		26			27	26			
					4	20	<0,8	31				31			
					5	27		24			27	24			
					6	28		23			28	23			
					7	26		34	>1,2		26				
					8	30		27			30	27			
					9	29		27			29	27			
					10	27		28			27	28			
3	PT	Pilastro	P2/PT	α=0	1	39		35		36,45	39	35	1,90	36	33
					2	37		38			37	38			
					3	36		36			36	36			
					4	36		34			36	34			
					5	36		40			36	40			
					6	35		40			35	40			
					7	37		35			37	35			
					8	38		38			38	38			
					9	33		36			33	36			
					10	35		35			35	35			
4	PT	Pilastro	P6/PT	α=0	1	27		28		25,20	27	28	2,32	25	16
					2	27		24			27	24			
					3	26		23			26	23			
					4	30		23			30	23			
					5	26		26			26	26			
					6	27		24			27	24			
					7	22		31	>1,2		22				
					8	20	<0,8	33	>1,2						
					9	20	<0,8	20	<0,8						
					10	25		22			25	22			
5	PT	Trave	TP13-P14/PT	α=0	1	38		46		40,40	38	46	4,03	40	40
					2	37		46			37	46			
					3	35		38			35	38			
					4	38		37			38	37			
					5	41		39			41	39			
					6	36		47			36	47			
					7	36		42			36	42			
					8	37		46			37	46			
					9	46		42			46	42			
					10	38		43			38	43			

6	PT	Travetto nervatur a solaio	TP13-P20/PT	$\alpha=0$	1	34	41	38,20	34	41	3,19	38	37
					2	40	42		40	42			
					3	36	34		36	34			
					4	34	36		34	36			
					5	39	37		39	37			
					6	36	43		36	43			
					7	39	40		39	40			
					8	41	37		41	37			
					9	36	39		36	39			
					10	45	35		45	35			

4.5. ULTRASUONI E SONREB

n° PROVA	LIVELLO	ELEMENTO		INDAGINE ULTRASONICA							SONREB			
		TIPO	N°	Tipo di misura	Distanza sonde (m)	Velocità (m/s)	Densità (Kg/mc)	Poisson	Velocità media (m/s)	Modulo elasticità dinamico (MPa)	Rc ULS (MPa)	Rc 1 (MPa)	Rc 2 (MPa)	Rc 3 (MPa)
1	-1	Pilastro	P1/-1	diretta	0,40	4123 4081 4166 4040 4081	2326	0,15	4098	36998	42,1	19,18	23,61	26,9
2	-1	Pilastro	P12/-1	diretta	0,31	3974 3924 3875 4026 3974	2326	0,15	3955	34450	36,5	17,48	22,10	24,7
3	PT	Pilastro	P2/PT	diretta	0,30	4078 4189 4133 4246 4189	2326	0,15	4167	38250	45,0	29,96	34,85	38,0
4	PT	Pilastro	P6/PT	diretta	0,4	3650 3675 3547 3675 3650	2326	0,15	3639	29177	26,2	12,65	17,22	18,6
5	PT	Trave	TP13-P14/PT	diretta	0,3	4032 4213 4120 4076 4032	2326	0,15	4095	36933	42,0	33,18	38,47	40,7

6	PT	Travetto nervatur a solaio	TP13- P20/PT	diretta	0,22	4230	2326	0,15	4166	38239	45,0	32,31	37,27	40,2
						4166								
						4104								
						4166								
						4166								

#### 4.6. CAROTAGGIO

I carotaggi sul cls sono stati eseguiti mediante carotatrice elettrica a corona diamantata (nel rispetto delle norme UNI EN 12504-1/2002), finalizzati alla valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo in opera sulle quali sono state effettuate prove di: carbonatazione, ultrasoniche e di compressione (vedi certificati laboratorio autorizzato).

La resistenza a compressione di campioni cilindrici disturbati “carote” può essere messa in relazione con quella di campioni indisturbati “cubi” mediante la seguente relazione (BS 1881 -120 e BS 6089):

$$R_c = \alpha \cdot \frac{f_{carota}}{1.5 + \frac{d}{L}}$$

in cui:

$R_c$  = resistenza a rottura del cubetto equivalente;

$f_{carota}$  = resistenza a rottura della carota;

$\alpha$  = parametro dipendente dalla direzione della perforazione ( $\alpha=2.5$  perforazione ortogonale alla direzione del getto,  $\alpha=2.3$  perforazione parallela alla direzione del getto);

$d$  = diametro della carota;

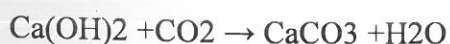
$L$  = altezza della carota.

(Fonte: Patologia e diagnostica del cemento armato – R. Pucinotti dicembre 2005 – Dario Flaccovio Editore)

**Ripristino foro carotaggio:** il foro da cui è stata estratta la carota è stato immediatamente ripristinate a mezzo di malta reoplastica premiscelata: *Mape Grout*.

##### 4.6.1. CARBONATAZIONE E DEGRADO CLS

La carbonatazione è un processo chimico naturale per cui il calcestruzzo, dove l'idrossido di calcio, naturalmente presente, reagisce con l'anidride carbonica con conseguente formazione di carbonato di calcio secondo la seguente reazione:



Nel calcestruzzo armato la carbonatazione ha un effetto negativo e rappresenta una delle principali **cause di degrado** del materiale. La carbonatazione crea le condizioni favorevoli all'insorgere della corrosione dei tondini d'armatura.

Il normale pH del calcestruzzo è di circa  $12,5 \div 13$ , in questo ambiente fortemente alcalino per cui i ferri di armatura risultano passivati.

Quando però l'anidride carbonica dell'aria riesce a diffondersi dall'esterno nei pori del calcestruzzo si innesca il processo di carbonatazione che modifica le proprietà alcaline del conglomerato cementizio con conseguente abbassamento del pH fino a circa 8,5.

Nei calcestruzzi densi e compatti la carbonatazione interessa di norma solamente i primi millimetri, ma in quelli porosi e/o fessurati può penetrare in profondità e quindi attraversare il copriferro e raggiungere le armature.

Se lo strato carbonatato arriva ad interessare il calcestruzzo che avvolge le armature, con l'abbassamento del pH va perduta la protezione anticorrosiva della pasta cementizia e pertanto il ferro d'armatura non è più passivato e in presenza di umidità e ossigeno si ossida e si corrode, formazione di ruggine con conseguente aumento di volume provocando fessurazioni e ed espulsione del copri ferro.

La corrosione presenta sostanzialmente i seguenti **fenomeni degradanti**:

- il primo, il più pericoloso, riguarda la diminuzione della sezione resistente del tondino con conseguente riduzione del suo carico portante e della sua resistenza a fatica;
- il secondo comporta la fessurazione del copriferro con conseguente espulsione locale del copriferro (cricca o spalling se l'espulsione è angolare) o totale delaminazione (qualdo l'effetto di dirompente interessa più ferri vicini); questo avviene quando le tensioni che si generano nel calcestruzzo a causa dei fenomeni espansivi che accompagnano la formazione della ruggine, superano la resistenza a trazione del materiale. Naturalmente l'espulsione del copriferro provoca la completa esposizione dei ferri all'azione aggressiva dell'ambiente che viene pertanto accelerata.
- il terzo comporta la riduzione di aderenza acciaio - calcestruzzo che produce deformazioni accentuate, o peggio può addirittura causare la perdita di ancoraggio con gravissime conseguenze.

La **determinazione dello strato carbonatato** di un calcestruzzo, viene effettuata su carote di calcestruzzo prelevate dalla struttura, ed utilizzando una soluzione alcolica di fenolftaleina diluita

all'1% (test colorimetrico della fenolftaleina) che viene spruzzata sulla superficie esterna della carota stessa subito dopo il suo prelievo.

Nelle zone a pH superiore a 9 (ricche di calce) la soluzione fa assumere alla matrice cementizia una colorazione rossoviolacea tipica della fenolftaleina in ambiente basico, mentre lascia incolore quelle a pH inferiore a 9 (calcestruzzo carbonatato).

DESCRIZIONE CAROTAGGIO				
ELEMENTO	Diametro (mm)	Profondità carotaggio passante (mm)	Profondità carbonatazione (mm)	Diametro massimo inerti (mm)
P2/-1	100	260	35	60

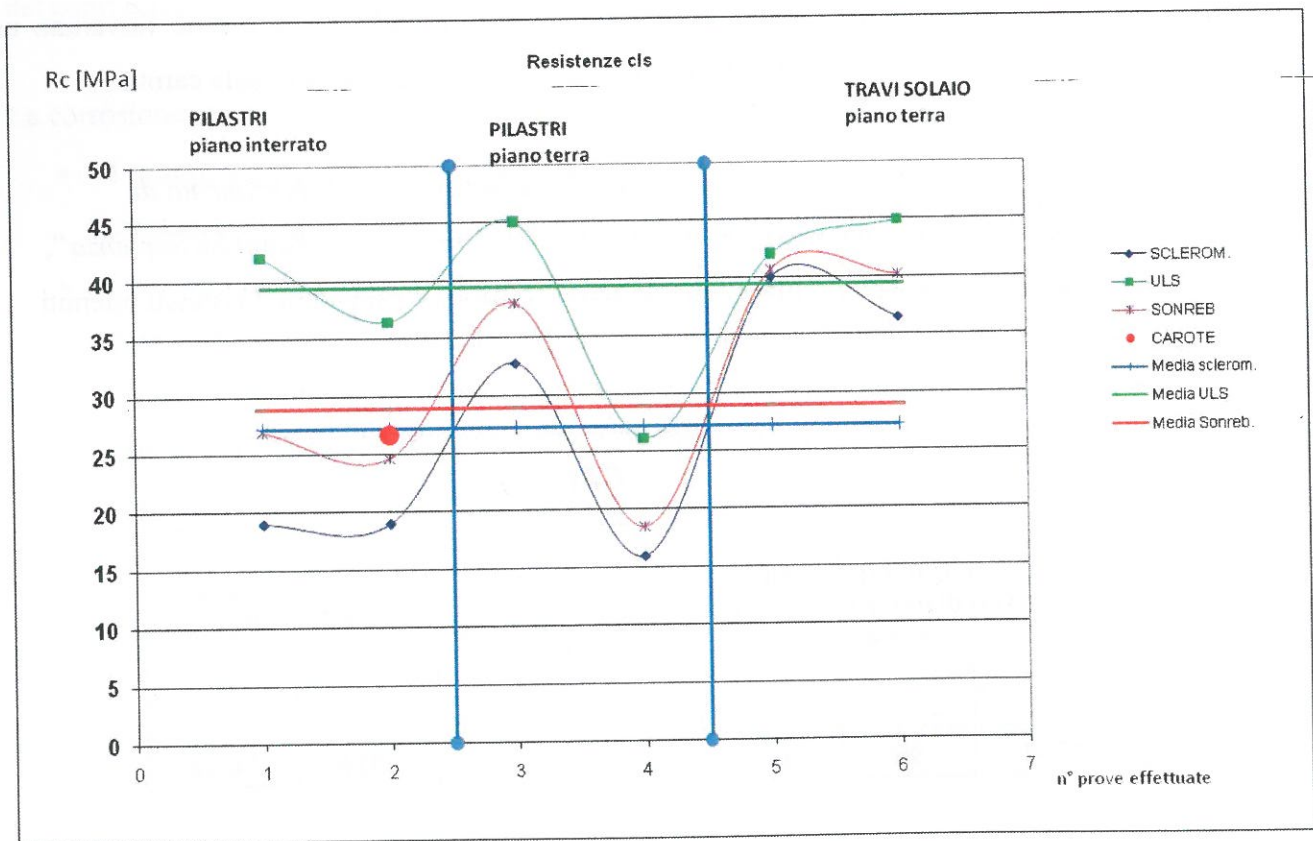
Note: nel carotaggio e nei saggi sono stati incontrati inerti arrotondati di forma appiattita e di grosse dimensioni. Dopo la prova di schiacciamento all'interno della carota è stato rinvenuto un inerte di grosse dimensioni (circa 70mm) disposto nel verso sub longitudinale della carota.

La carota è stata portata al "Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica sede di Architettura dell'Università di Roma La Sapienza", che ha eseguito le relative prove di schiacciamento previa rettifica e cappatura. I risultati ottenuti sono i seguenti:

CAROTA						
ELEMENTO	D (mm) diametro carota	L (mm) lungh. carota	Rc car. (MPa)	Coeff. perforaz.	$\gamma$ (Kg/mc)	Rc cubica (MPa)
P12/-1	98	196	21,33	2,5	2326	26,66

### 4.7. RIEPILOGO RISULTATI SUL CLS

PROVA	LIVELLO	ELEMENTO	Velocità media (m/s)	Qualità cls	SCLEROMETRO	ULS	SONREB		
					Re (MPa)	Re (MPa)	Re 1 (MPa)	Re 2 (MPa)	Re 3 (MPa)
1	-1	P1/-1	4098	Buona	19,00	42,13	19,18	23,61	26,91
2	-1	P12/-1	3955	Buona	19,00	36,53	17,48	22,10	24,66
3	PT	P2/PT	4167	Buona	32,80	45,03	29,96	34,85	38,00
4	PT	P6/PT	3639	Discutibile	16,00	26,20	12,65	17,22	18,56
5	PT	TP13-P14/PT	4095	Buona	40,00	41,98	33,18	38,47	40,70
6	PT	TP13-P20/PT	4166	Buona	36,50	45,01	32,31	37,27	40,23
<b>Media</b>			<b>4020</b>	<b>Buona</b>	<b>27,22</b>	<b>39,48</b>	<b>24,13</b>	<b>28,92</b>	<b>31,51</b>



(nel grafico sono stati inseriti i risultati Sonreb Rc3)

## 4.8. CERTIFICATO DI LABORATORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
STRUTTURALE E GEOTECNICA

Certificato nr. 2013-00081-G

Pagina 1 di 1



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

### CERTIFICATO DI PROVA

**RICHIEDENTE:**

ING. ADRIANO PIGNATARO  
VIA GIAN MARIA VOLONTE' n° 24  
00139 ROMA - RM

**Committente:** SOCIETA' IMST PROGETTI

La richiesta **NON** riporta la firma del direttore dei lavori

**Dati forniti dal richiedente:**

Cantiere: ROMA VIA FIRENZE n° 35 - PRELIEVO C/O PALAZZINA COMANDO 4 (MINISTERO DIFESA)  
Campioni di: CAROTA IN CLS.

