

COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO

REGIONE MARCHE

ASCOLI PICENO



PROPOSTA DI  
FINANZA DI  
PROGETTO PER LA  
RIQUALIFICAZIONE  
DEL CENTRO  
SPORTIVO  
NATATORIO  
P. GREGORI  
(art.183 Dlgs 50/2016 com.15)

## PROGETTO DI FATTIBILITA'

RELAZIONE GEOLOGICA  
ED IDROGEOLOGICA

TAVOLA:

**ET.03**

SCALA:

-

DATA:

GEN.2017

### I PROPONENTI



**BEANI ANNIBALE**

Costruzioni | Infrastrutture | Opere stradali



**...Nuovo Mondo Acquatlo** SSD ARL

Via Gaetano Spalvieri, 12 • 63100 Ascoli Piceno  
P.IVA e C.F. 02293090441



**sport smile** STI  
unipersonale

**Mida S.r.l.**  
Unipersonale

### I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Marco SCIARRA

Dott. Ing. Sergio CIAMPOLILLO

REGIONE MARCHE

PROVINCIA DI ASCOLI PICENO

COMUNE DI SAN BENEDETTO DEL TRONTO

Progetto : "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016

Studio geologico-idrogeologico-sismico con indicazioni geotecniche, ricostruzione stratigrafica, valutazioni sismiche con definizione della categoria di suolo, Vs30, frequenza di risonanza di sito, rischio sismico

Data : Dicembre 2016

Rif. Legs : D.M. LL.PP. del 11 marzo 1988; D.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i.; NTC 2008 e s.m.i..



**gae | studio**  
*geology architecture engineering*

Via Turati, 2 - San Benedetto del Tronto (AP)

Dott. Geol. Alessandro Mascitti – Ordine dei Geologi Regione Marche Sez. A N° 717 M.A.

Email: alessandromascitti@gmail.com - mob. +39.3497545862

rif. 30.2016



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	2
<b>2. UBICAZIONE</b>	4
<b>3. ANALISI P.A.I. (attualmente vigente)</b>	8
<b>4. VERIFICA VINCOLO IDROGEOLOGICO</b>	9
<b>5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	10
5.1 Tettonica	10
5.2 Idrogeologia	10
<b>6. RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	15
6.1 Parametri geotecnici	16
<b>7. VALUTAZIONI SISMICHE</b> ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ordinario n.30	18
7.1 Definizione ed analisi con il metodo HVSR : calcolo del VS30 e determinazione della Categoria di Suolo	24
7.2 Risultati dell'indagine sismica	27
7.3 Dettaglio categoria del suolo	33
7.4 Parametrizzazione Sismica Geostru PS	33
<b>8. CARATTERIZZAZIONE SISMICO-TETTONICA</b>	36
8.1 Mappa dei forti terremoti degli ultimi 150 anni	36
8.2 Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità di forti terremoti	37
8.3 Storia sismica Comune di San Benedetto del Tronto	40
8.4 Mappa interattiva pericolosità sismica da <a href="http://esse1-gis.mi.ingv.it/">http://esse1-gis.mi.ingv.it/</a> (ag)	41
<b>CONSIDERAZIONI FINALI</b>	44



## 1. PREMESSA

Il presente studio geologico-sismico con indicazioni geotecniche ai sensi delle NTC 2008, realizzato a corredo della **“Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell’impianto natatorio comunale”** all’interno del territorio comunale di San Benedetto del Tronto, intende fornire le caratteristiche geologiche dell’area e indicare i parametri geotecnici e sismici necessari alla definizione dell’interazione struttura-terreno alla luce degli interventi realizzandi.



In particolare il presente lavoro, che riguarda lo studio per la definizione del quadro litologico-litotecnico è stato articolato attraverso le seguenti fasi :

- a) Rilevamento ed acquisizione dei dati esistenti;
- b) Analisi PAI e vincolo idrogeologico;
- c) Reperimento e rielaborazione dati provenienti da campagne geognostiche limitrofe all’area di intervento in particolare con l’esecuzione :
  - c.1) N.1 sondaggio a carotaggio continuo S1 08062004 realizzato a circa 200m di distanza dall’area di intervento e rappresentativo della configurazione geologico-geomorfologica-stratigrafica del sito;
  - c.2) N.1 prova sismica HVSr 13042011 rappresentativa della configurazione geomorfologica del sito;
  - c.3) N.1 prova penetrometrica dinamica super pesante DPSH 13042011 realizzata sulla medesima fascia morfologica;
  - c.4) N.3 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1, S2, S3 e N.2 prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2 relative alla realizzazione del tratto della Superstrada Ascoli-Mare in svincolo sul Viale dello Sport;
- d) Ricostruzione stratigrafica e Caratterizzazione geotecnica dei luoghi;
- e) Valutazioni sismiche con definizione della categoria di suolo, dei parametri sismici e del Vs30, frequenza di risonanza del sito, rischio sismico.

