

COMUNE DI PALERMO

Geol. Marco Bommarito
Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia n° 3459/A
Cell. 3203064257
marco.bommarito89@gmail.com

RELAZIONE GEOLOGICA

Oggetto

Realizzazione di una struttura prefabbricata in legno lamellare a servizio della Facoltà di Ingegneria presso l'Università degli Studi di Palermo

Committente:

Università degli Studi di Palermo

Il Geologo

Dott. Marco Bommarito



SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	2
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	2
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
3. IDROGEOLOGIA	5
4. RISCHIO IDROGEOLOGICO.....	6
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	7
5.1 <i>PREMESSA</i>	7
5.2 <i>PROSPEZIONI IN SITO, TECNICHE D'INDAGINE</i>	8
5.3 <i>CENNI STORICI E STRATIGRAFIA SISMICA DA INDAGINI A STAZIONE SINGOLA</i>	9
5.4 <i>PROCEDURA E ANALISI DEI DATI</i>	11
5.5 <i>ELABORAZIONI E RISULTATI DELL'INDAGINE</i>	12
6. CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	15
7. CONCLUSIONI.....	16

ALLEGATI:

- Stralcio CTR 595050 in scala 1:10.000
- Stralcio Carta Geologica in scala 1:10.000
- Sezione Geolitologica in scala 1:100
- Stralcio Carta Idrogeologica in scala 1:10.000
- Cartografia Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- Report indagine sismica

1. PREMESSA

La Levill House S.r.l. ha conferito l'incarico al sottoscritto per lo studio geologico-sismico del sito su cui si dovrà realizzare una casa prefabbricata in legno sita a Palermo, in Viale delle Scienze, presso la Facoltà di Ingegneria all'interno della città universitaria.

L'unità immobiliare, costituita da elementi portanti in legno lamellare, risulta avere una superficie catastale totale pari a 72 m² e un'altezza massima di 320 cm e una minima di 270 cm.

Il fabbricato sarà ancorato su una platea solida in cemento.

Lo scopo dello studio è stato quello di:

- ricostruire il quadro geologico, geomorfologico e idrogeologico nel quale si inserisce l'opera in progetto;
- accertare le caratteristiche geolitologiche dei terreni di fondazione;
- inquadrare il sito sotto l'aspetto del rischio idrogeologico con riferimento al decreto A.R.T.A. Regione Siciliana, art.1 D.L. 180/98 convertito con modifiche dalla L.267/98 e ss.mm.ii relativo all'adozione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.);
- caratterizzare i terreni di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi delle N.T.C. 2018, D.M. 17 gennaio 2018, capitolo 3, Azioni sulle Costruzioni, punto 3.2.2;

Per l'espletamento dell'incarico, è stato effettuato un sopralluogo nel sito e sono stati utilizzati sia dati provenienti dalla letteratura geologica esistente sia un'indagine sismica di tipo passivo, a stazione singola, mediante analisi di microtremiti, per la determinazione del parametro velocimetrico $V_{s,eq}$.

Lo studio è stato condotto in ottemperanza alle N.T.C. 2018, D.M. 17 gennaio 2018, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni».

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

Con riferimento alla cartografia ufficiale, l'area oggetto di studi ricade nella tavoletta Palermo (Foglio 249 II NE) in scala 1:25.000 dell'I.G.M. (Istituto Geografico Militare), mentre in ambito regionale ricade all'interno della sezione della C.T.R. (Carta Tecnica Regionale) 595050, in scala 1:10.000, cfr. Allegato 1.

In particolare l'opera in oggetto ricade all'interno della cittadella universitaria, il cui perimetro si estende lungo via Ernesto Basile, alla periferia sud della città, all'interno del Parco d' Orleans, ed è attraversata per tutta la sua lunghezza da viale delle Scienze.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La Piana di Palermo, sviluppatasi grosso modo parallelamente alla linea di costa, con la sua tipica forma a mezzaluna, presenta una estensione di circa 130 km² e comprende la quasi totalità del territorio urbano della Città di Palermo. Essa risulta limitata interamente nella porzione occidentale e meridionale da una cintura di rilievi montuosi noti come "Monti di Palermo, a nord dal Mar Tirreno e a sud-est dal Fiume Eleuterio, che la separa dalla attigua Piana di Bagheria.

La sua morfologia abbastanza regolare (pendenze della superficie 10-15%), rappresenta il risultato sia dell'azione del mare quaternario che di quella dei corsi d'acqua che la incidono più o meno profondamente. Le forme risultanti consistono in una serie di pianori a diversa quota, con dislivelli di qualche metro, raccordati da scarpate lungo le quali è stata storicamente impostata la rete viaria urbana ed extraurbana.

L'area in esame ricade in un costesto sub-pianeggiante e si colloca in prossimità della Valle del Fiume Kemonia che trae origine da una sorgente sita nella Fossa della Garofala, all'interno del Parco d'Orleans.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Piana di Palermo è costituita da depositi pleistocenici marini con spessori variabili, che talora possono raggiungere 100 m, di calcareniti e/o argille sabbiose e silt, discordanti sui depositi carbonatici meso-cenozoici del settore di catena dei Monti di Palermo o sulle coperture numidiche. Nell'area di studio, dall'alto verso il basso, facendo riferimento alla nomenclatura utilizzata dalla cartografia geologica ufficiale del Progetto CARG dell'ISPRA, in scala 1:50.000, Foglio n° 595 Palermo (Fig. 1), si rileva:

A) depositi eluvio – colluviali del Sintema di Capo Plaia (**AFL_{b2}**), deposti durante il Pleistocene sup. – Olocene, costituiti da terre rosse residuali e di alterazione, di colore dal rosso al bruno marrone, a prevalente composizione limo-sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa con ciottoli poligenici di varia granulometria. Si collocano al top dei depositi pleistocenici calcarenitico-sabbiosi.

B) depositi pleistocenici, pertinenti al Sintema di Marsala (**MRS**), dell'Emiliano superiore – Siciliano; in particolare nell'area affiora la litofacies calcarenitico-sabbiosa delle “Calcareniti di Palermo” (**MRS_d**) con intercalati livelli argillosi e argilloso sabbiosi, con spessore variabile da qualche metro ad oltre 80 m. Questa litofacies è costituita da biocalcisiltiti e sabbie, passanti in alto a litareniti, biocalcareniti e/o biocalcisiltiti. La loro colorazione varia dal giallastro a biancastro, in funzione della percentuale di manganese. La cementazione, con grado molto variabile, è sia primaria (calcite microcristallina) che secondaria (calcite spatica), e sono diffusi i processi di dissoluzione legati alla circolazione delle acque sotterranee.

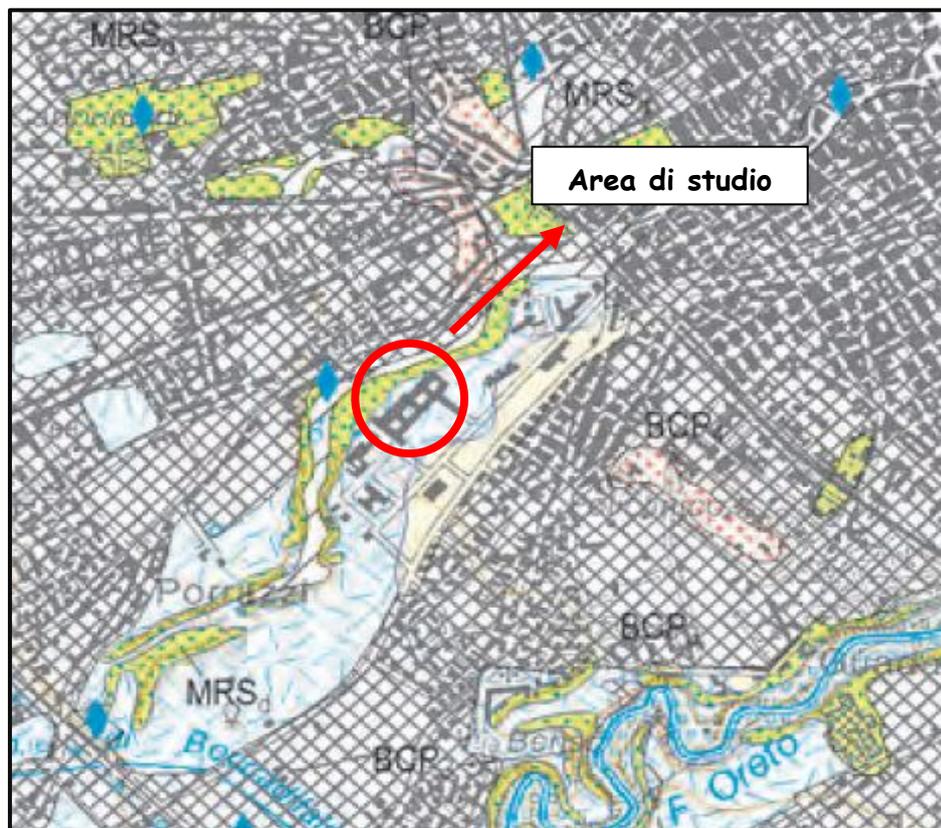


Figura 1 – Stralcio Foglio 595 Palermo inerente al progetto CARG che individua l'area in esame (non in scala)

Inoltre, si è fatto riferimento allo studio di massima della carta geologica in scala 1:10.000, redatta per Piano Regolatore Generale del Comune di Palermo 2025, cfr. Allegato 2, nonché al sopralluogo effettuato nell'area in esame che ha confermato l'affioramento delle biocalcareni giallastre a tessitura nodulare, composte da noduli calcarenitici e stratonoduli interconnessi tra loro con sabbie addensate che occupano gli spazi internodulari, Fig.2.