L' Ing. Adriano Pignataro è stato incaricato per indagini e prove strutturali dalla  
Società IMST PROGETTI - Ing. Luca Cioli

MODALITA' DI PROVA: La resistenza a compressione dei provini e la massa volumica sono  
state determinate con riferimento alla UNI EN 12504-1:2002.

DATA DI IMMISSIONE: 28/01/2013
Protocollo: 2013-00036-G
Certificato: 2013-00081-G
DATA DI EMISSIONE: 21/02/2013

#### RISULTATI DELLE PROVE A COMPRESSIONE

N°	Dati forniti dal richiedente			Contrassegno rilevato sul provino	Dimensioni [mm]		Data di prova	Massa vol. [kg/m³]	Tens. di rottura [N/mm²]	TR
	Contrassegno	Data di prelievo	Classe di resistenza		Ø	h				
1	25/01/13 P12/-1	25/01/13	N.D.	25/01/13 P12/-1	98	196	19/02/13	2326	21.33	A

**Note Laboratorio:**

- [1] La carota è stata rettificata e cappata in Laboratorio.

**Note:**

TR = Tipo Rottura, A = soddisfacente; B(x) = non soddisfacente; Tipo(x) vedi paragrafo 8 fig. 2 della UNI EN 12390-3:2003  
[N.D. Non dichiarato]



DA ASSOGETTARE A BOLLO  
IN CASO D'USO  
AI SENSI DEL D.P.R. 642/72

Lo Sperimentatore  
(Geom. Luigi Colaccetti)

Il Direttore  
Prof. Ing. Augusto Desideri

Università degli Studi di Roma «La Sapienza»  
LABORATORI PROVE MATERIALI E STRUTTURE E GEOTECNICO  
Via Antonio Gramsci, 53 - 00197 Roma  
T (+39) (+39) 0649919154 Amministrazione - Laboratori 0649919151-152-153 - F (+39) (+39) 0649919150  
CF 80209930587 - PI 02133771002  
<http://w3.uniroma1.it/labdish>



### 5.1. INDAGINE ENDOSCOPICA

Lo strumento utilizzato è il fibroscopio flessibile LIGHT SCOPE, serve per l'ispezione visiva all'interno di murature, tamponature, solai, volte, ecc. per l'individuazione della tipologia costruttiva, materiali e loro spessori, crepe, fessure, distacchi di paramenti, ecc .

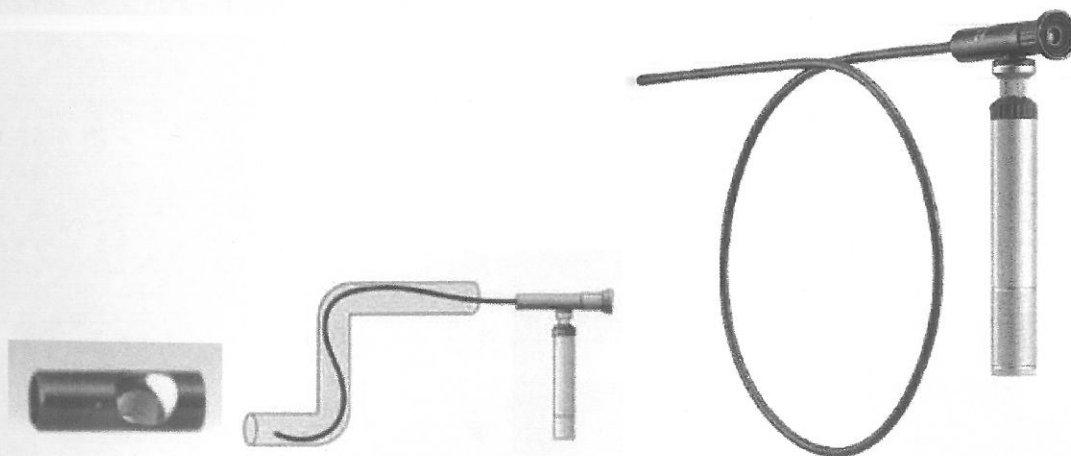
Il fibroscopio è costituito da una sonda da 8mm in acciaio inox flessibile con involucro esterno in pvc ed all'interno la fibra ottica in vetro. Ha funzione di regolazioni di messa a fuoco da 10mm all'infinito, e variazione dell'intensità luminosa. Le modalità di ripresa possono essere sia frontale che laterale 90°.

Tale strumento permette di effettuare ispezioni visive all'interno di murature, cavità e zone inaccessibili in genere. Permette di osservare in tempo reale e di effettuare la registrazione delle immagini digitalizzate.

Caratteristiche LIGHT.SCOPE:

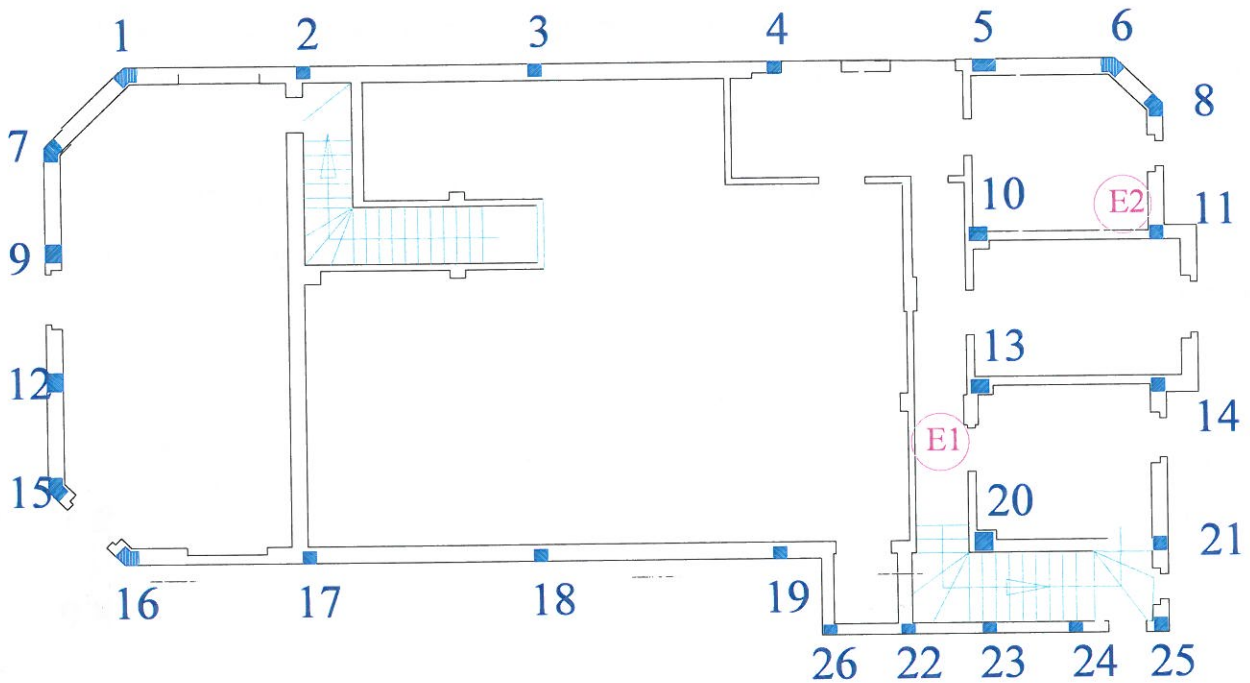
- Disponibile Flessibile
- Lunghezza: 1.350m,
- Resistente ai liquidi
- Lampada da 2.5W
- Angolo di visuale: 27°
- Diametro: 8mm
- Alimentazione con 3 batterie ½ torcia LR14.
- Distanza di fuoco: 10mm — Infinito

LIGHT.SCOPE e' un prodotto Moritex distribuito in Italia da New-Interactive.



Nella struttura è stato usato l'endoscopio per ispezionare e misurare il pacchetto del solaio costituente il primo livello. Dalle indagini si è potuto vedere che il piano di calpestio attuale è stato ricavato costruendo un solaio in tavelloni sopra al piano inclinato della galleria dell'ex cinema, quindi con uno spessore vuoto variabile da 0 a circa 53cm. Per meglio chiarire l'indagine si vedano le sezioni nel paragrafo rilievi ed indagini.

Di seguito si riporta una pianta con la localizzazione delle indagini.