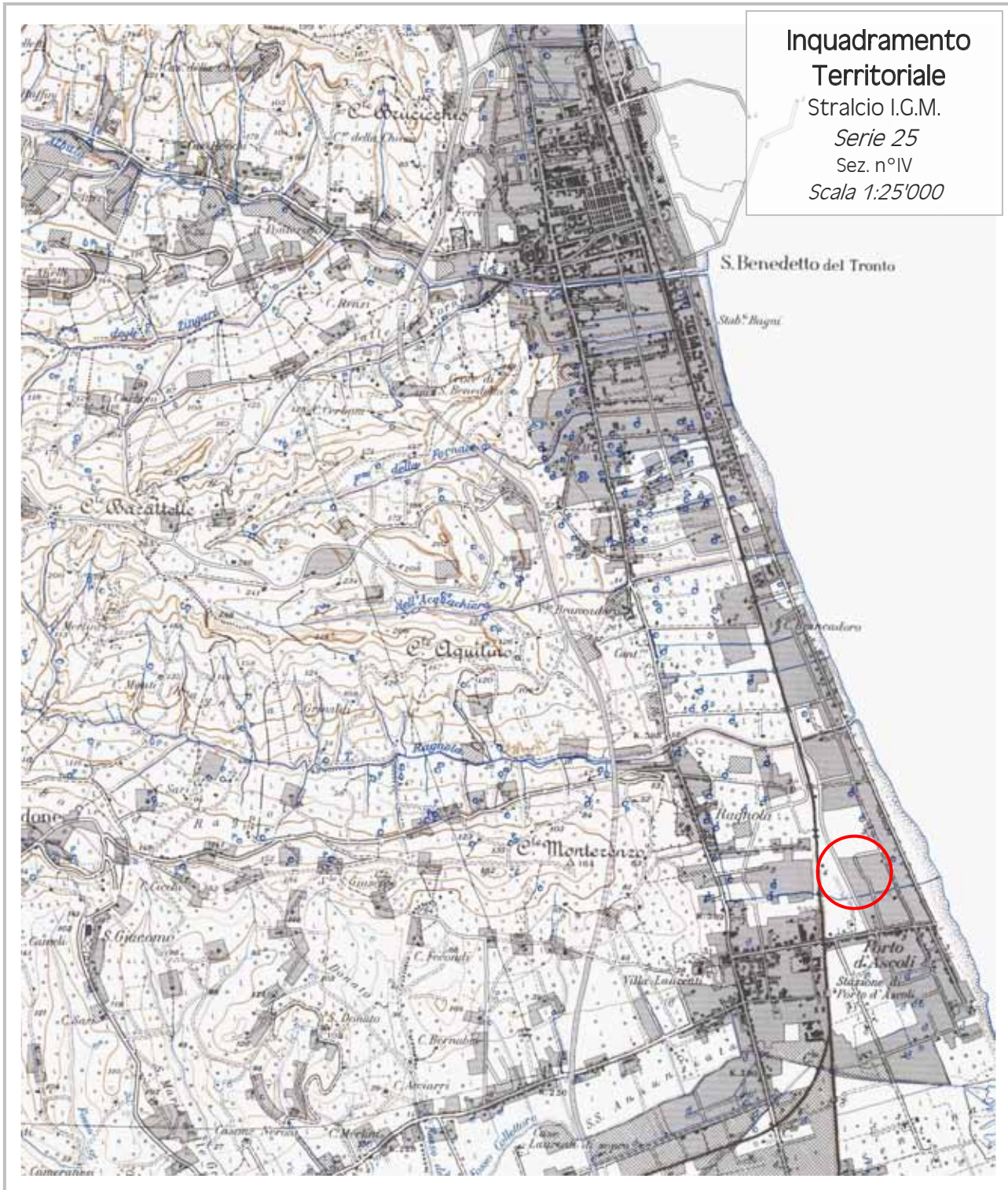
## Riferimenti di legge

- LEGGE del 18 maggio 1989, n. 183: *Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo Art.3; Art.17 commi 4/6-ter lett. b), c), d), f), l), m); Art.20 comma 2; Art.21 e segg.;*
- Parte III - Legge Regionale del 25 maggio 1999, n. 13 : *Disciplina regionale della difesa del suolo Artt.11, 13;*
- Parte IV – Legge del 11 Dicembre 2000, n. 365 : *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità idrogeologiche di settembre ed ottobre 2000; Artt.1/1-bis commi 3, 4, 5.D.M. LL.PP. 3 Marzo 1975: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;*
- D.M. LL.PP. del 11 marzo 1988: *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;*
- Circolare Ministero LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483: *Legge 2 febbraio 1974, n. 64; D.M. LL.PP. 11 MARZO 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione;*
- D.M. LL.PP. 9 Gennaio 1996 : *Norme tecniche per le costruzioni delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;*
- Circolare Ministero LL.PP. 9 gennaio 1996 n. 218/24/3: *Legge 2 febbraio 1974, n. 64; D.M. LL.PP. 11 MARZO 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica;*
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: *Norme tecniche relative ai - Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi -;*
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996: *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;*
- Circolare Ministero LL.PP. 4 luglio 1996 n. 156 AA.GG./STC.: *Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -;*
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 n. n.252 AA.GG./STC.: *Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -;*
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 n. 65/AA.GG.: *Istruzioni per l'applicazione delle - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996 -.*
- D.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 : *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i.;*
- D.G.R. n° 1046 del 29 luglio 2003 :*"Individuazione e formazione dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche".*
- **Eurocodice 7:** *Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.*
- **Eurocodice 8 :** *Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.*
- D.M. 14.01.2008 NUOVE *"Norme Tecniche per le Costruzioni"* NTC 2008 e s.m.i..