Sulla base di tali informazioni è stata redatta una sezione geolitologica presente in Allegato 3.



Figura 2 – Affioramento delle Calcareniti di Palermo a struttura stratonodulare “ossa”

3. IDROGEOLOGIA

Per quel che riguarda l'idrogeologia dell'area, le caratteristiche di permeabilità della formazione affiorante favoriscono l'infiltrazione delle acque piovane creando le condizioni per l'instaurarsi di una falda freatica il cui substrato impermeabile è rappresentato dai terreni del Flysch Numidico.

Nella Piana di Palermo è possibile riconoscere due acquiferi principali:

- uno superficiale, costituito di calcareniti organogene biancastre o giallastre, con intercalazioni sabbiose e/o sabbioso siltose, talora con livelli conglomeratici alla base e con occasionali o ripetuti livelli prevalentemente siltoso argillosi che determinano condizioni di semiconfinamento della falda idrica ospitata e a luoghi più livelli acquiferi. La permeabilità media si stima dell'ordine di $10^{-4} - 10^{-2}$ m/s;
- uno profondo, di natura prevalentemente carbonatica (calcari e dolomie mesozoiche), intercettato a diversa profondità con permeabilità media stimata tra 10^{-2} e 10^{-4} m/s.

In alcuni settori della Piana, tra i due acquiferi, si intercalano, con spessori variabili, terreni impermeabili del Flysch Numidico ($k = 10^{-10}$ m/s) o delle successioni argilloso sabbioso siltose pleistoceniche ($k = 10^{-6}$ m/s).

Dalle informazioni desunte dallo studio di massima della carta idrogeologica, in scala 1:10.000, elaborata dal Comune di Palermo per il P.R.G. 2025., si evince che la superficie piezometrica si colloca a quote comprese fra 30 e 25 m s.l.m. (cfr. Allegato 4).

Considerando che la quota altimetrica del sito in esame è di 45 m s.l.m., ne discende che il pelo libero della falda acquifera si trova ad una profondità di circa 15 m dal piano di campagna.

4. RISCHIO IDROGEOLOGICO

Di seguito, sono state analizzate eventuali condizioni di rischio legate alle aree classificate a rischio idrogeologico nell'ambito del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), di cui al decreto A.R.T.A. Regione Siciliana, art.1 D.L. 180/98 convertito con modifiche dalla L.267/98 e ss.mm.ii.

Il sito rientra nel "bacino idrografico del Fiume Oreto (039) e delle aree territoriali tra il bacino del Fiume Oreto e Punta Raisi (040)" nei quali ricade il territorio di Palermo.

L'area oggetto dell'intervento non è interessata da fenomeni gravitativi che possano compromettere l'attuale stabilità del sito (cfr. Allegato 5).

Nello specifico il sito oggetto dello studio non rientra in aree a pericolosità e rischio geomorfologico e idraulico (cfr. Allegato 6 Allegato 7 e Allegato 8).

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

5.1 Premessa

Per la definizione delle azioni sismiche sugli edifici, le **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)** delineano e consigliano un approccio di tipo prestazionale per la progettazione delle strutture nuove e per la verifica di quelle esistenti; questo al fine di controllare il livello di danneggiamento della struttura a fronte delle sollecitazioni sismiche di intensità diversa che si possono verificare nel sito di riferimento.

La sollecitazione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base, in condizioni ideali del sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, che nelle NTC 2018 corrisponde ad un suolo di categoria A.

La pericolosità sismica di base, quindi, rappresenta l'elemento fondamentale di conoscenza per la determinazione delle sollecitazioni sismiche sulle costruzioni.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono a quelle effettive, è necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2, capitolo 3, Azioni sulle Costruzioni, delle NTC 2018).

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite al punto 3.2.2 nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

5.2 Prospezioni in sito, tecniche d'indagine

Per caratterizzare sismicamente i terreni di fondazione del sito in oggetto è stata eseguita un'indagine sismica del tipo passivo mediante analisi di microtremori, per la determinazione del parametro velocimetrico $V_{s,eq}$.

È stata effettuata una registrazione sismica tipo HVSR di microtremore ambientale, denominata “Levill House, Università HVSR-1”.

La tecnica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise), cioè la vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Il metodo non necessita di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il vento, la pioggia, il traffico veicolare, e comunque qualsiasi fonte in grado di produrre vibrazioni sulla superficie del suolo. Pertanto le acquisizioni di sismica passiva difficilmente vengono “sporcate” da interferenze esterne poiché sfruttano come sorgente quella porzione del segnale sismico che per altre tecniche è un disturbo. Tali caratteristiche le rendono molto efficaci ed utilizzate in ambiente urbano anche perché non richiedono stendimenti invasivi in quanto l'apparecchiatura occupa uno spazio assai limitato ed è sufficiente un solo operatore; hanno inoltre il vantaggio di estendere la profondità d'investigazione fino ad oltre 100 metri. In questa fase l'indagine con sismica passiva è stata scelta perché attraverso l'analisi dei rapporti spettrali risulta molto utile per l'individuazione del substrato sismico nelle problematiche legate alla risposta di sito dovute ad amplificazioni locali delle onde sismiche. Tali condizioni sono in generale da imputare alla presenza di coltri di copertura poco addensate su un substrato rigido ed a particolari condizioni topografiche. Quindi il quadro stratigrafico che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza; per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle soprastanti e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

L'indagine è stata condotta con un tromografo digitale modello Micromed Tromino, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente (UP-DOWN), senza cavi esterni per l'acquisizione del rumore sismico. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Si è proceduto pertanto al posizionamento dell'apparecchiatura Tromino, ubicata come indicato in Fig.3.

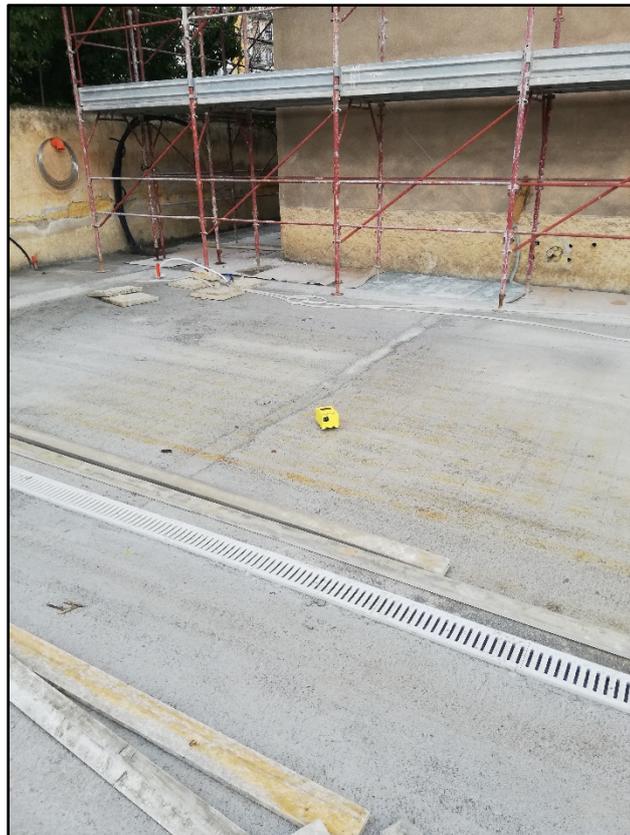


Figura 3 – Ubicazione della prospezione sismica passiva

5.3 Cenni storici e stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Dai primi studi di Kanai in poi (1957), diversi metodi sono stati proposti per estrarre informazioni relative al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella del rapporto spettrale tra le componenti del moto orizzontale e verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati caratterizzati da una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale). In un sistema costituito da uno strato tenero (es. coperture) sovrastante un semispazio rigido (bedrock), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti:

$$\lambda = n 4 H [1]$$

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla legge del “quarto di lunghezza d'onda”:

$$f_r = V_s / 4 H [2]$$

L'equazione 2 permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di microtremore che fornisce f_r , nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa. L' HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle principali frequenze di risonanza del sito da edificare.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di corpo P o S (body wave) e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh oltre che di Love; tali onde sono prodotte da interferenza costruttiva delle body wave ed in particolare la velocità delle onde di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S (differenza di circa il 5%).

Per quanto detto la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [2].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- a) il contenuto in frequenza
- b) la risposta strumentale
- c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è di solito più complessa.

Innanzitutto, il modello di strato piano al di sopra del bedrock non è sempre applicabile, possono esser presenti eterogeneità laterali importanti, ed infine la topografia può non essere piana.

L'inversione delle misure di microtremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

Come già citato, a partire da una misura di frequenza di risonanza, tramite l'equazione 2, è possibile ottenere una stima delle Vs delle coperture, a patto che sia nota la profondità dello strato che la genera, o viceversa.

L'equazione 2 vale però solo nei sistemi costituiti da monostrato+bedrock mentre nei casi multistrato è necessario ricorrere a modelli più complessi, basati sulla propagazione delle onde di superficie (Scherbaum *et al.* 2003; Ohrnberger *et al.* 2004; Parolai *et al.* 2006; Castellaro e Mulargia 2009a).