Localizzazione indagini

## 6. ALLEGATI REPORT FOTOGRAFICI

### 6.1. PILASTRI

P1

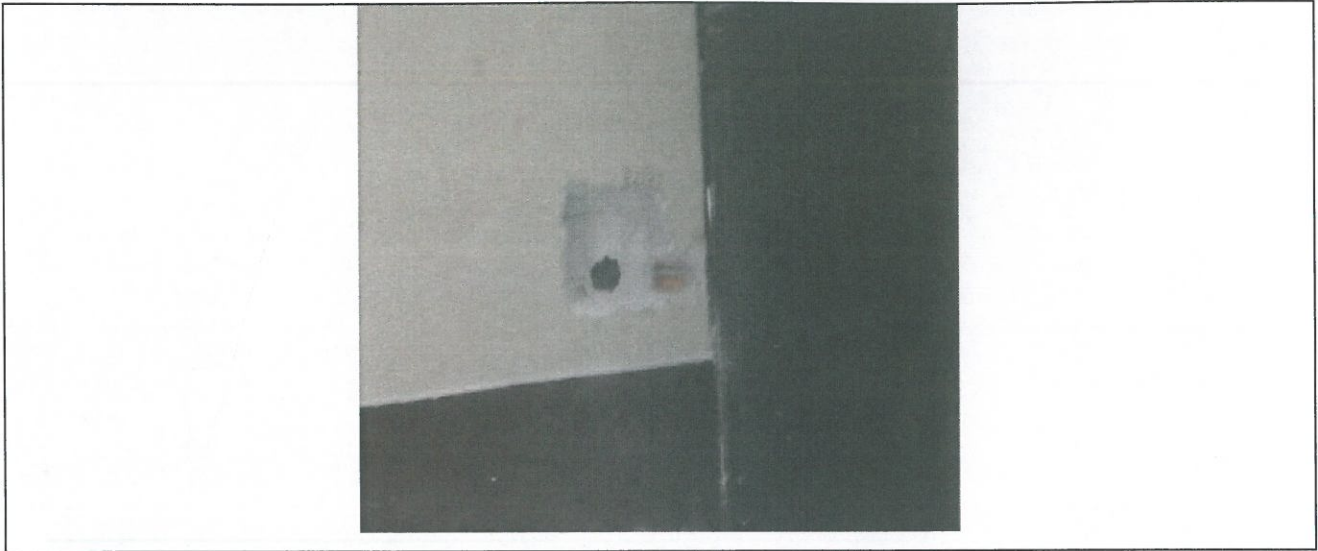




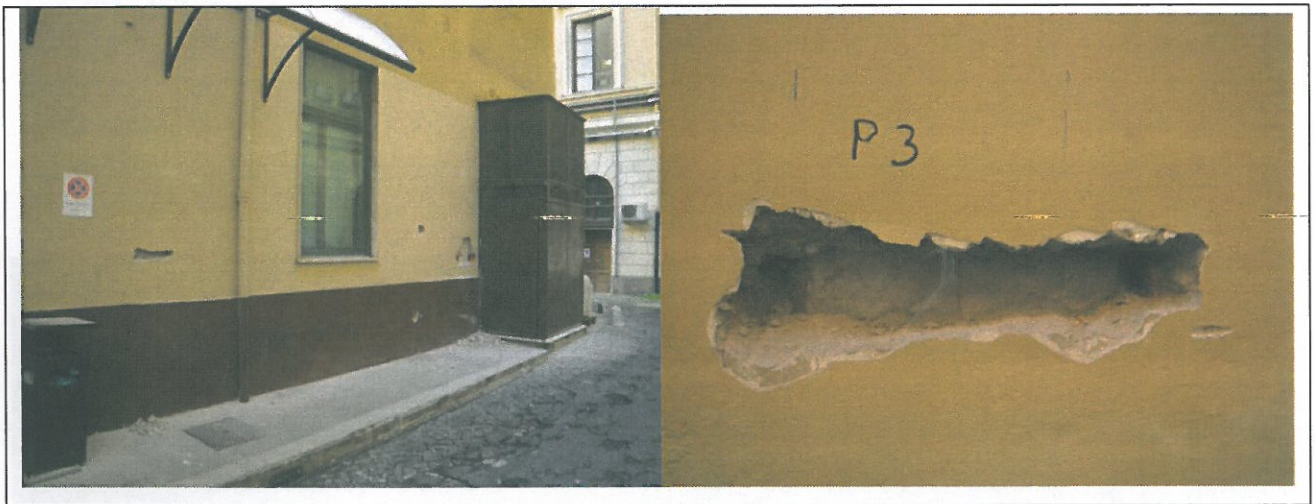
P2







**P3**

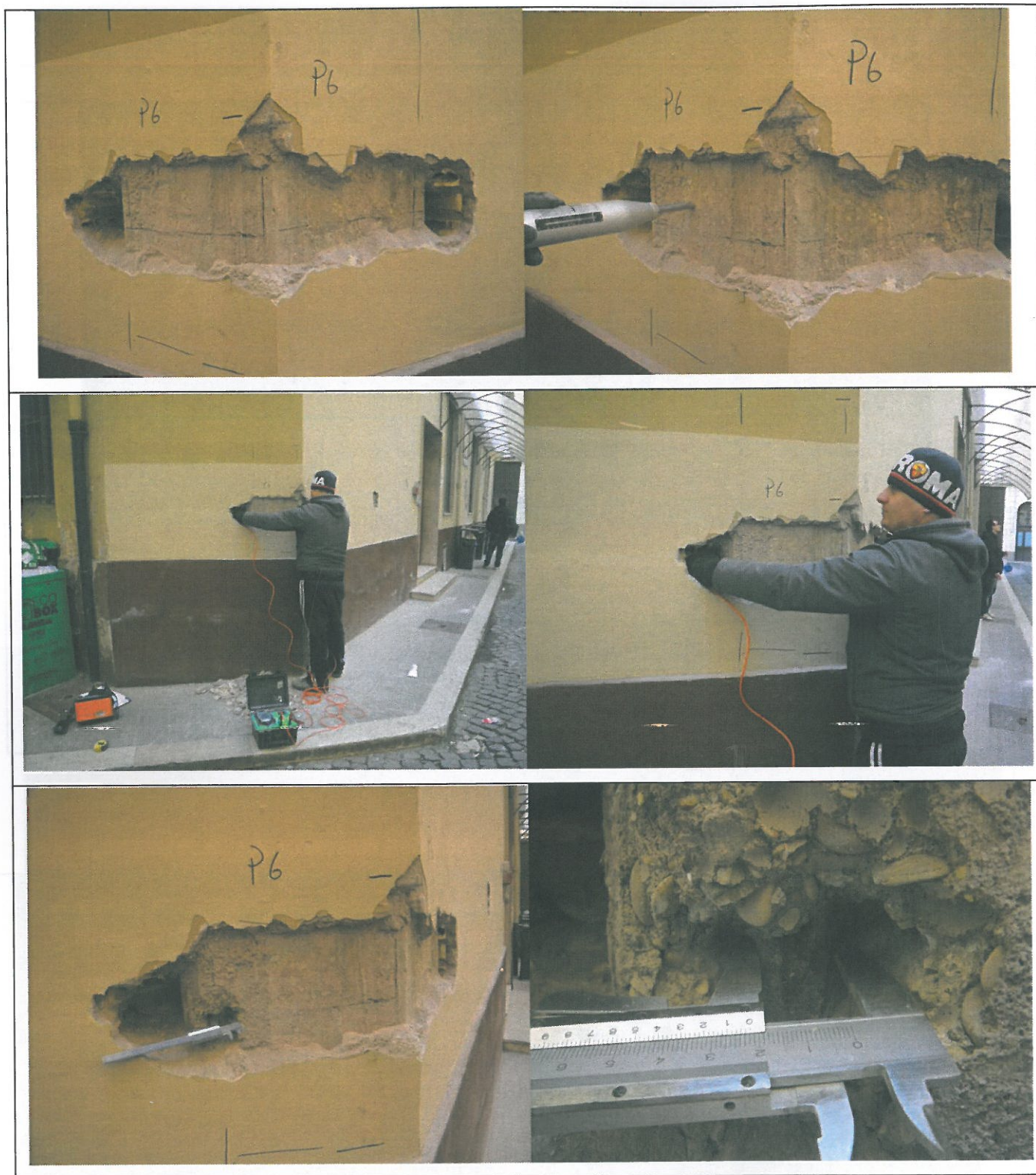


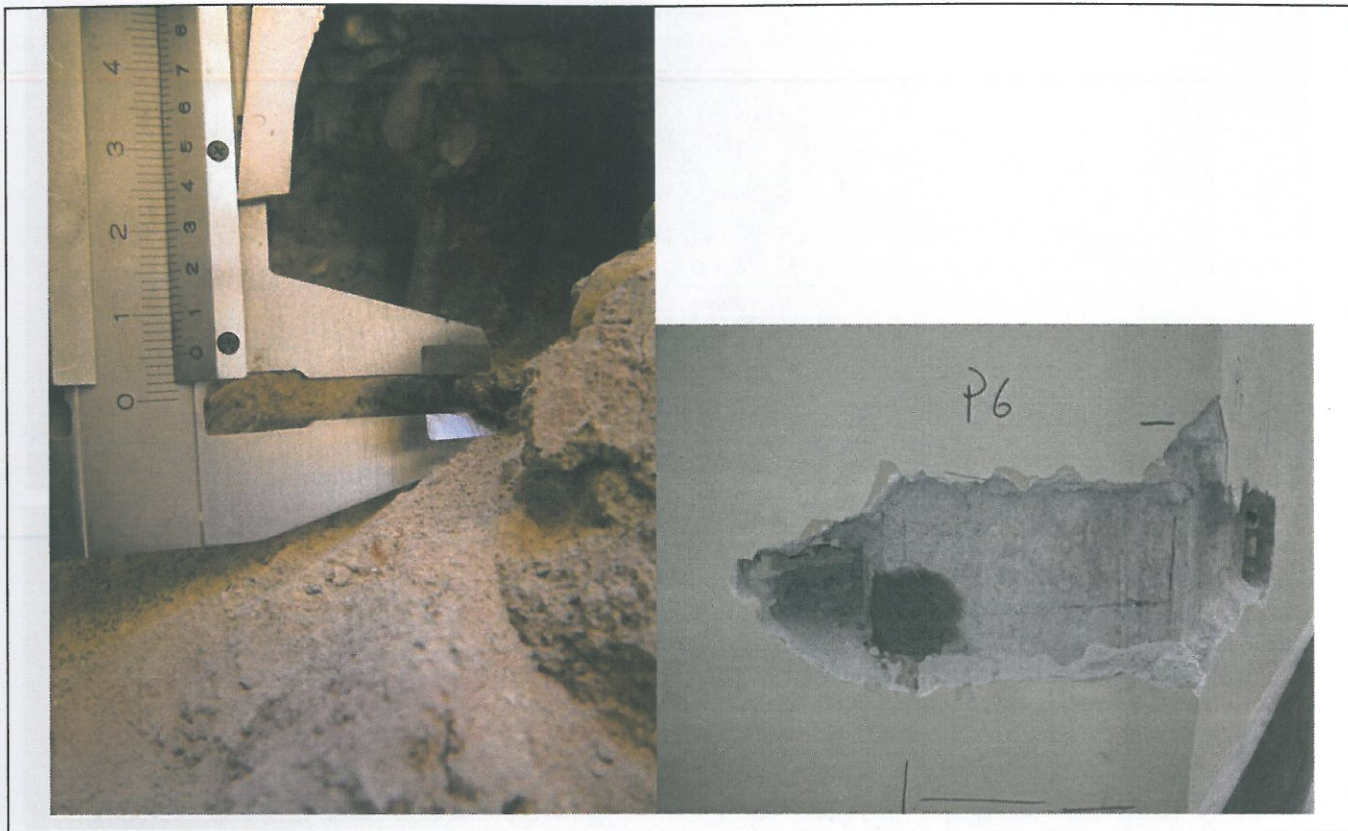
P5