Condizione necessaria per trasformare una curva H/V in un profilo di Vs è il possesso di un vincolo, che normalmente è la profondità di un contatto tra litologie diverse, noto da prove penetrometriche, sondaggi o trincee esplorative.

In assenza di qualsiasi vincolo esistono infiniti modelli (cioè combinazioni, Vs-H) che soddisfano la stessa curva H/V.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti.

5.4 Procedura e analisi dei dati

I dati raccolti sono stati elaborati, per ogni punto di misura e per ognuna delle tre componenti del moto, eseguendo l'analisi spettrale del segnale per evidenziare la distribuzione in frequenza del noise.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. Le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con i seguenti parametri:

- a) larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s;
- b) liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- c) rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2;

d) rimozione manuale di eventuali transienti “rumore” ancora presenti.

2. Le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Per l’elaborazione finale è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME, acronimo di Site Effect Assessment Using Ambient Excitations, un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di micro-zonazione sismica attraverso le misure del noise ambientale.

Per quel che riguarda le condizioni operative è opportuno evidenziare che in ambiente urbano è molto difficile posizionare lo strumento su siti non pavimentati. Questo comporta che la pavimentazione è più rigida del terreno sottostante; la conseguenza è un fenomeno d’inversione della velocità delle onde di taglio. Tale evenienza può condizionare le curve del rapporto spettrale H/V se il terreno naturale al di sotto della pavimentazione artificiale ha velocità sismiche inferiori, come avviene nella maggior parte dei casi. In generale l’effetto è un decremento del rapporto H/V al di sotto dell’unità su un ampio range di frequenze che può “nascondere” e/o attenuare l’ampiezza di eventuali picchi del rapporto H/V, significativi di un sensibile contrasto d’impedenza sismica.

In tal caso è comunque sempre possibile identificare i picchi del rapporto H/V analizzando le singole componenti dello spettro; infatti la deamplificazione del rapporto H/V è causata da un decadimento dello spettro delle componenti orizzontali mentre la componente verticale è in generale meno influenzata.

5.5 Elaborazioni e risultati dell’indagine

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, si è adottato l’approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s). Ciò è stato possibile, poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono riconducibili alle categorie indicate nella Tab. 3.2.II, capitolo 3, Azioni sulle Costruzioni, punto 3.2.2 delle NTC 2018.

In fig.4 è riportato il grafico degli spettri delle singole componenti del moto; si nota che dalle alte frequenze fino a 4 Hz le componenti orizzontali subiscono un decadimento a causa dell’effetto di inversione dovuto alla pavimentazione rigida in cemento. Pur tuttavia è possibile individuare un minimo locale nella componente verticale alla frequenza di circa 18 Hz corrispondente ad un

moderato contrasto d'impedenza. Su tali basi è stata effettuata la modellazione stratigrafica ed il calcolo della $V_{S,eq}$ che ha restituito il risultato pari a 464 m/s.

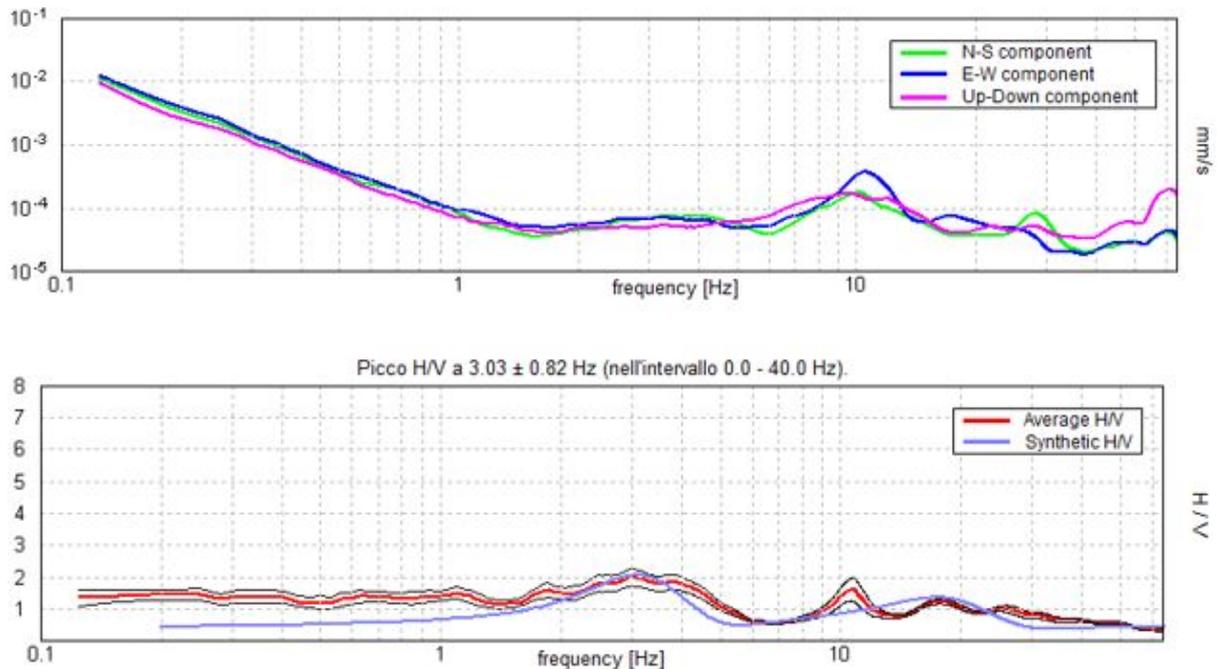


Figura 4 – Spettri delle singole componenti

Dall'elaborazione dei dati acquisiti in campagna, si evince che **non si è raggiunto il bed-rock sismico entro la profondità di 30 m dal p.c.**, pertanto la $V_{S,eq}$ coincide con il V_{S30} . Il calcolo ha restituito una velocità delle onde di taglio equivalenti pari a **464 m/s** che colloca i terreni del sottosuolo nella **Categoria di suolo di fondazione “B”**, secondo quanto riportato nella Tab. 3.2.II. Ai sensi del N.T.C. 2018, D.M. 17 gennaio 2018, punto 3.2.2, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dalla seguente espressione:

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

H_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

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

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

In Allegato 9 si riporta il report dettagliato dell'indagine eseguita e i seguenti grafici:

- Rapporto spettrale tra la componente orizzontale e verticale del rumore sismico (H/V)
- Grafico H/V Time history
- Grafico relativo agli spettri delle singole componenti N-S, W-E, Up-Down
- Grafico di comparazione tra curva sperimentale e curva di sintesi

Essendo la configurazione topografica sub pianeggiante, con riferimento alla Tab. 3.2.III, capitolo 3, Azioni sulle Costruzioni, punto 3.2.2 delle NTC 2018, **il sito oggetto di studio rientra nella categoria “T1”**.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i>
T2	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
T3	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$</i>
T4	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$</i>

6. CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Tenuto conto che la scelta dei parametri caratteristici dei terreni e l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali è compito del progettista (Capitolo 6, punti 6.2.2.4 e 6.2.2.5, Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), si forniscono i valori medi desunti dalla letteratura geologica e geotecnica esistente, essendo tali terreni ampiamente conosciuti.

Come detto i terreni del sottosuolo sono costituiti da biocalcareni giallastre a tessitura nodulare, sormontate da terre rosse residuali.

Sulla base del quadro litostratigrafico pertanto, si possono attribuire i seguenti valori dei parametri fisico-meccanici ai terreni di fondazione:

- Angolo di resistenza al taglio, valori compresi fra 25° e 30°
- Coesione drenata, valori compresi tra 0 e 20 kPa
- Massa volumica pari a 19 kN/m^3 .

7. CONCLUSIONI

Lo studio è stato condotto in ottemperanza alle **N.T.C. 2018**, D.M. 17 gennaio 2018, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

Il sito interessato dall'intervento è ubicato nella Piana di Palermo in prossimità della Facoltà di Ingegneria situata all'interno della città universitaria, in un'area pianeggiante, caratterizzata da buone condizioni di stabilità.

Con riferimento al P.A.I., (Piano di Stralcio di Bacino Idrogeologico, di cui al decreto A.R.T.A. Regione Siciliana, art.1 D.L. 180/98 convertito con modifiche con la L.267/98 e ss.mm.ii) il sito non rientra in area a rischio geomorfologico né a rischio idraulico per fenomeni di esondazione.

Dalle informazioni desunte dalla letteratura geologica esistente e dal sopralluogo effettuato nell'area di studio, i terreni del sottosuolo sono rappresentati dal complesso calcarenitico-sabbioso del Sintema di Marsala (MRS); in particolare nell'area affiora la litofacies calcarenitico-sabbiosa delle "Calcarenitidi Palermo" (MRS_d), costituite da biocalcareni giallastre a tessitura nodulare, sormontate d terre rosse residuali.

Dalle informazioni desunte dallo studio di massima della carta idrogeologica, in scala 1:10.000, elaborata dal Comune di Palermo per il P.R.G. 2025, si evince che la superficie piezometrica trova ad una profondità di circa 15 m dal piano campagna e pertanto non interferisce con la struttura di fondazione.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, in ottemperanza alle "Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. Ministero Infrastrutture e dei Trasporti del 17/01/2018, capitolo 3 Azioni sulle Costruzioni, punto 3.2.2, è stata eseguita un'indagine geofisica mediante prospezione sismica di tipo passivo che ha permesso di classificare i terreni di fondazione nella **Categoria B**.

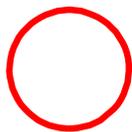
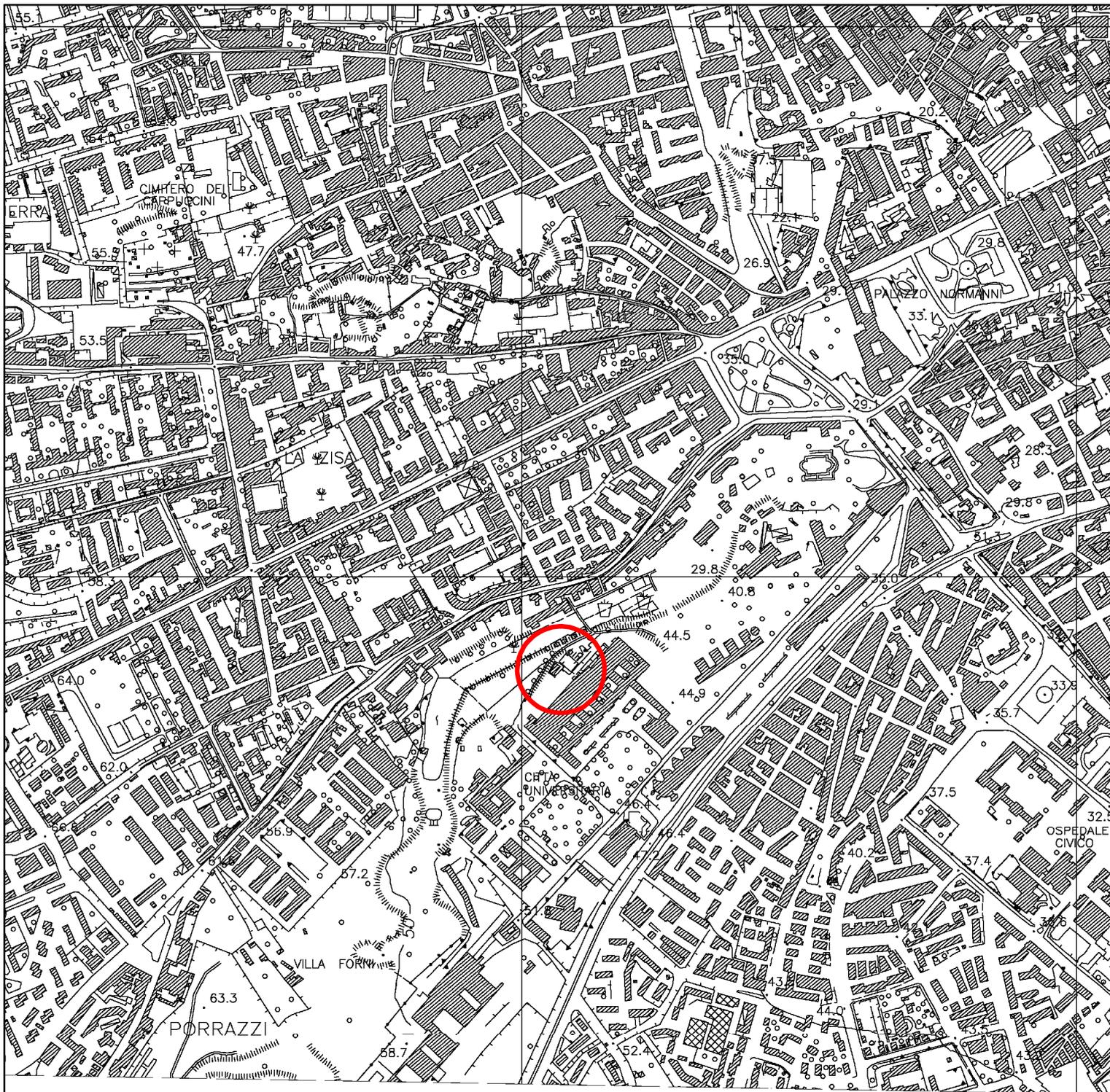
Palermo, 19/01/2021

Il Geologo
Dott. Marco Bommarito



ALLEGATI

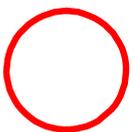
Stralcio C.T.R. Sezione 595050 "Palermo"



Area di studio

Scala 1:10.000

Stralcio Carta Ceologica P.R.G. Comune di Palermo

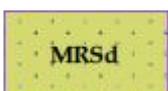


Area di studio

Scala 1:10.000

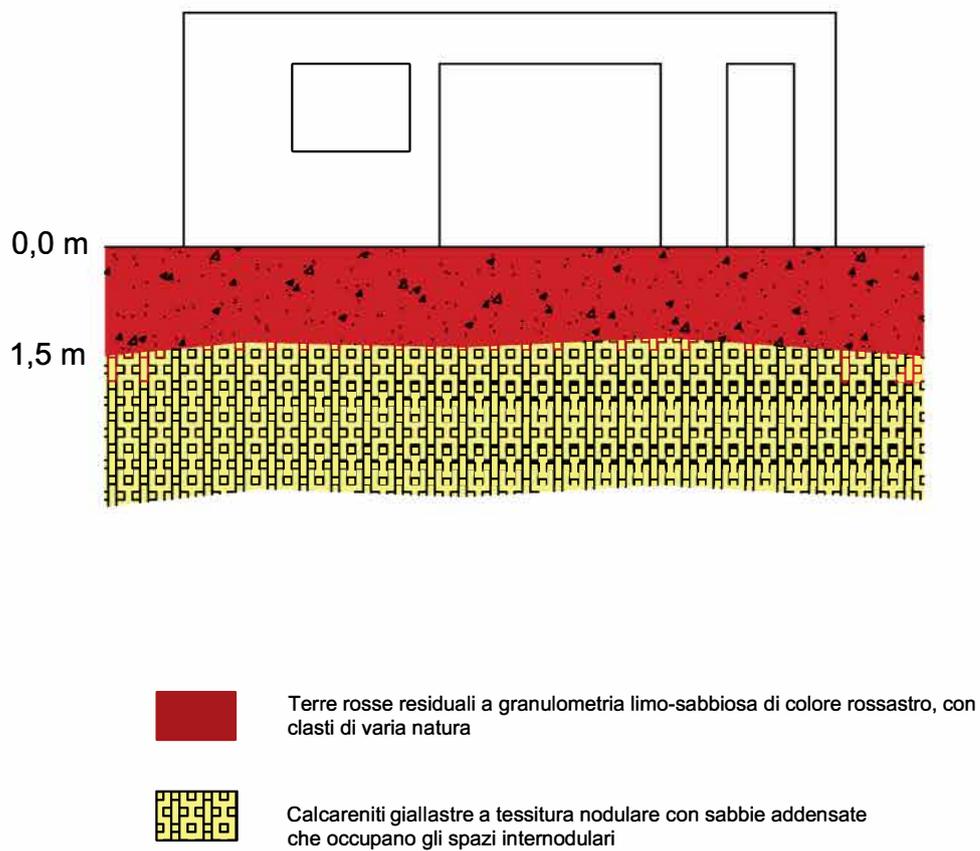


Coltre Eluvio - Colluviale

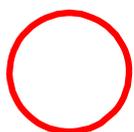
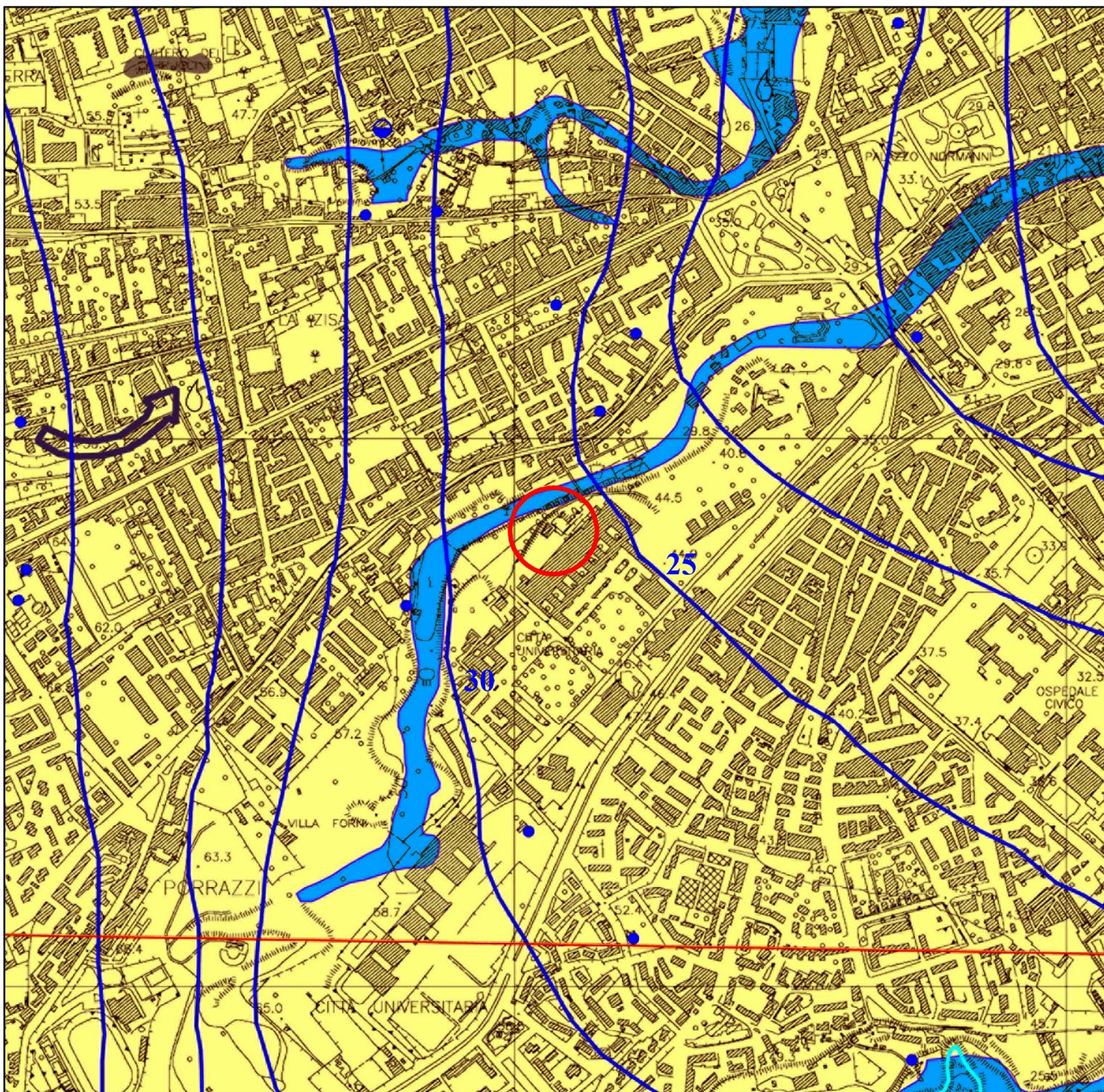