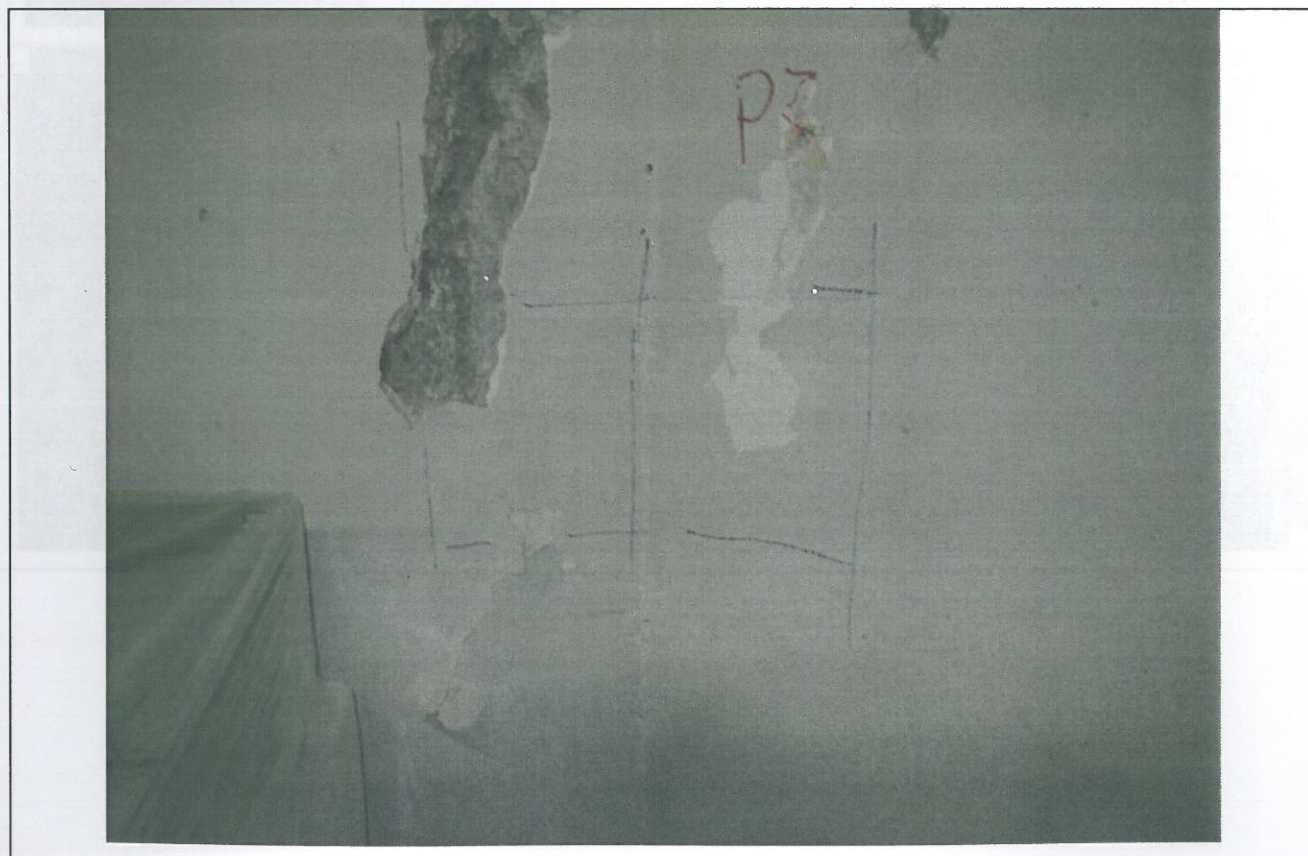
P6







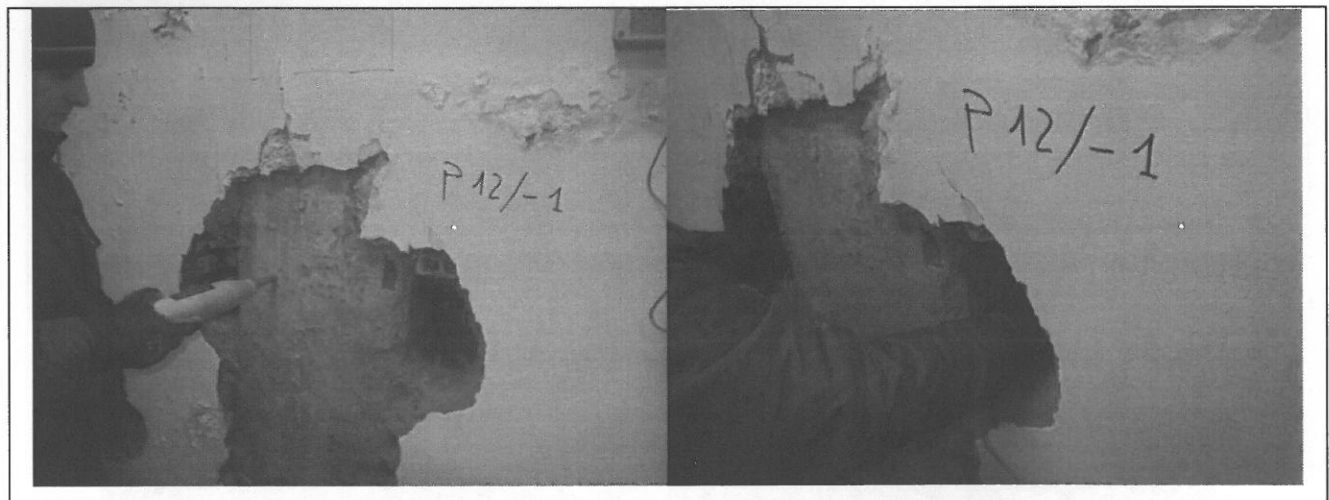
P7



**P9**



**P12**



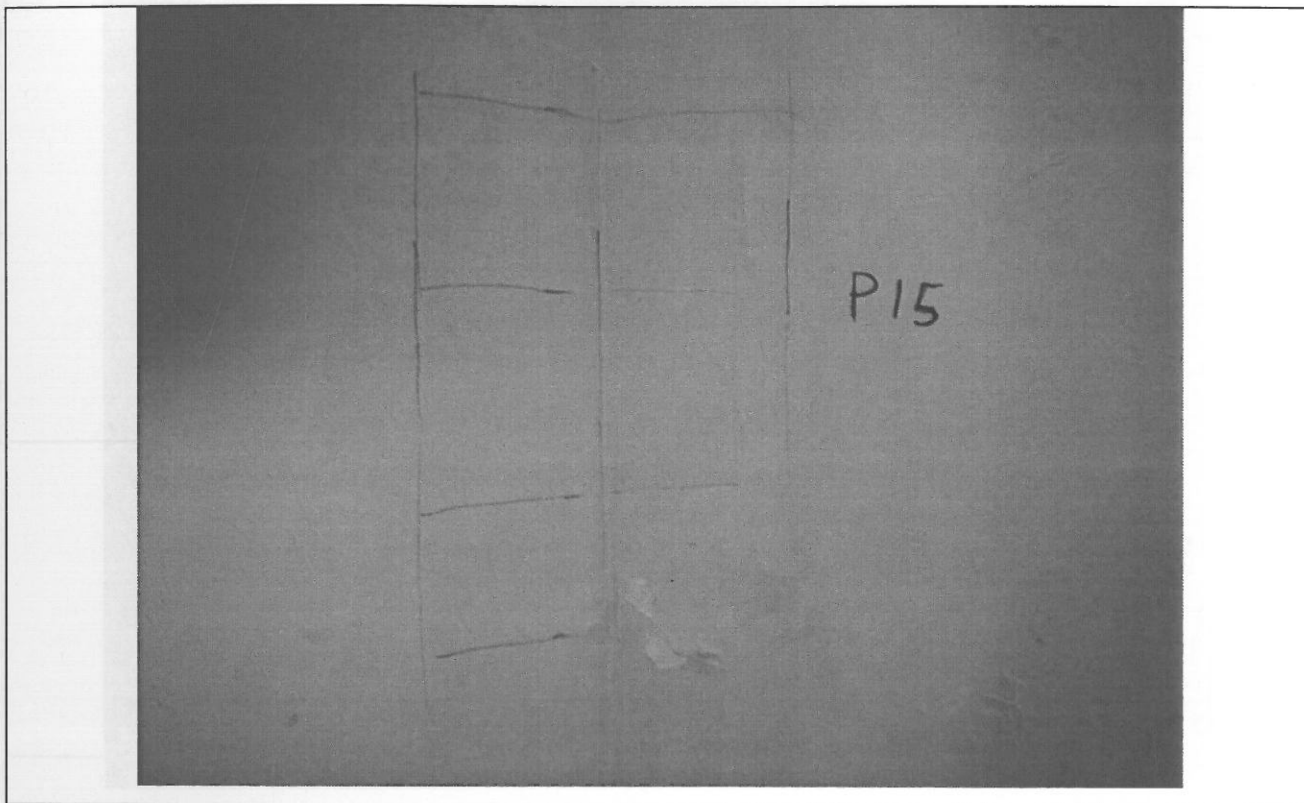




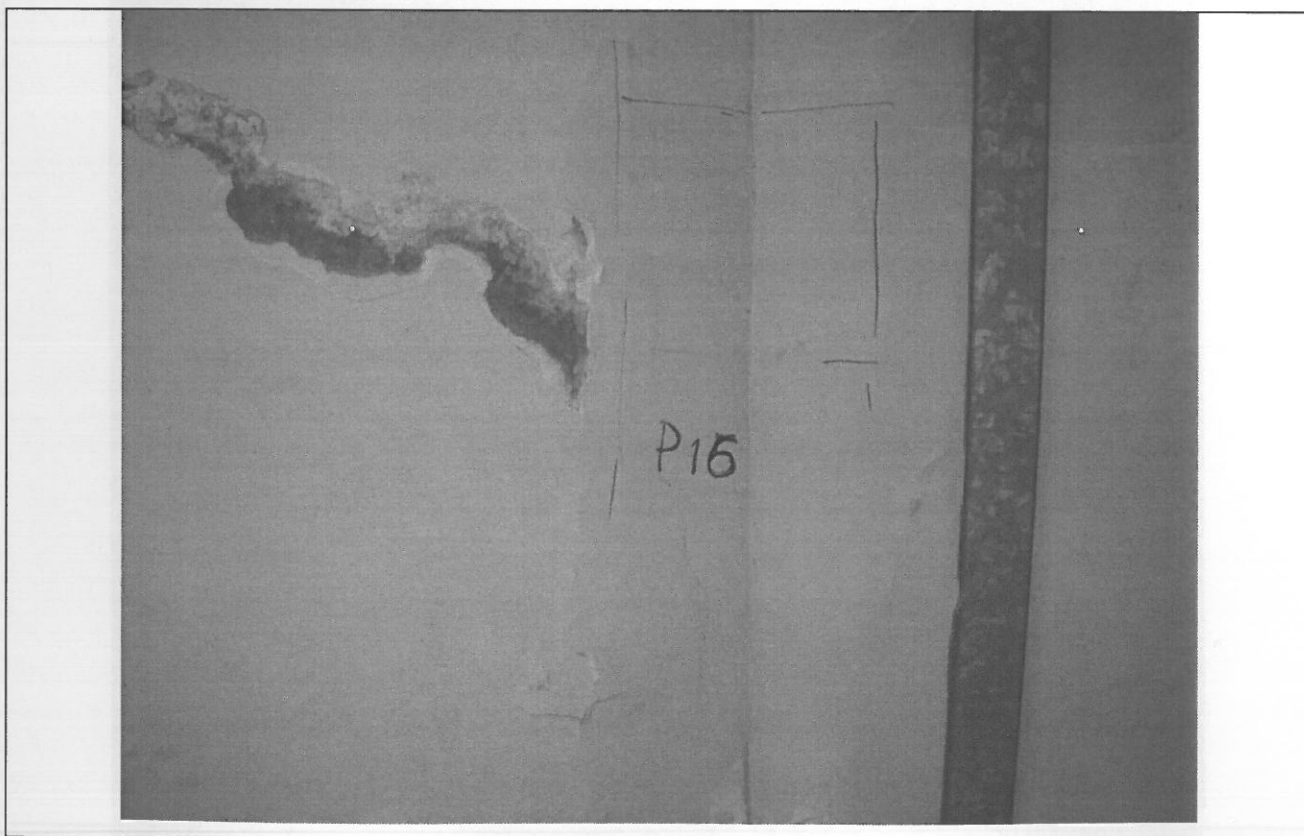
P14



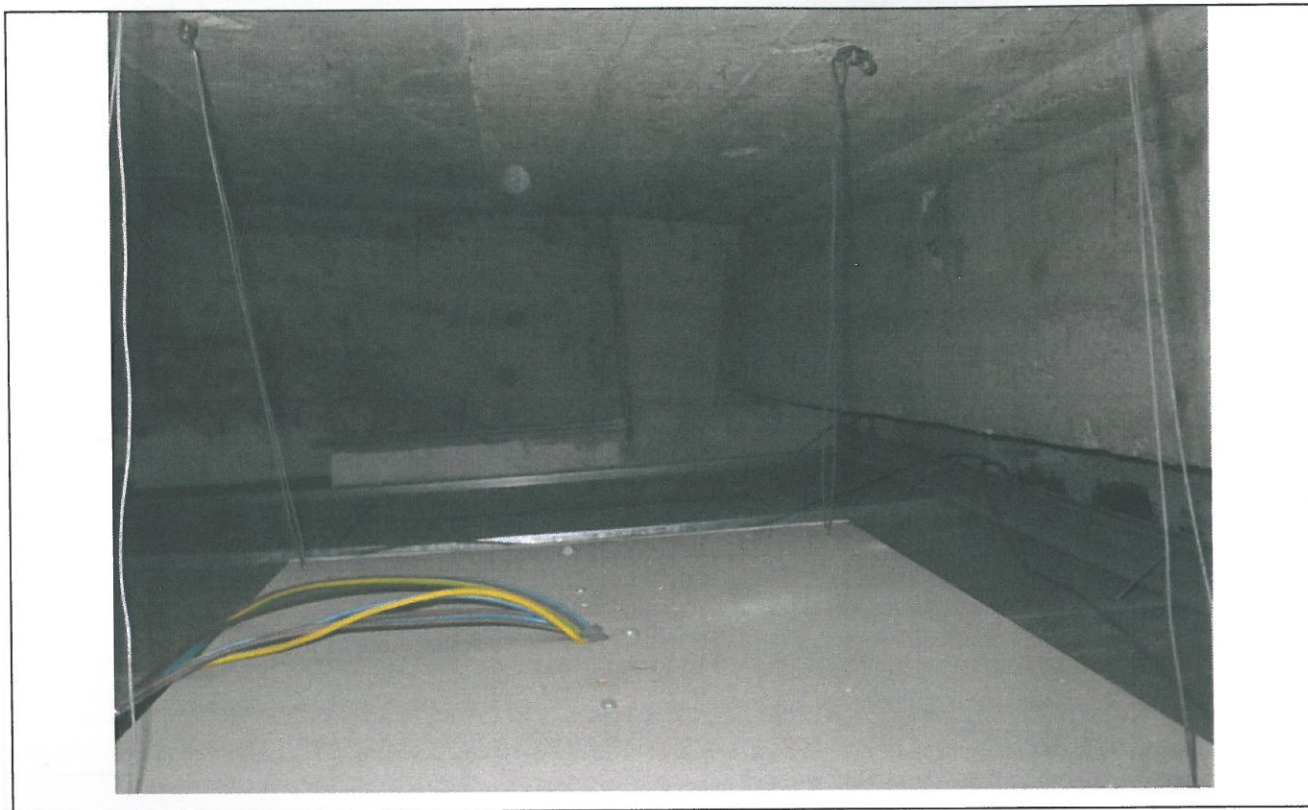
P15



P16

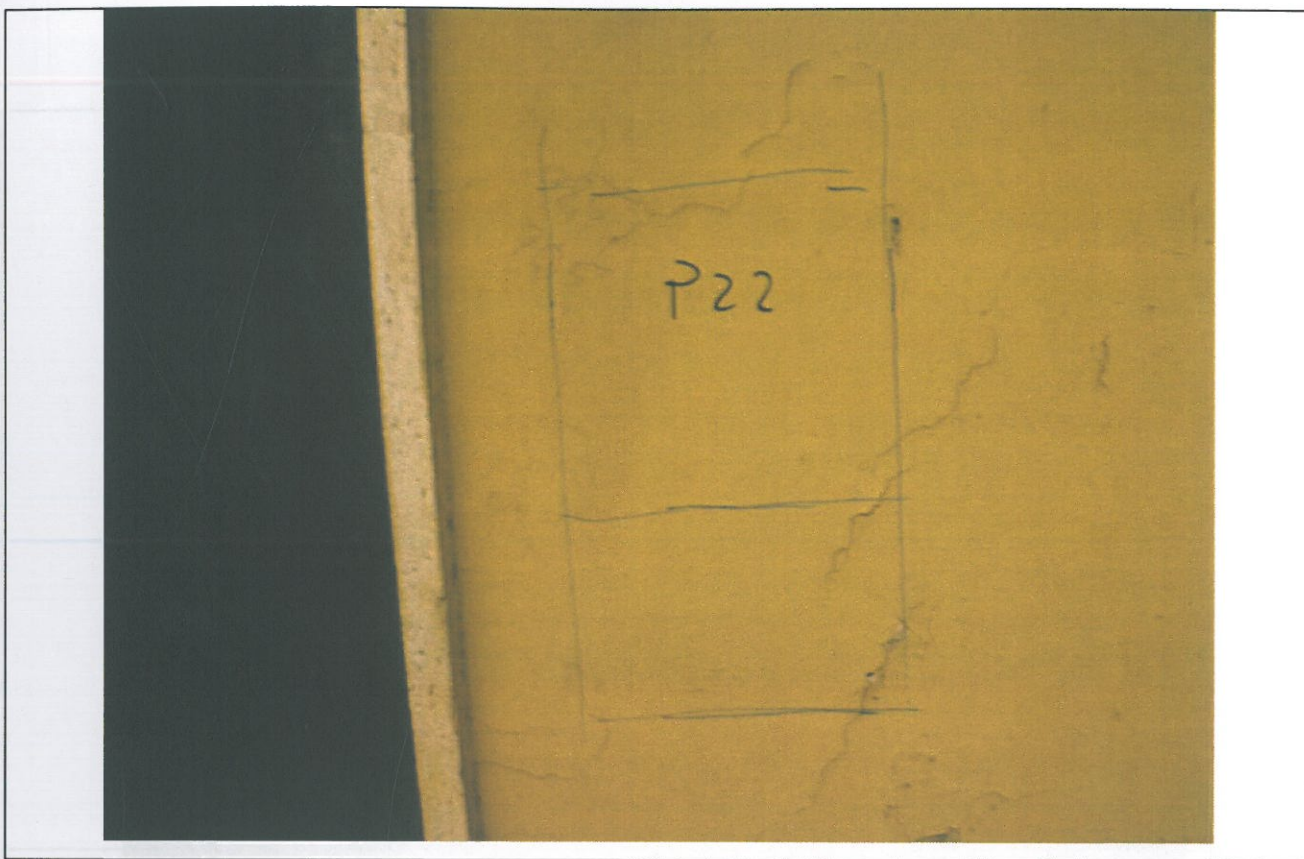


P20