Calcareniti di Palermo - Calcareniti e sabbie bioclastiche e marne di colore giallo e biancastro

Sezione Geolitologica in scala 1:100

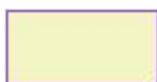


Stralcio Carta Idrogeologica P.R.G. Comune di Palermo



Area di studio

Scala 1:10.000

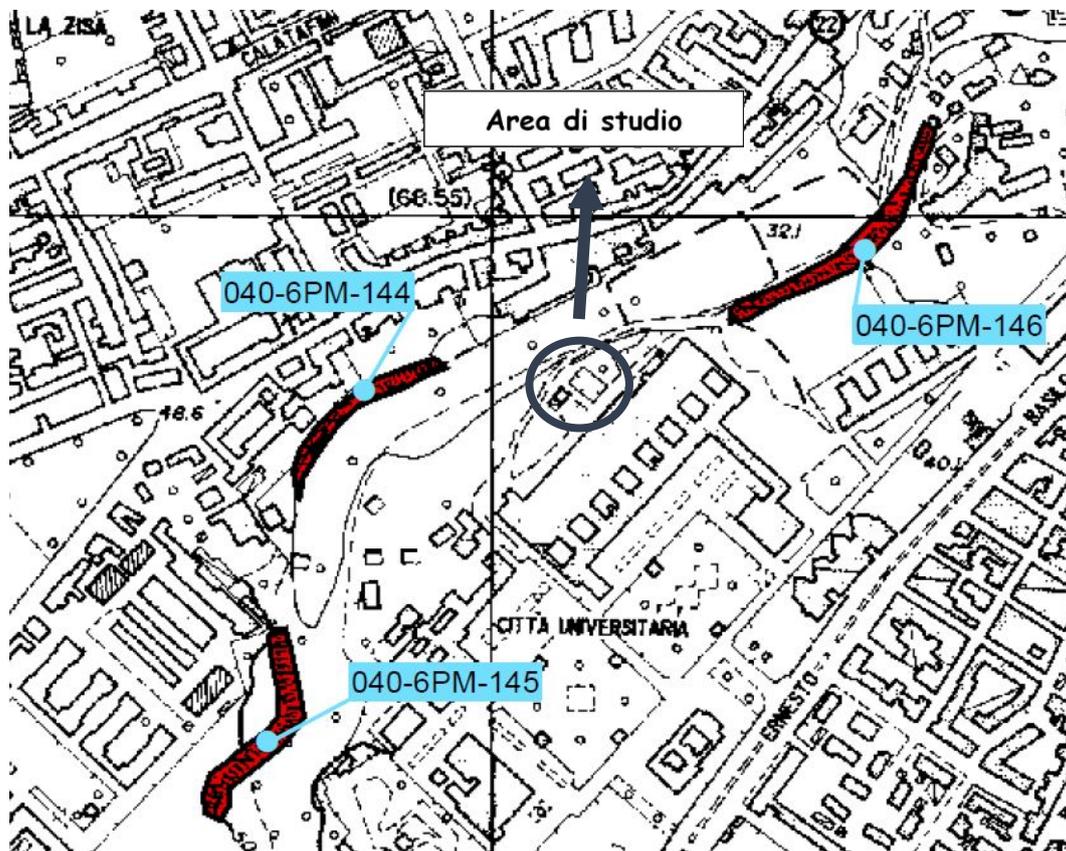
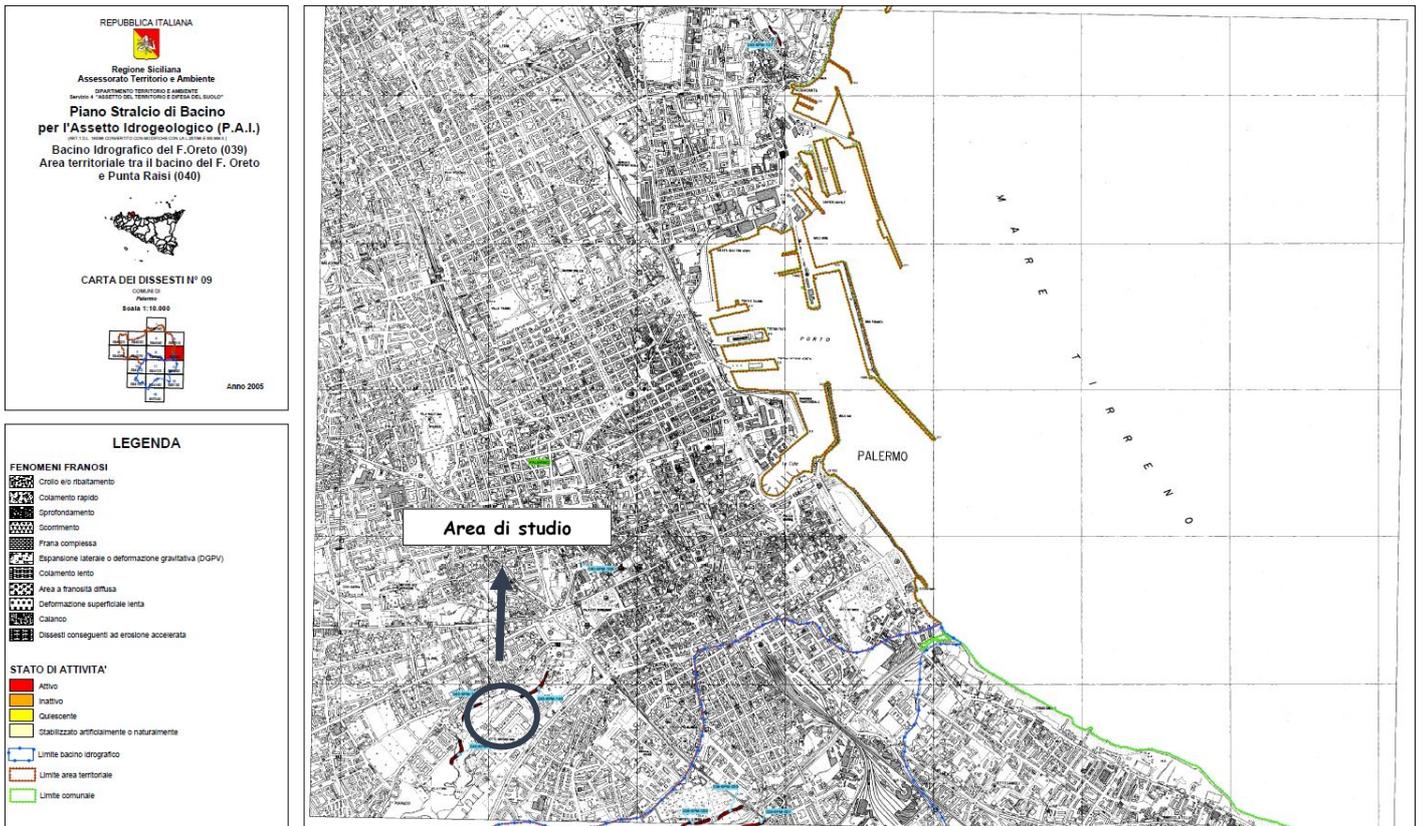