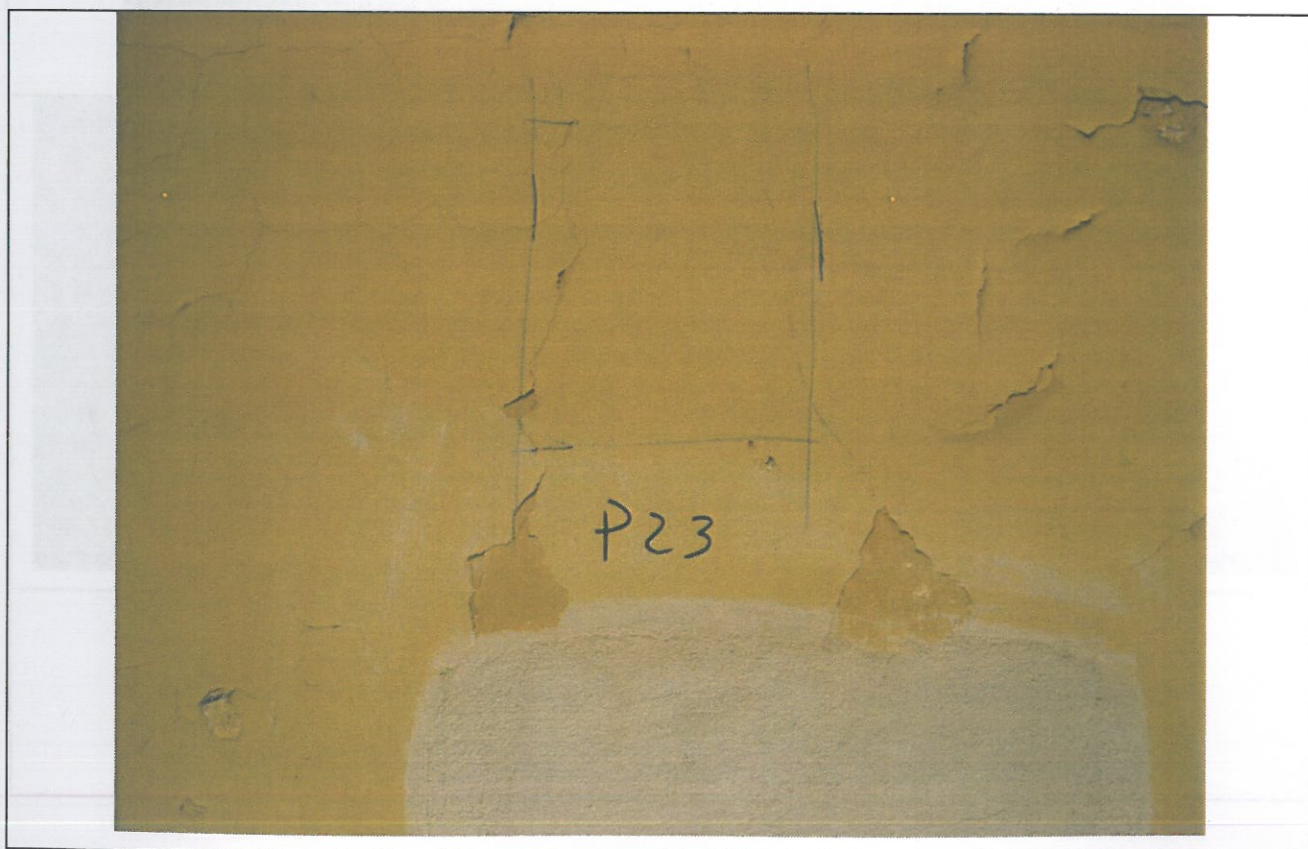


P22





P23

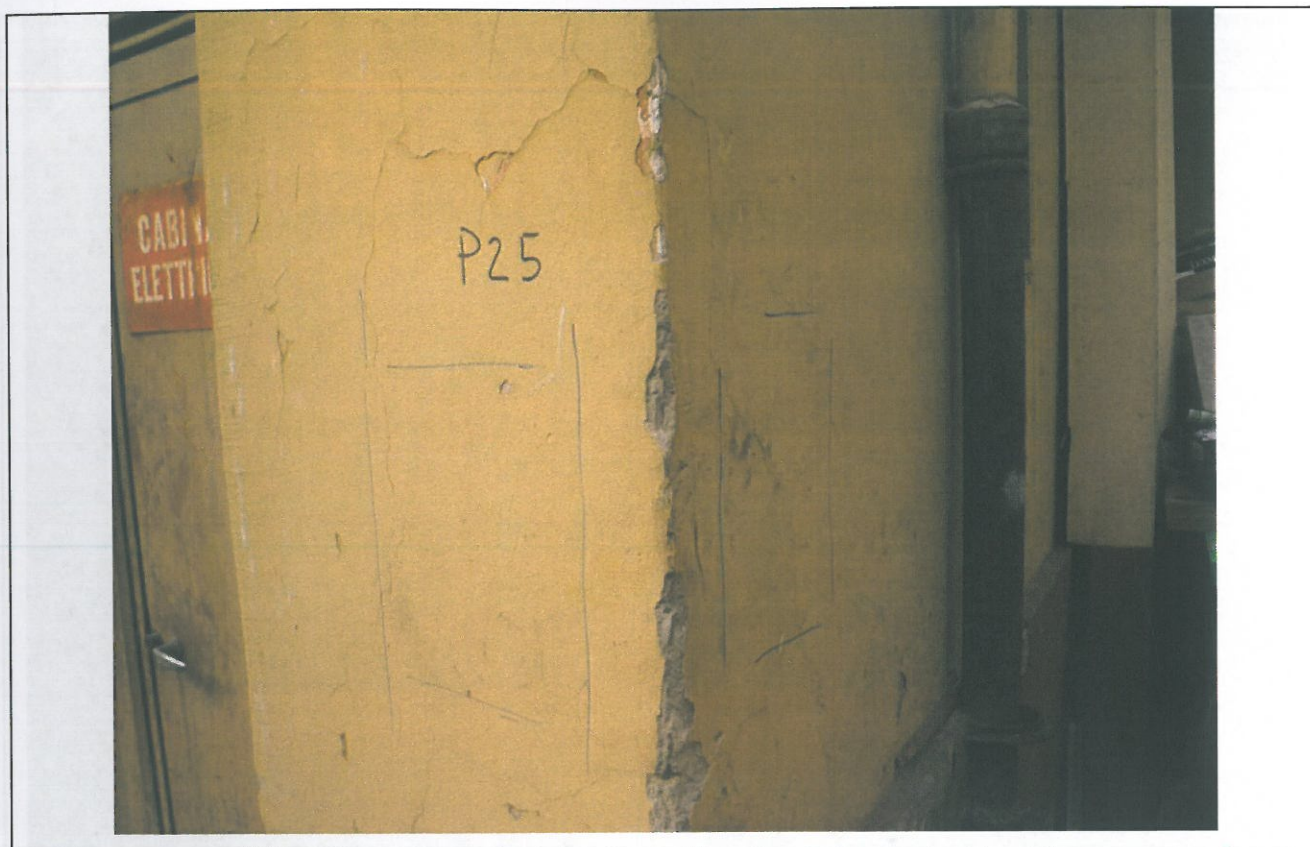


P24



P25





## 6.2. FONDAZIONE

P1

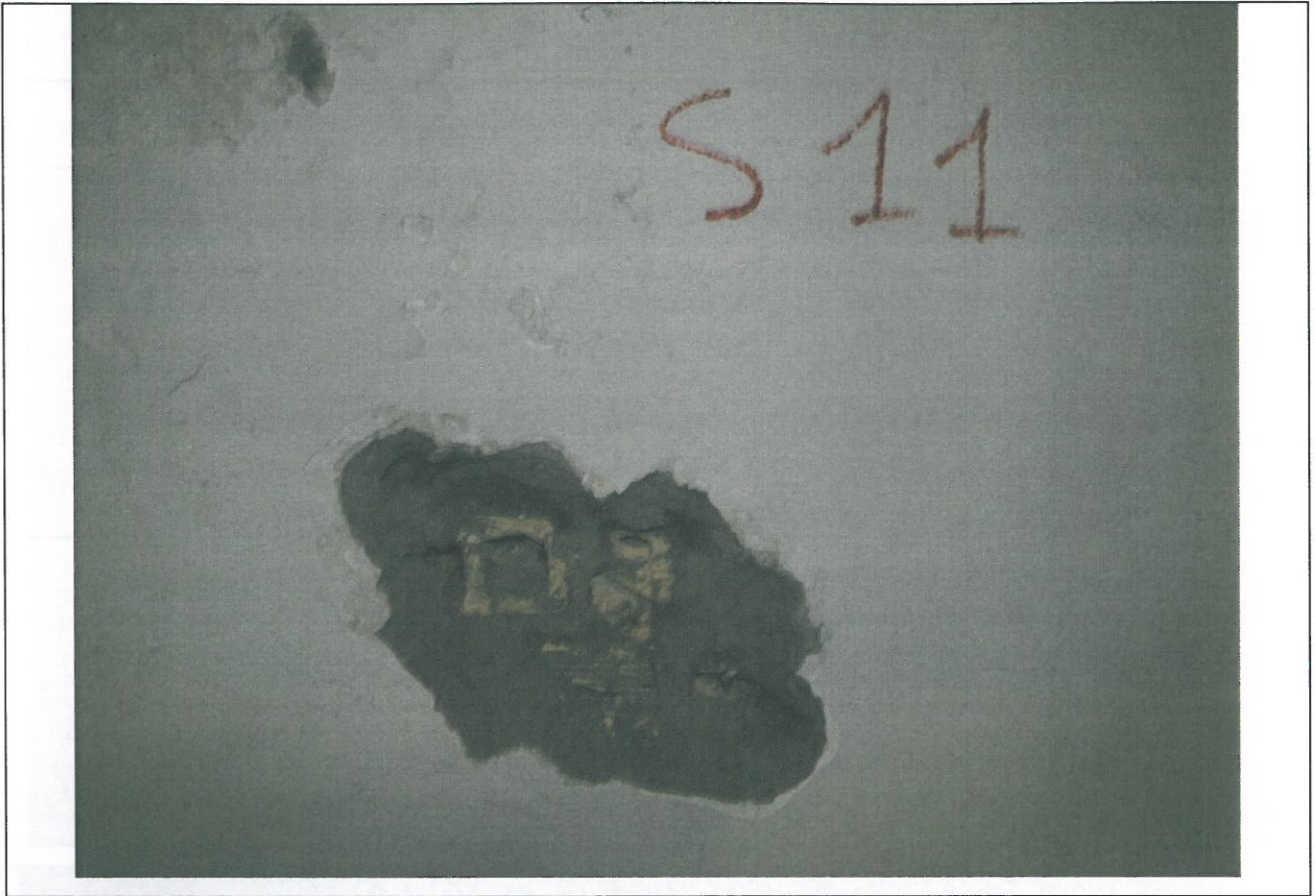




6.3. SAGGI

S1- S11





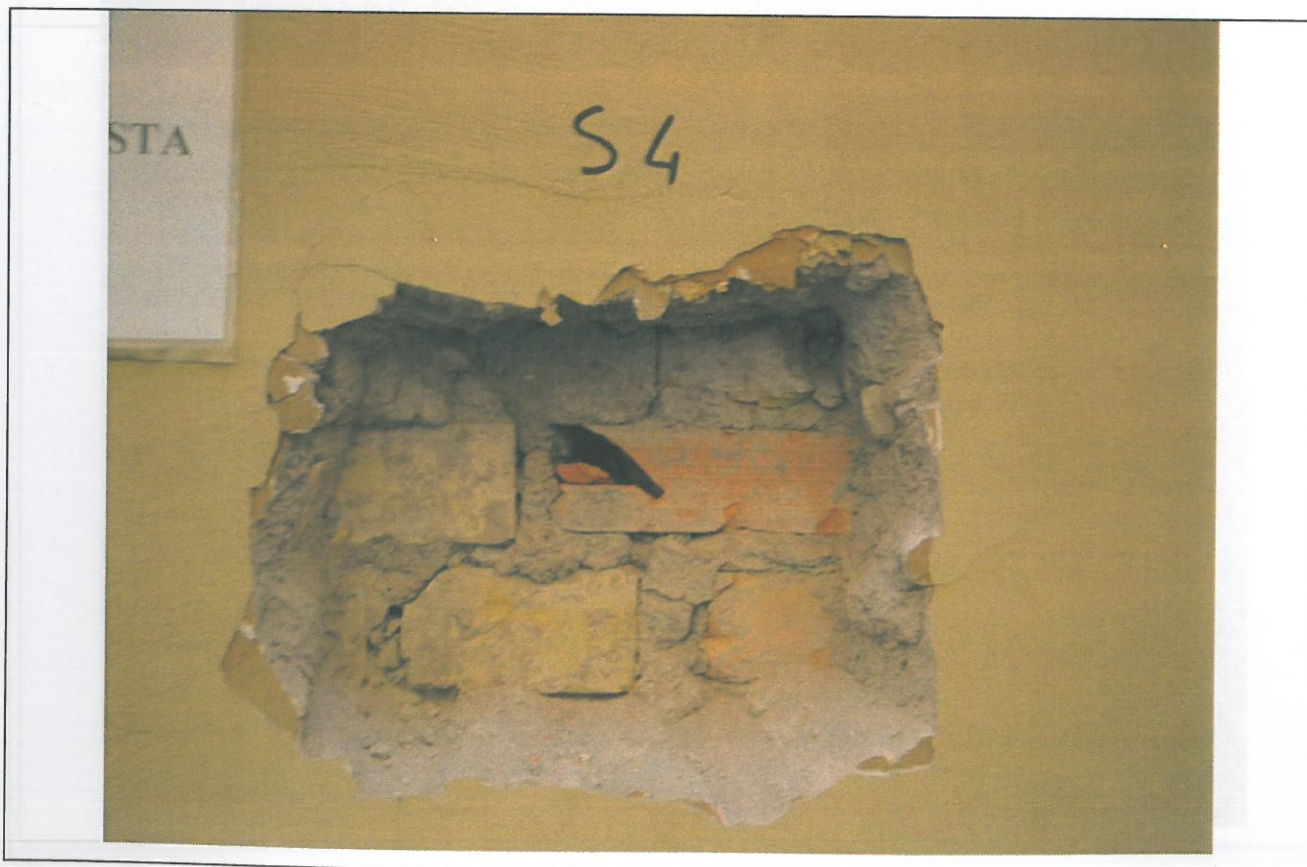
S2



S3



S4



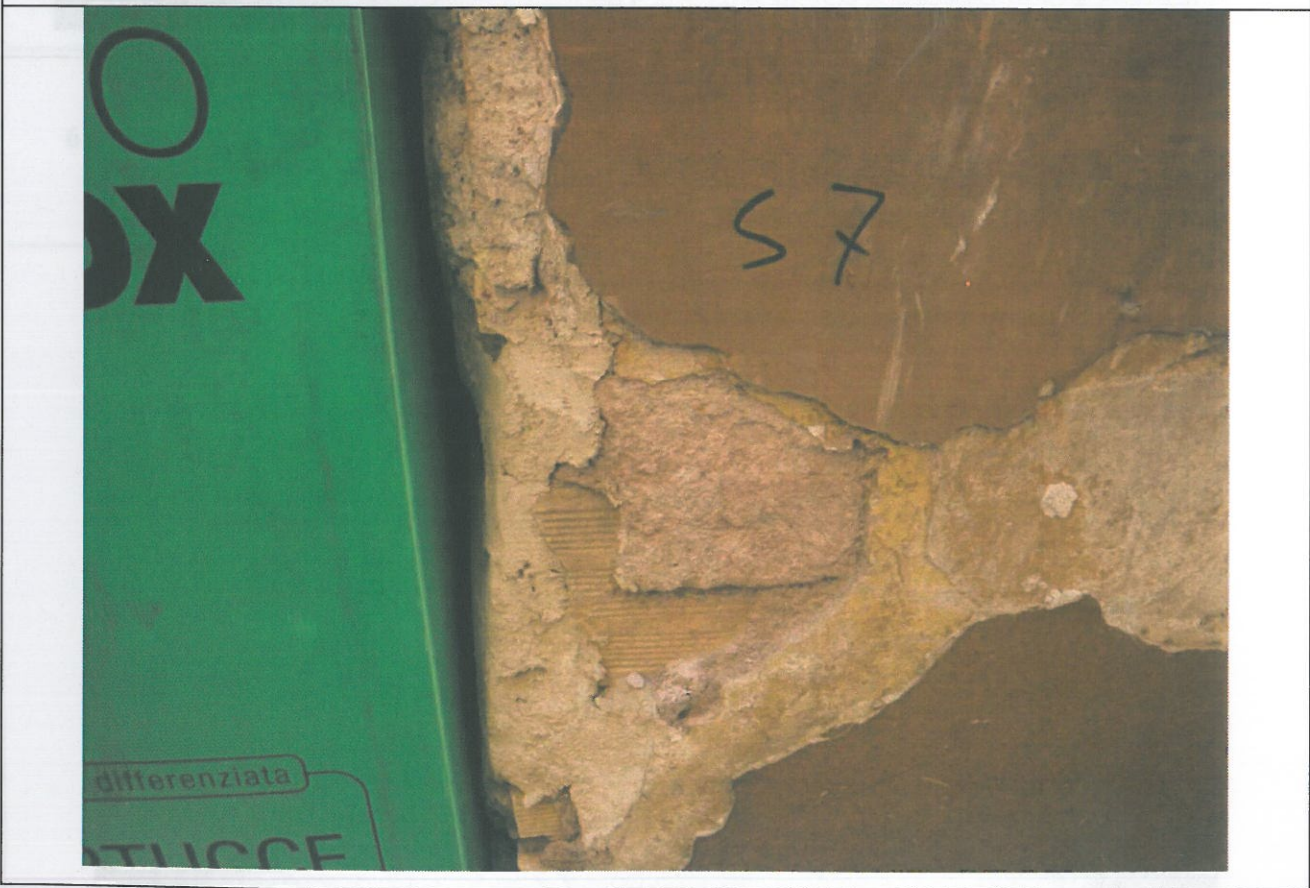