Complesso della calcareniti di Palermo

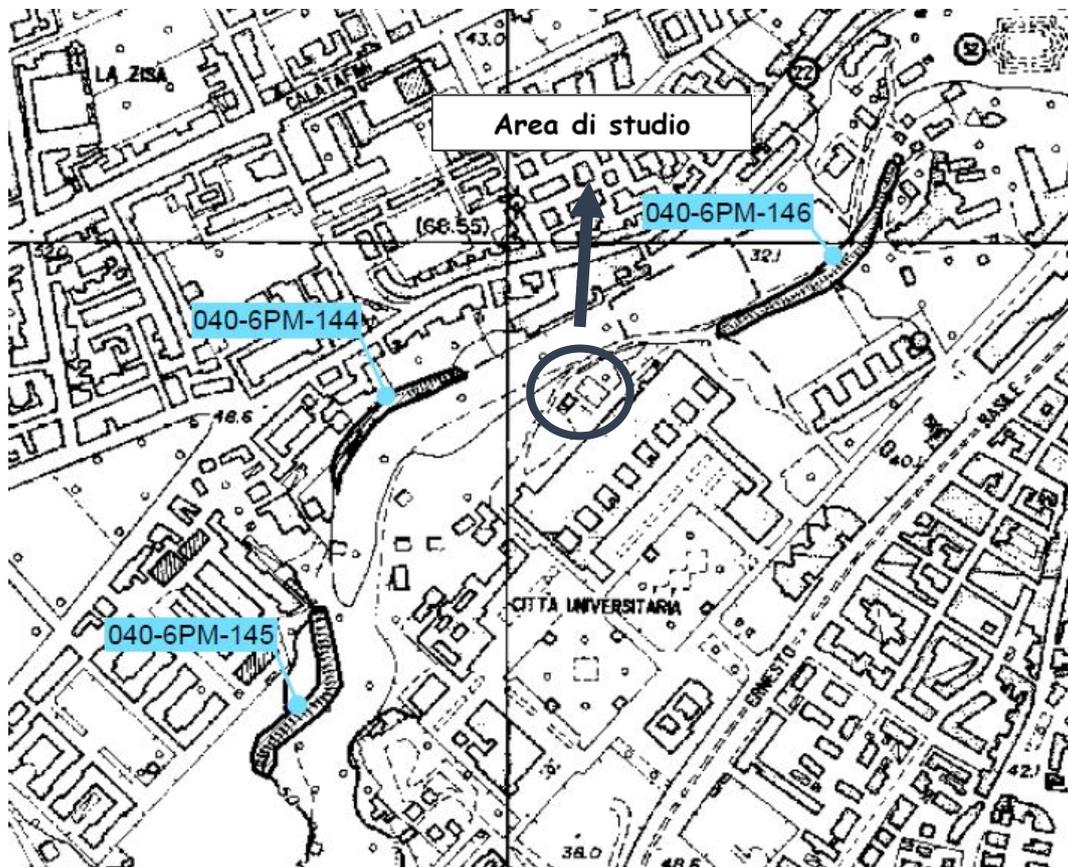
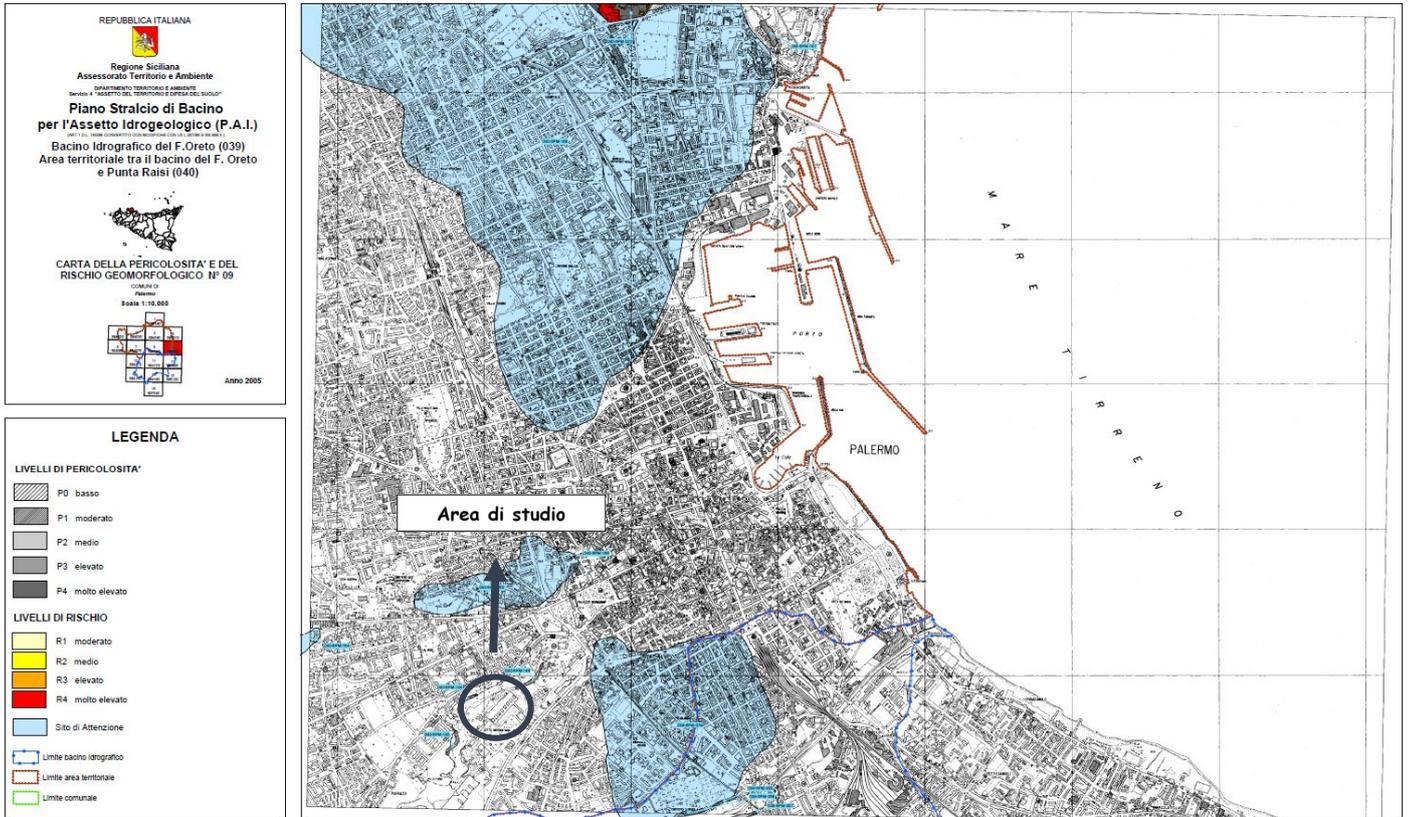


Isopezie in falda libera

P.A.I. Sicilia - Carta dei dissesti N° 09 (non in scala)



P.A.I. Sicilia - Carta della pericolosità e del rischio geonorfologico N° 09
(non in scala)



P.A.I. Sicilia - Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione N° 09
(non in scala)

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
SERVIZIO REGIONALE TERRITORIALE E DIFESA DEL SUOLO
Servizio di TUTELA DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO

**Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**
Bacino Idrografico del F. Oreto (039)
Area territoriale tra il bacino del F. Oreto
e Punta Raisi (040)

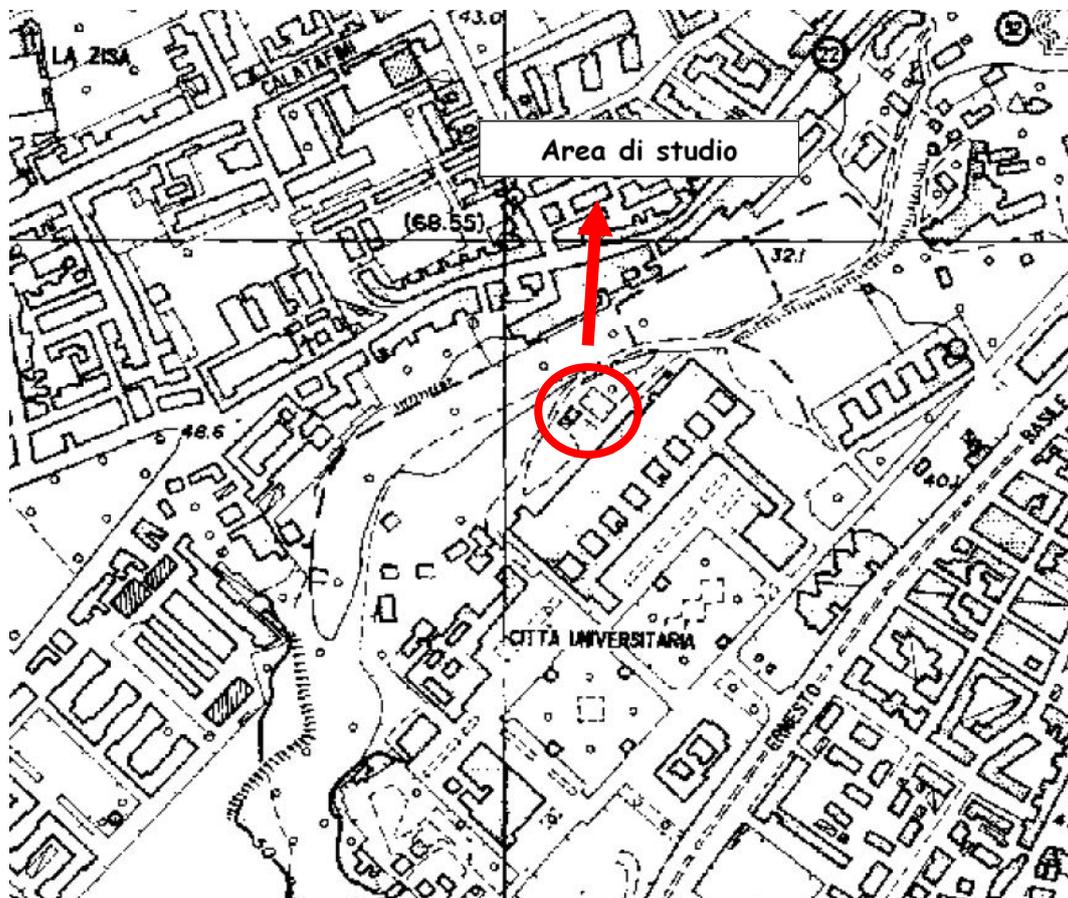
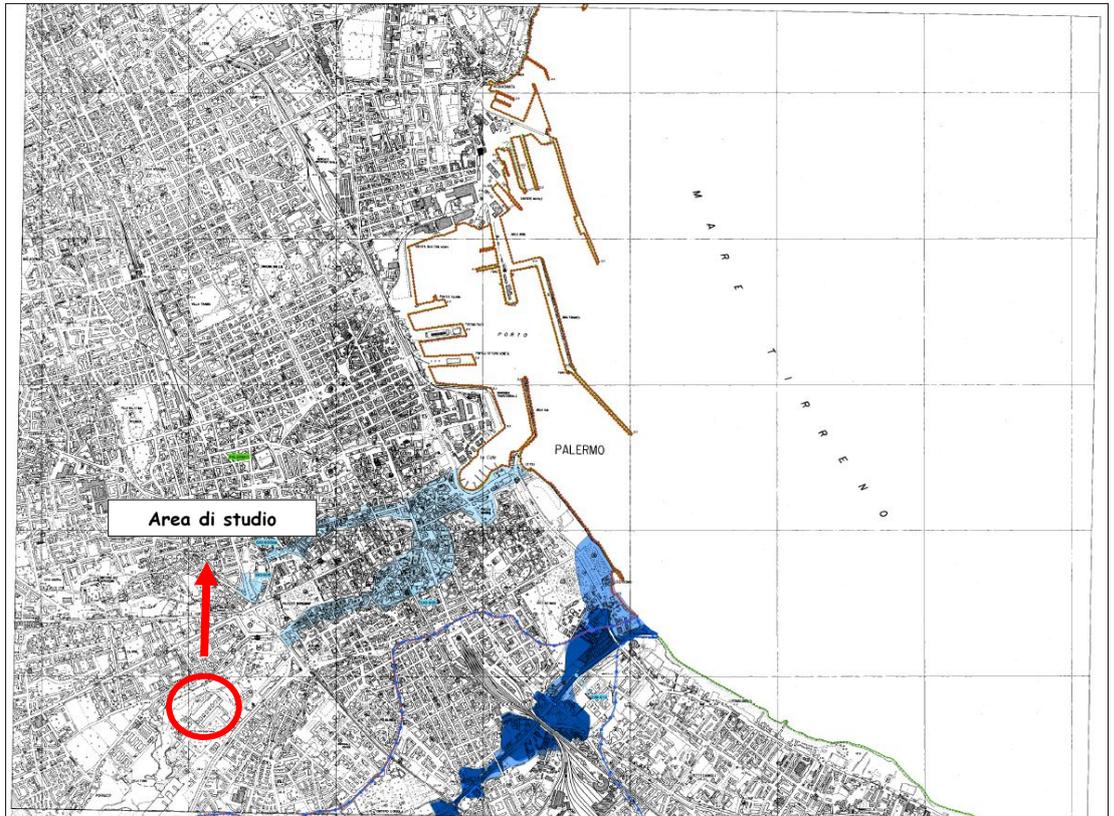


**CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA
PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 09**
COMUNE DI
Palermo
Scala 1:10.000

Anno 2006

LEGENDA

-  P1 Pericolosità moderata
-  P2 Pericolosità media
-  P3 Pericolosità elevata
-  P4 Pericolosità molto elevata
-  Sito di Attenzione
-  Limite bacino idrografico
-  Limite area territoriale
-  Limite comunale



P.A.I. Sicilia - Carta della rischio idraulico per fenomeni di esondazione N° 09
(non in scala)

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
SQUADRA DI INGEGNERI
Servizio di studio, progettazione e direzione dei lavori

**Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**
art. 17, comma 2, lett. a) del D.Lgs. n. 152 del 29/09/99

Bacino Idrografico del F. Oreto (039)
Area territoriale tra il bacino del F. Oreto
e Punta Raisi (040)



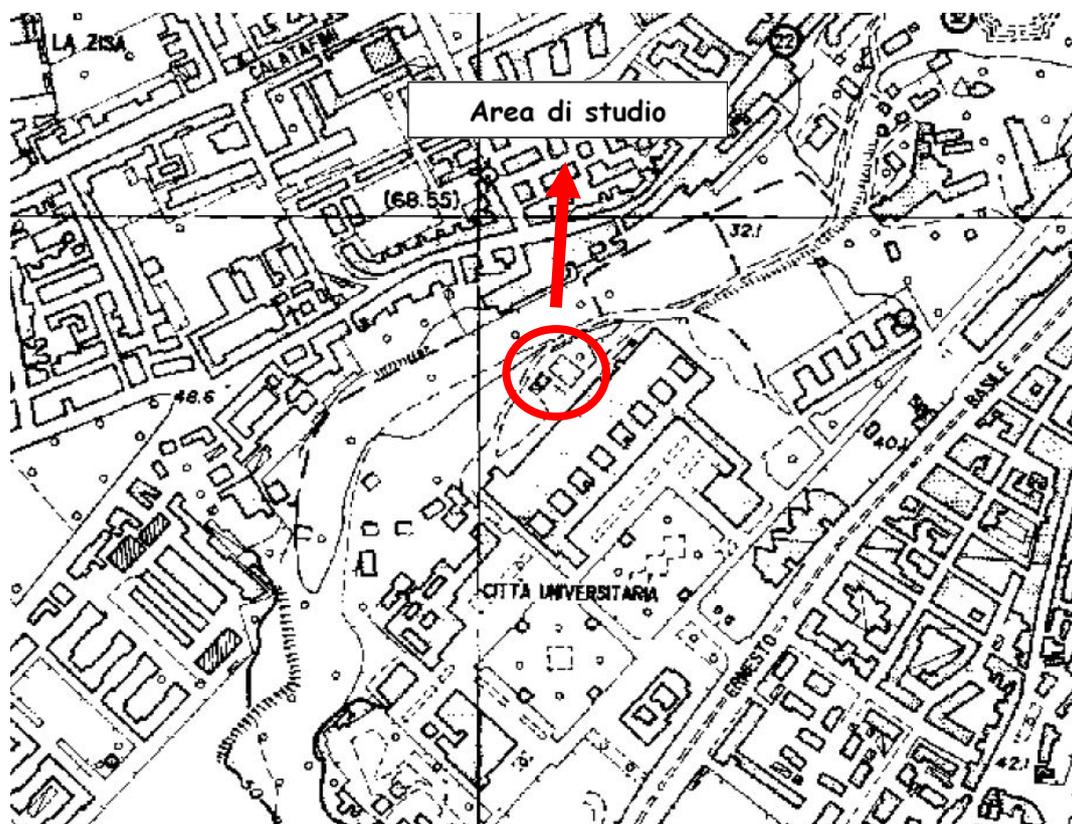
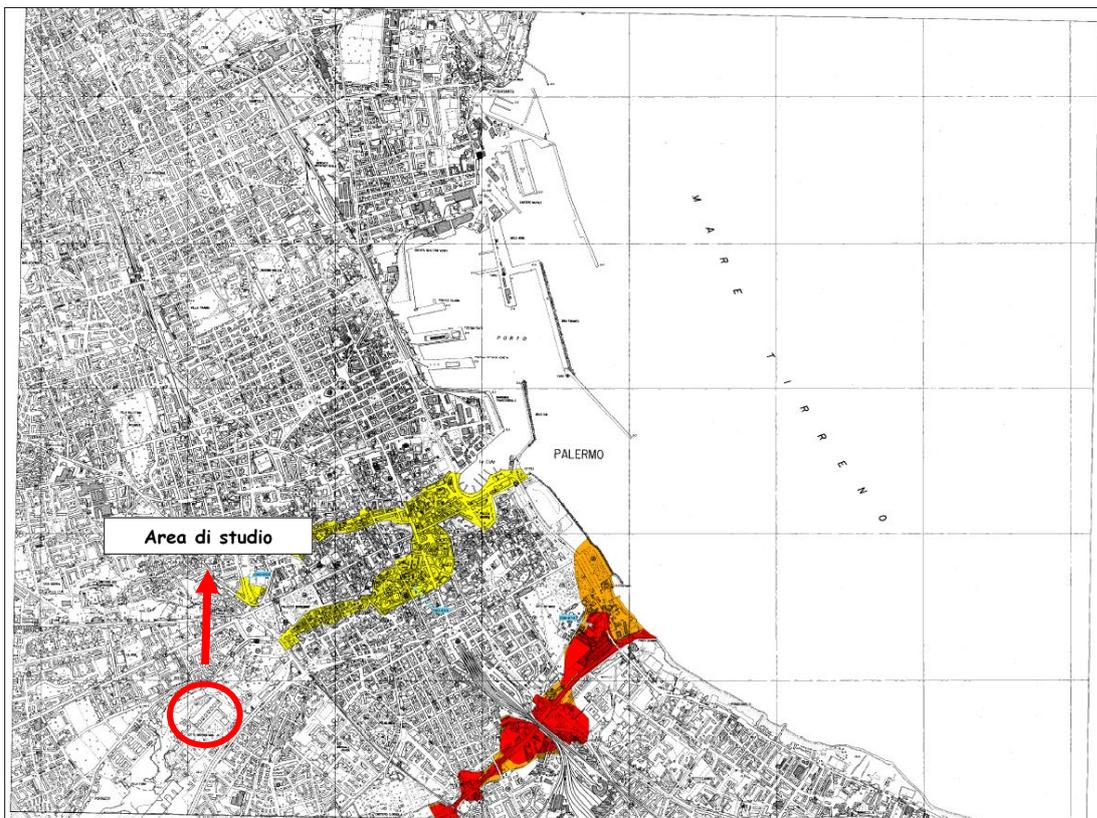
CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO
PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 09