S5



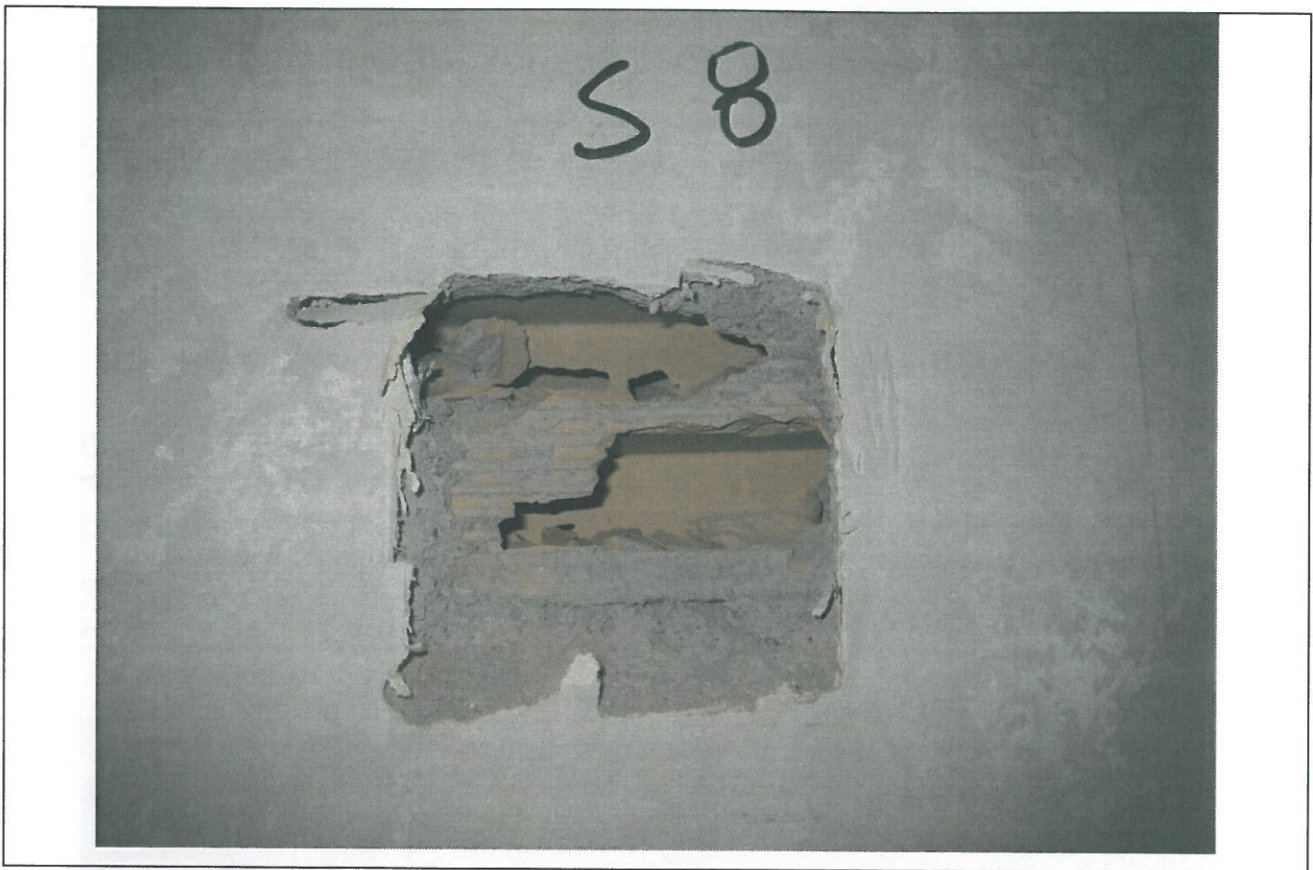
S6



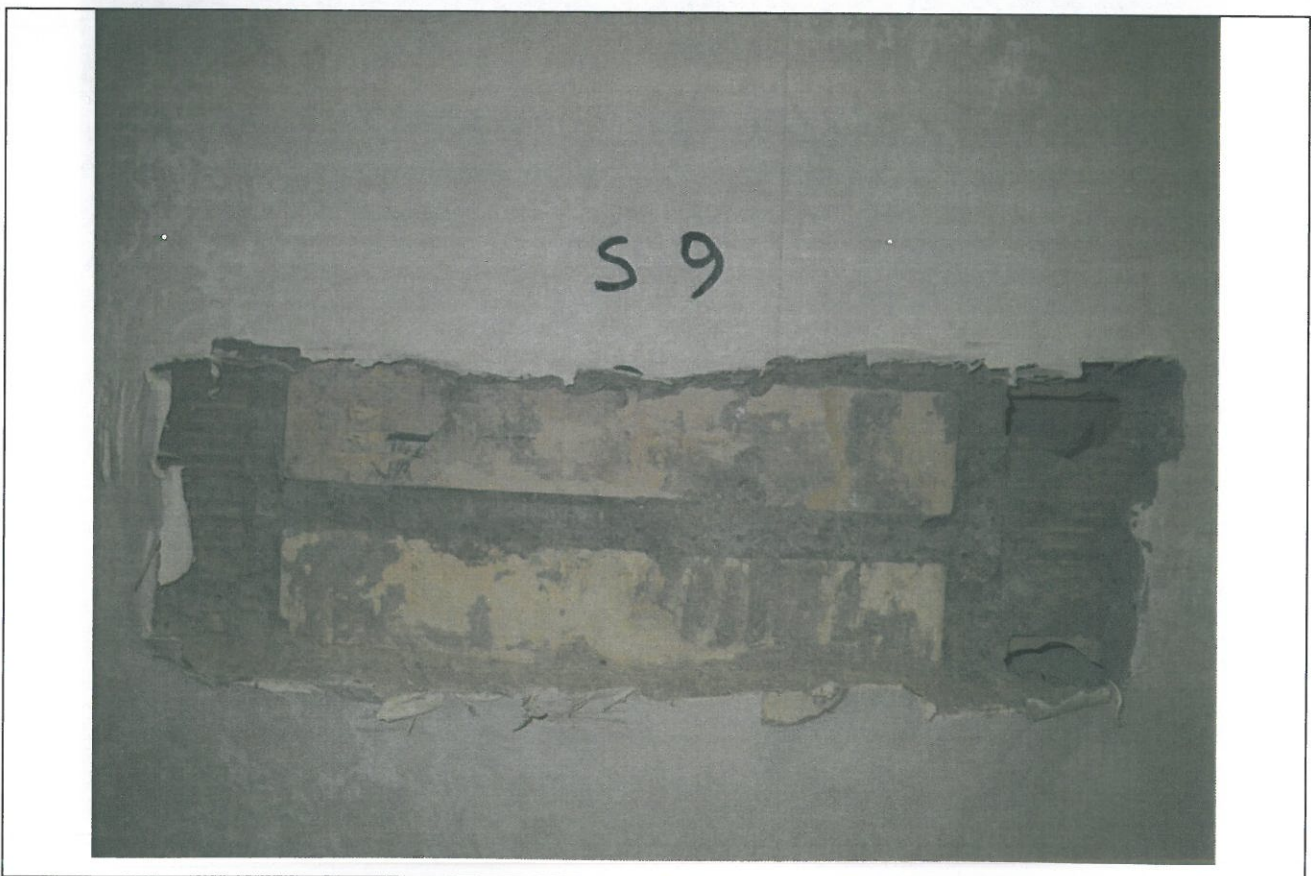
S7



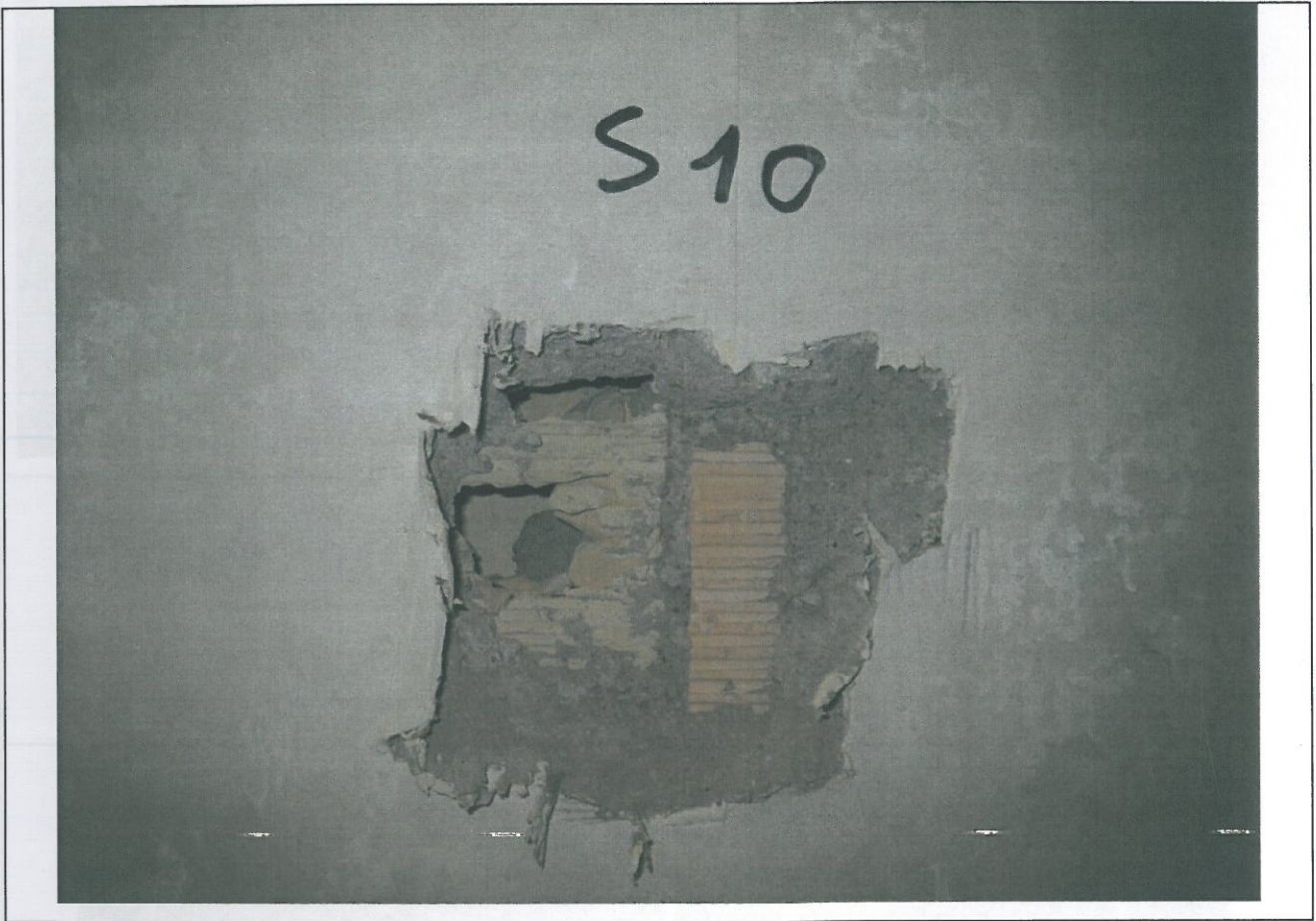
S8



S9



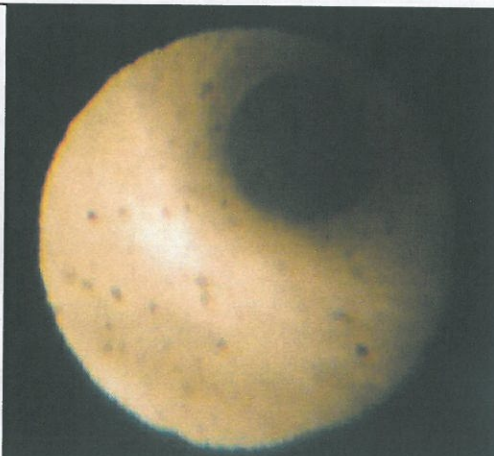
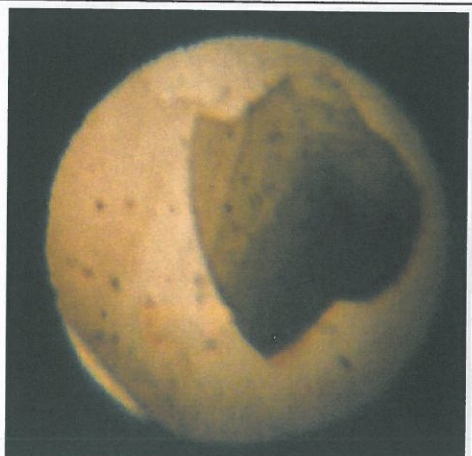
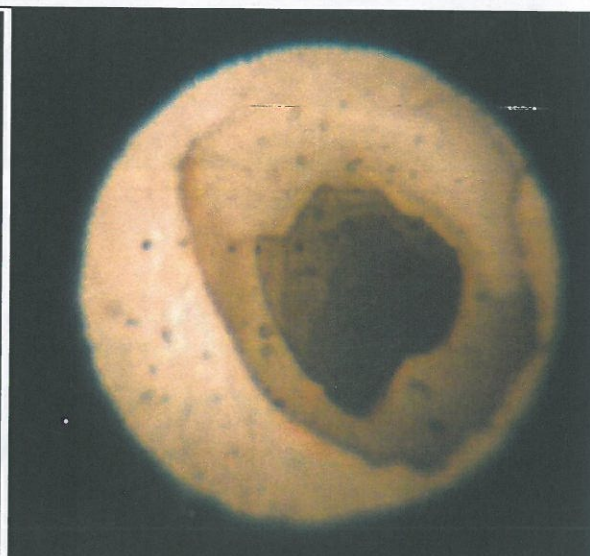