Palermo
Scala 1:10.000

Anno 2006

LEGENDA

-  R1 Rischio moderato
-  R2 Rischio medio
-  R3 Rischio elevato
-  R4 Rischio molto elevato
-  Limite bacino idrografico
-  Limite area territoriale
-  Limite comunale



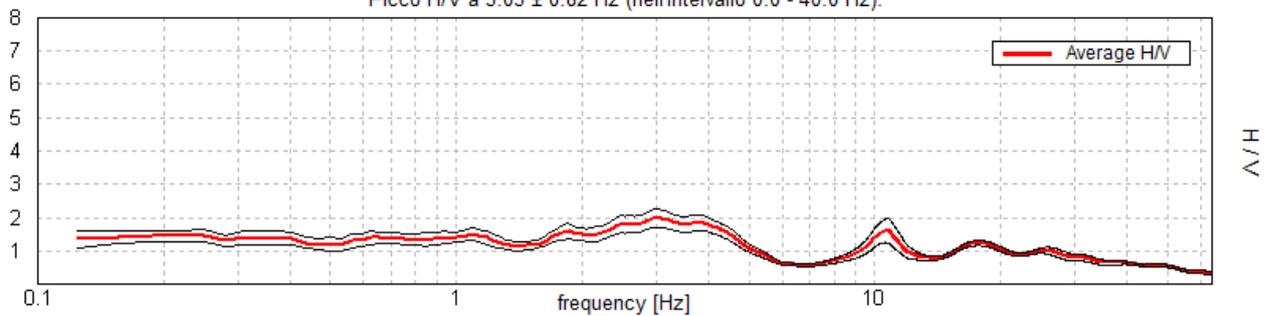
LEVILL HOUSE, UNIVERSITÀ HVSR-1

Strumento: TRZ-0076/01-10
 Formato dati: 16 bit
 Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 14/01/2000 10:34:05 Fine registrazione: 14/01/2000 10:50:04
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

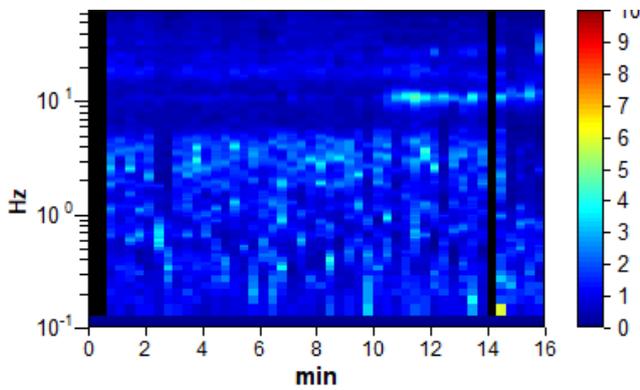
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

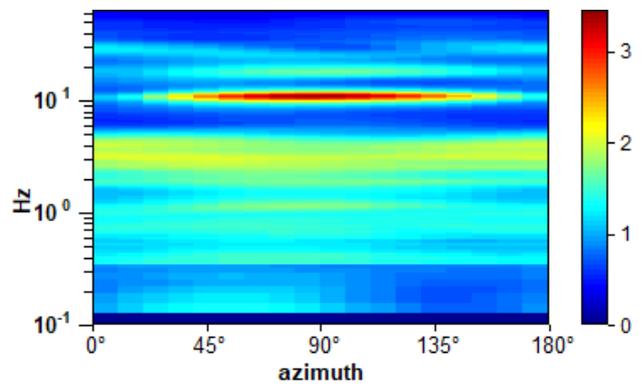
Picco H/V a 3.03 ± 0.82 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).



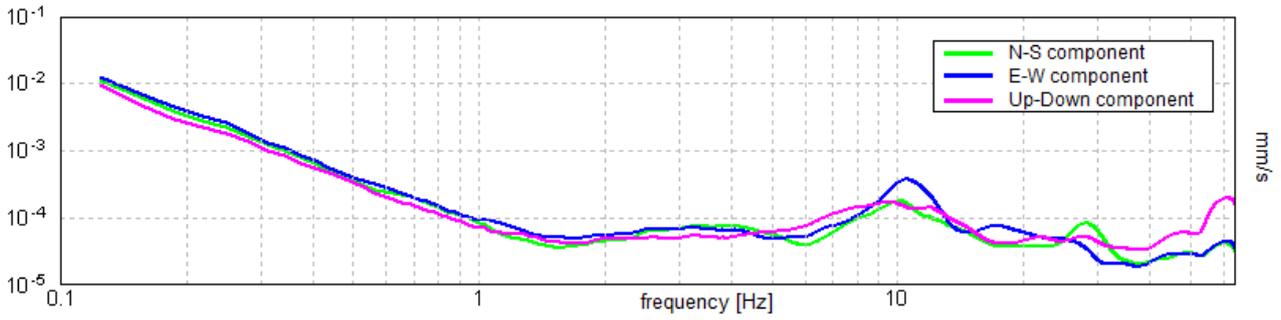
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

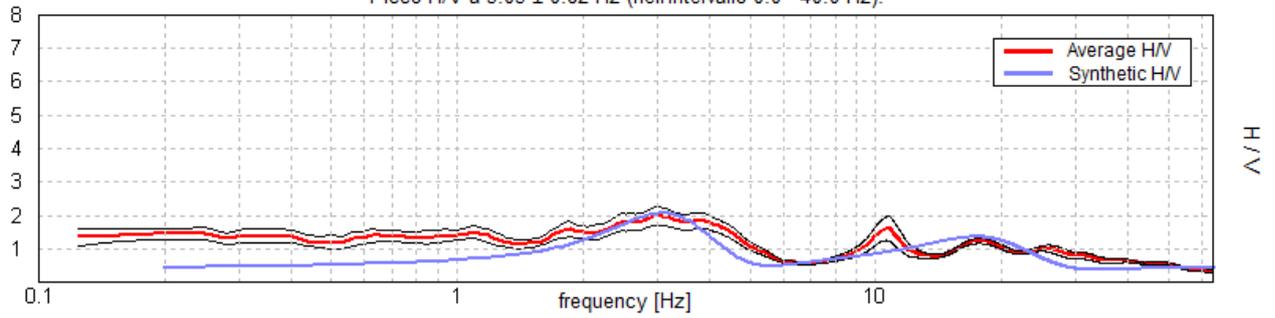


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



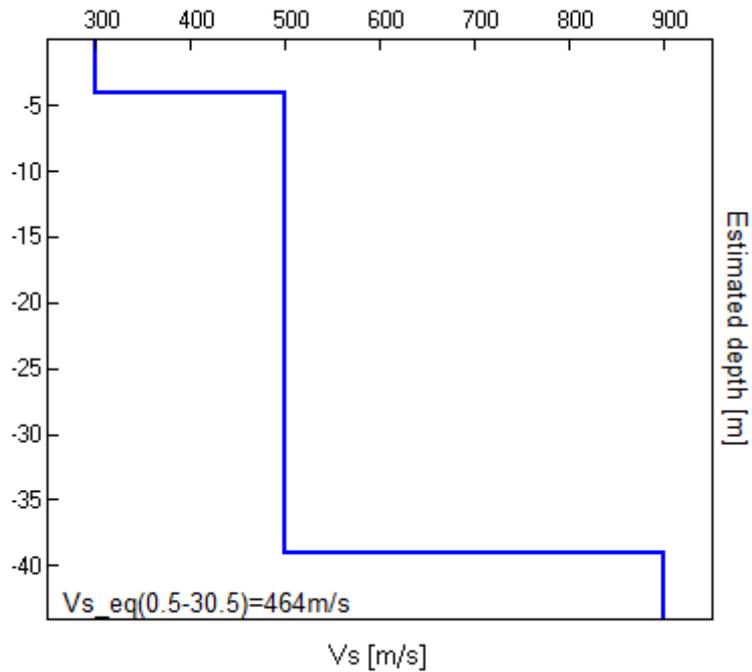
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 3.03 ± 0.82 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.00	4.00	300	0.42
39.00	35.00	500	0.42
inf.	inf.	900	0.40

$Vs_{eq}(0.5-31.0) = 464$ m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005.]

Picco H/V a 3.03 ± 0.82 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.03 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2728.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 146	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.98 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.27176 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.82377 < 0.15156$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2721 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20