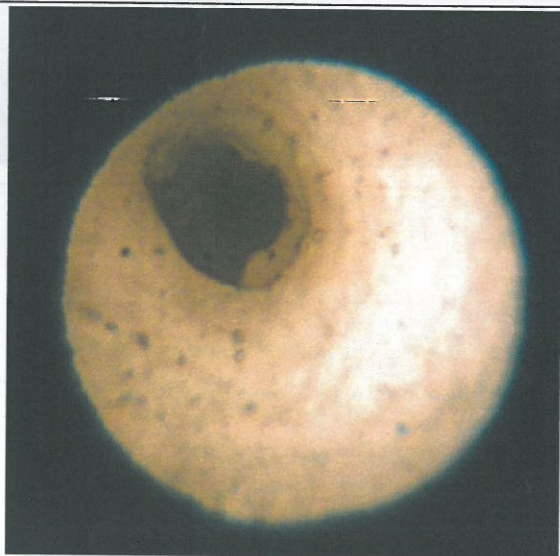
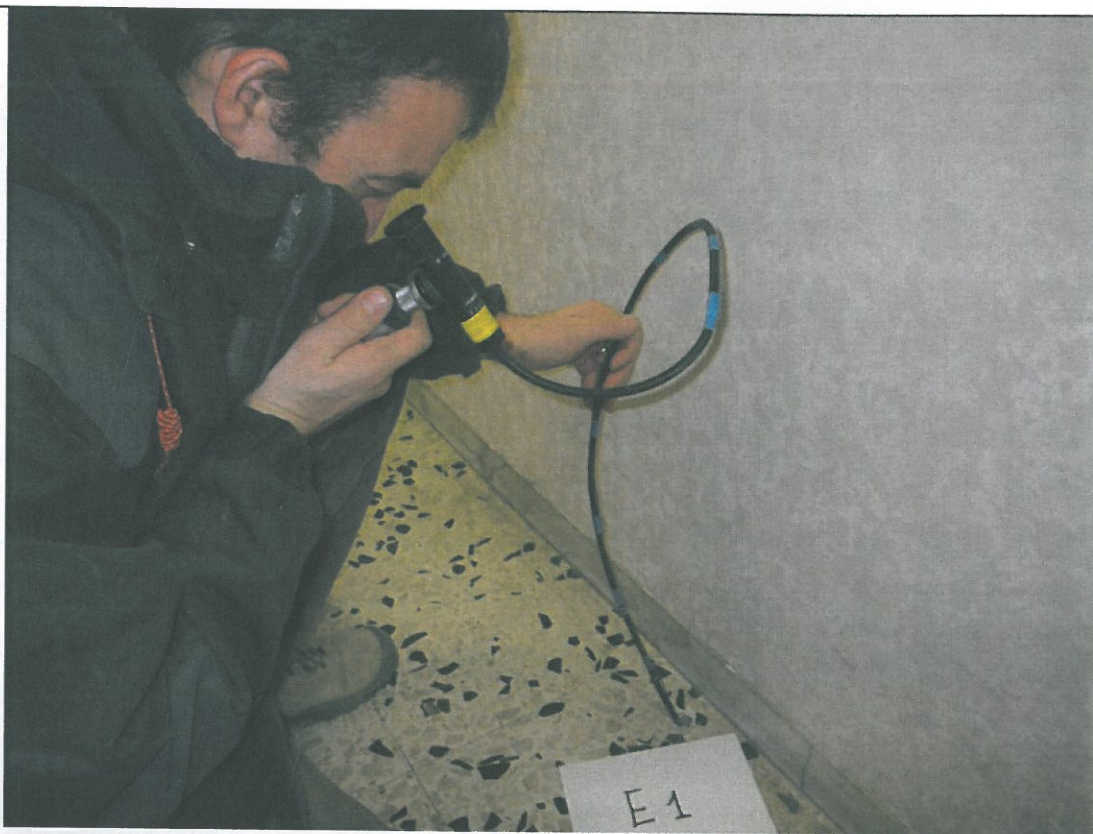
S10



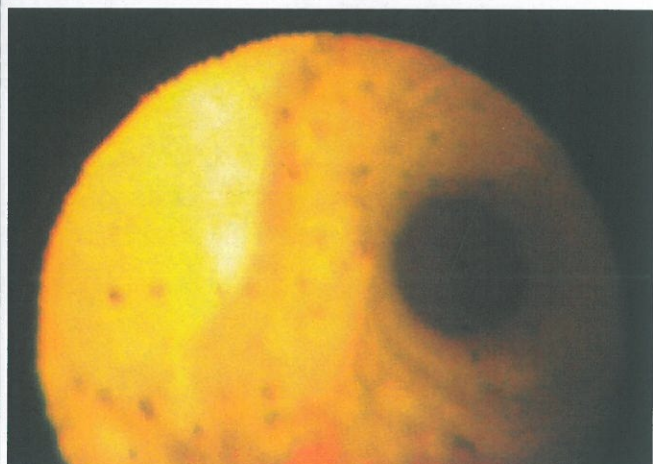
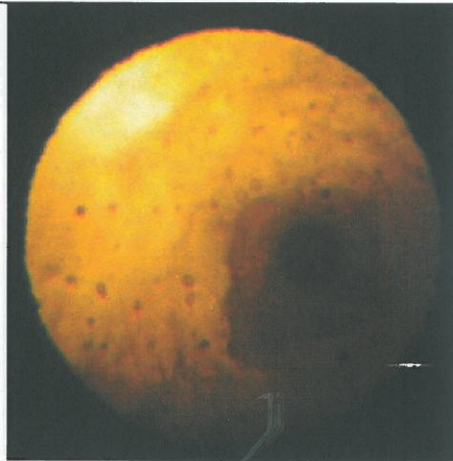
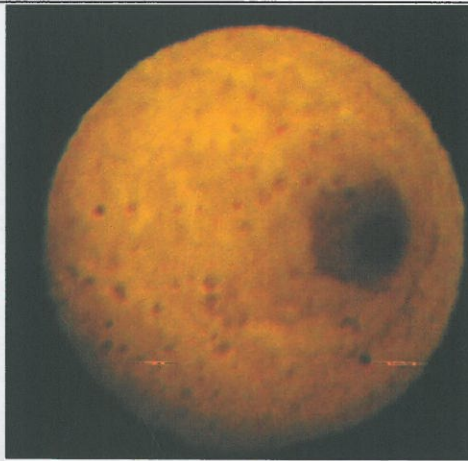
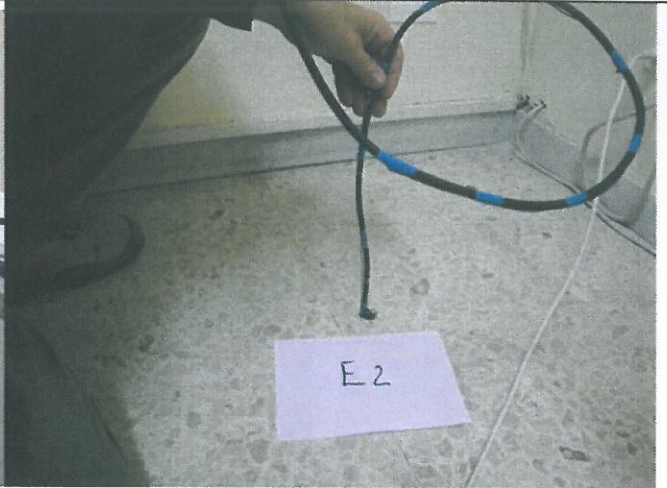
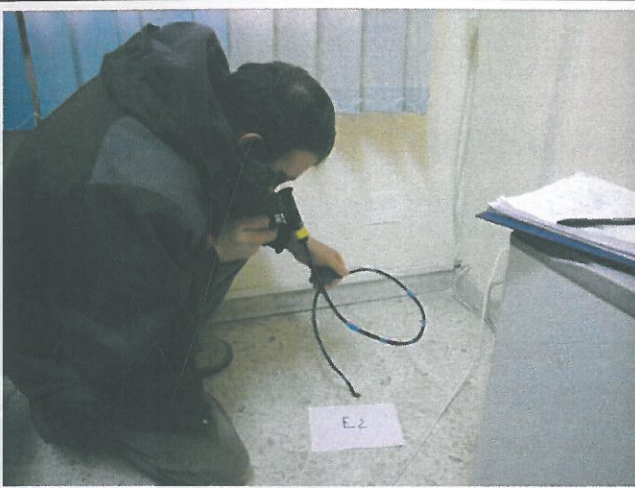
6.4. ENDOSCOPIA

E1

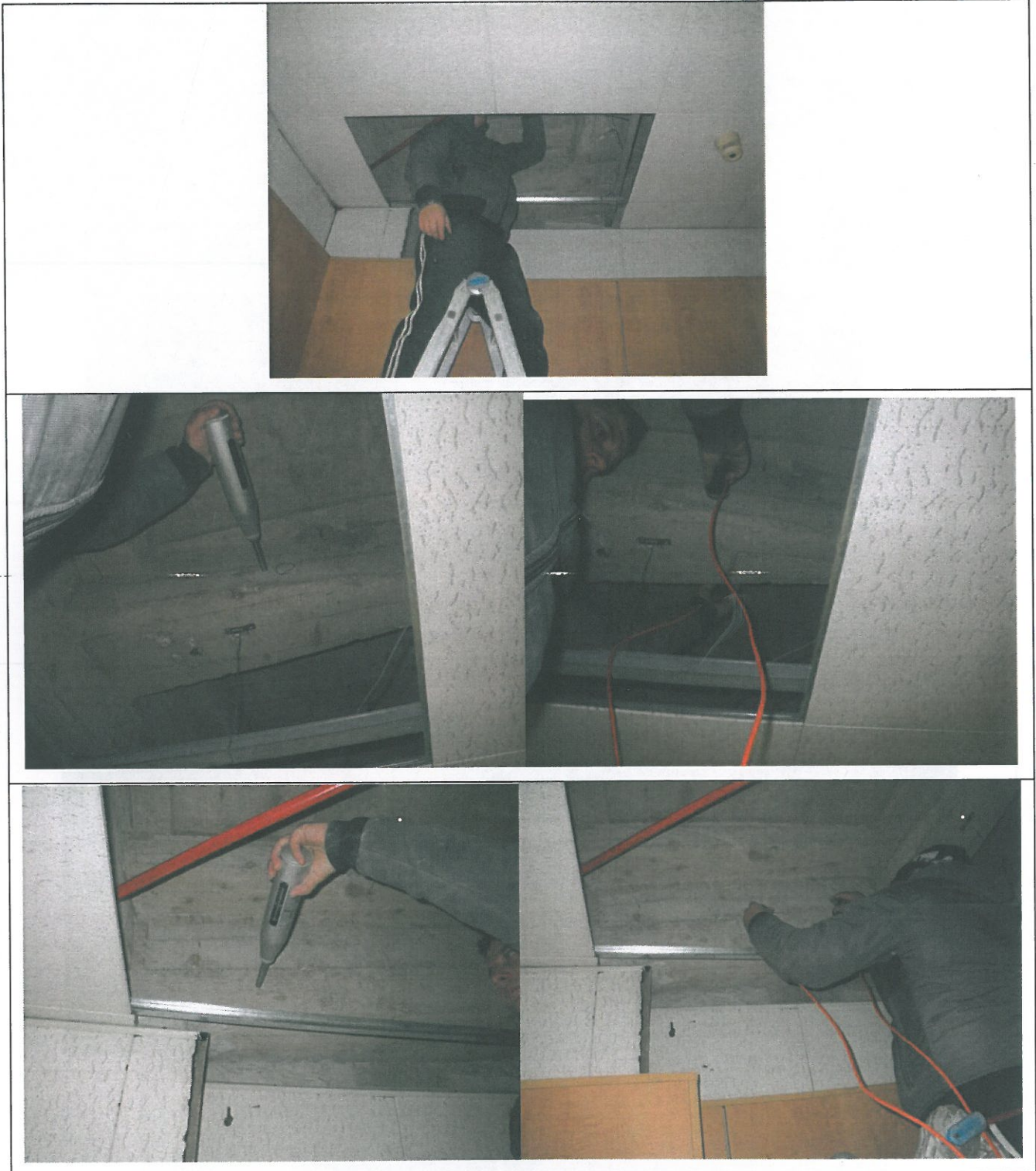


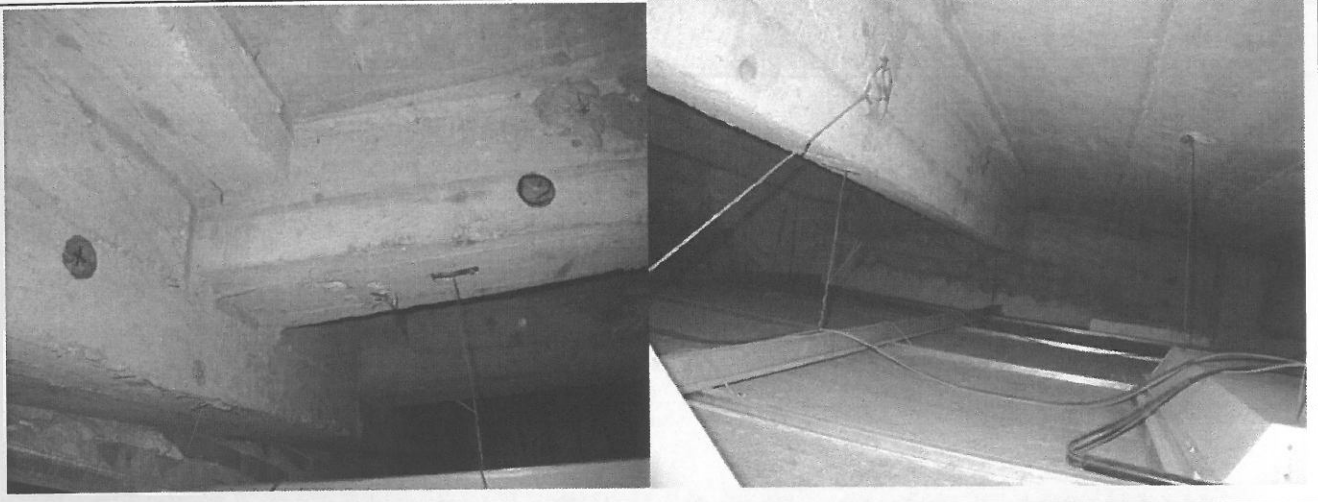


E2

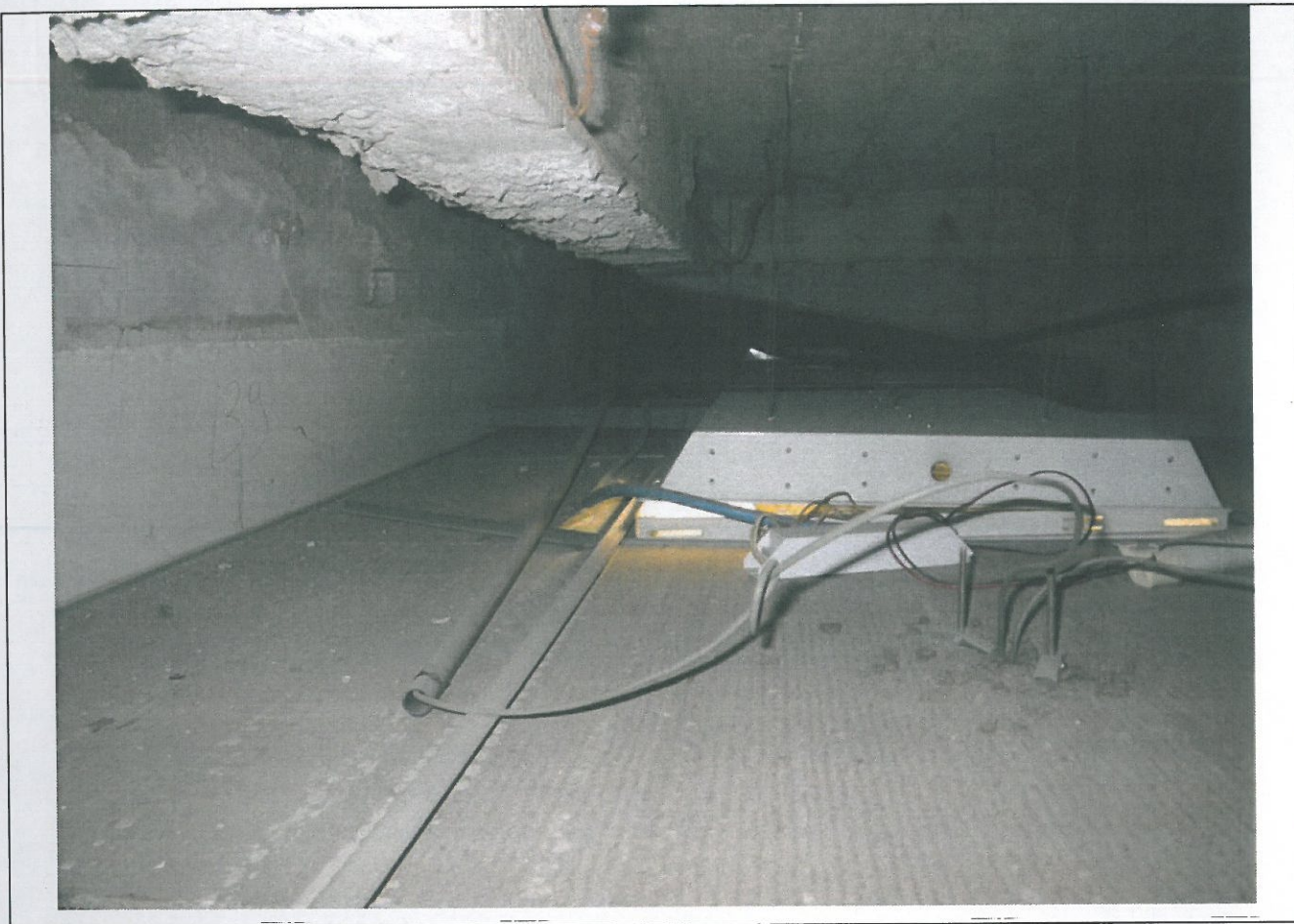


### 6.5. SOLAIO GRADINATA











**UFFICIO AUTONOMO LAVORI**  
G.M. per M.D. - ROMA

**PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEI  
LAVORI DI AMMODERNAMENTO E MESSA A NORMA  
DELLA PALAZZINA IN USO AL COMANDO C4 IN  
PALAZZO ESERCITO - ROMA**

**PROGETTO ESECUTIVO**



Impresa **TES ENERGIA SRL**  
ing. **VINCENZO SERAO**  
Marcianise (CE) Viale della Vittoria n.37 - c.a.p. 81025

**Raggruppamento Temporaneo di Professionisti**

**ARCH. FABRIZIO MIRARCHI** | *capogruppo*  
coordinamento generale, progetto architettonico, progetto strutturale

**ING. VINCENZO CARPENTIERO** | *mandante*  
progetto impianti tecnologici

**ING. ANTONIO PAGLIUCA** | *mandante giovane professionista*  
progetto impianti tecnologici

**ARCH. GAETANO RICCARDELLI** | *mandante*  
progetto architettonico

**THAI STUDIO DI ARCHITETTURA** | *mandante*

**consulenti**

**ing. Gianluca Rennella**  
calcoli strutturali

il Direttore dei Lavori  
**ing. FRANCESCO CALABRESE**

R.U.P.  
**Col. TICCONI MAURIZIO**

Titolo elaborato  
**CERTIFICATO DI PROVA STRUTTURALE**  
(fornita dalla Stazione Appaltante)

scala: --  
data: MAGGIO 2018

argomento

**PD**

numero

**03**



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

### CERTIFICATO DI PROVA

**RICHIEDENTE:**

ING. ADRIANO PIGNATARO  
VIA GIAN MARIA VOLONTE' n° 24  
00139 ROMA - RM

DATA DI IMMISSIONE: 28/01/2013
Protocollo: 2013-00036-G Certificato: 2013-00081-G
DATA DI EMISSIONE: 21/02/2013

**Committente:** SOCIETA' IMST PROGETTI

**La richiesta NON riporta la firma del direttore dei lavori**

**Dati forniti dal richiedente:**

Cantiere: ROMA VIA FIRENZE n° 35 - PRELIEVO C/O PALAZZINA COMANDO 4 (MINISTERO DIFESA)  
Campioni di: CAROTA IN CLS.

L' Ing. Adriano Pignataro è stato incaricato per indagini e prove strutturali dalla  
Societa' IMST PROGETTI - Ing. Luca Cioli

MODALITA' DI PROVA: La resistenza a compressione dei provini e la massa volumica sono  
state determinate con riferimento alla UNI EN 12504-1:2002.

#### RISULTATI DELLE PROVE A COMPRESSIONE

N°	Dati forniti dal richiedente			Contrassegno rilevato sul provino	Dimensioni (mm)		Data di prova	Massa vol. [kg/m³]	Tens. di rottura [N/mm²]	TR
	Contrassegno	Data di prelievo	Classe di resistenza		Ø	h				
1	25/01/13 P12/-1	25/01/13	N.D.	25/01/13 P12/-1	98	196	19/02/13	2326	21.33	A

**Note Laboratorio:**

- [1] La carota è stata rettificata e cappata in Laboratorio.

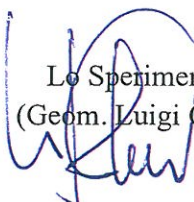
**Note:**

TR = Tipo Rottura, A = soddisfacente; B(x) = non soddisfacente; Tipo(x) vedi paragrafo 8 fig. 2 della UNI EN 12390-3:2003  
[N.D. Non dichiarato]



**DA ASSOGETTARE A BOLLO  
IN CASO D'USO  
AI SENSI DEL D.P.R. 642/72**

Lo Sperimentatore  
(Geom. Luigi Colaceci)



Il Direttore  
Prof. Ing. Augusto Desideri