## 2. UBICAZIONE

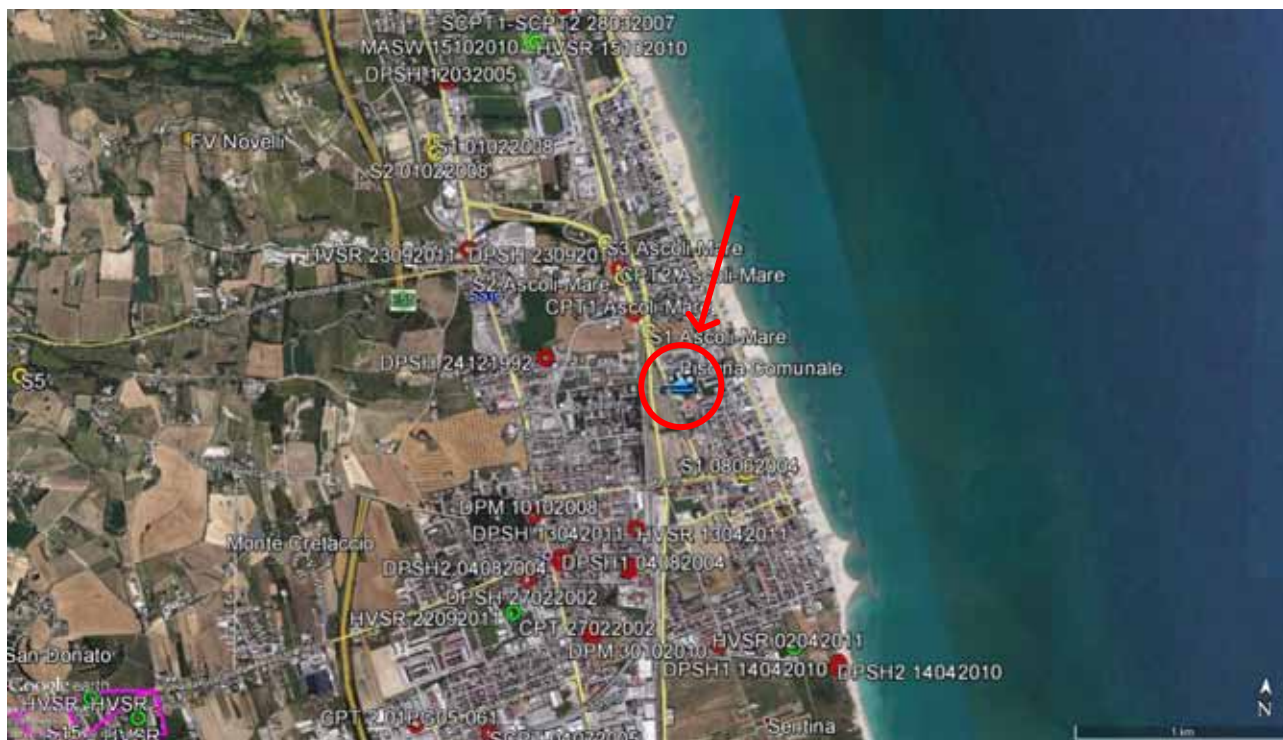
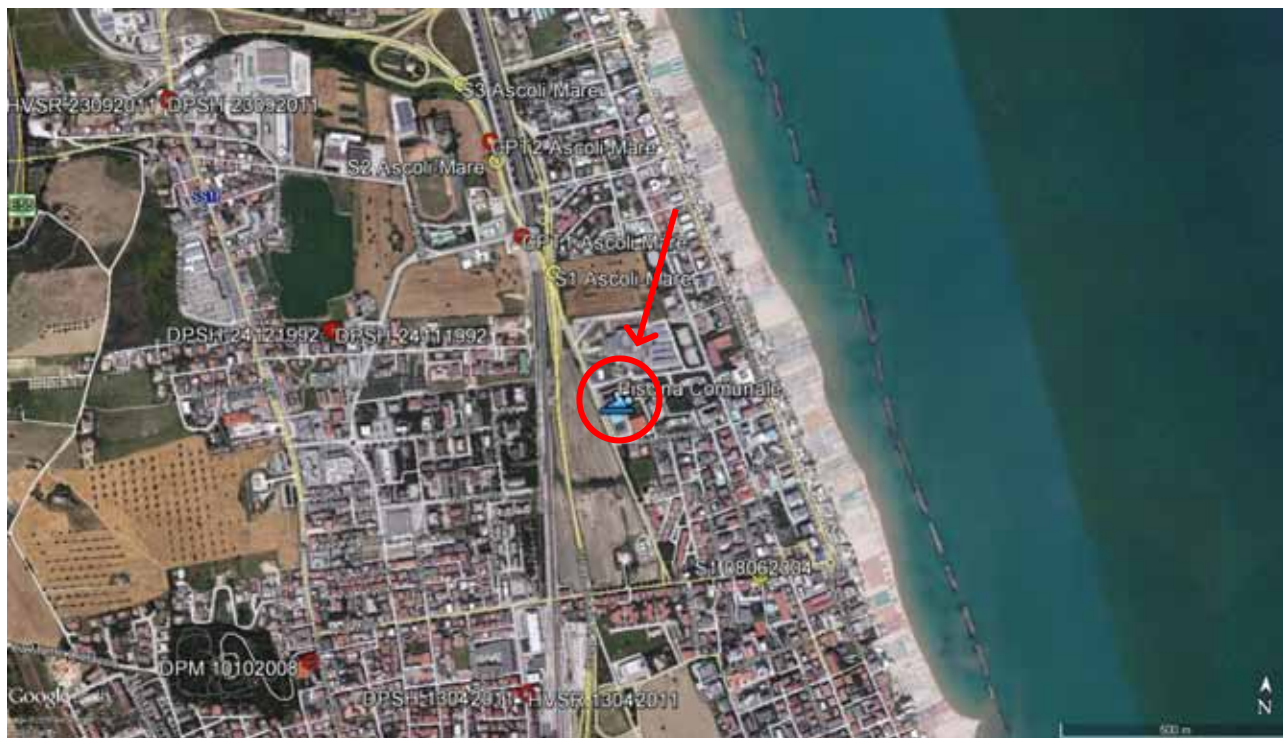
L'area in esame è inquadrabile topograficamente sulla Carta Topografica d'Italia I.G.M. Serie 25 – Edizione 1 – Sezione IV - tavoletta 1:25000 "SAN BENEDETTO DEL TRONTO" quadrante I° N.E. del Foglio n.° 133, nonché sulla cartografia 1:10.000 C.T.R. Carta Tecnica Regionale della Regione Marche al Foglio 327070 e su cartografia tecnica comunale sezione 327070\_N in scala 1:2'000 ed ubicabile sulla fascia alluvionale-costiera, ad Est della Superstrada Ascoli-Mare e della linea FFSS, all'interno del Comune di San Benedetto del Tronto.



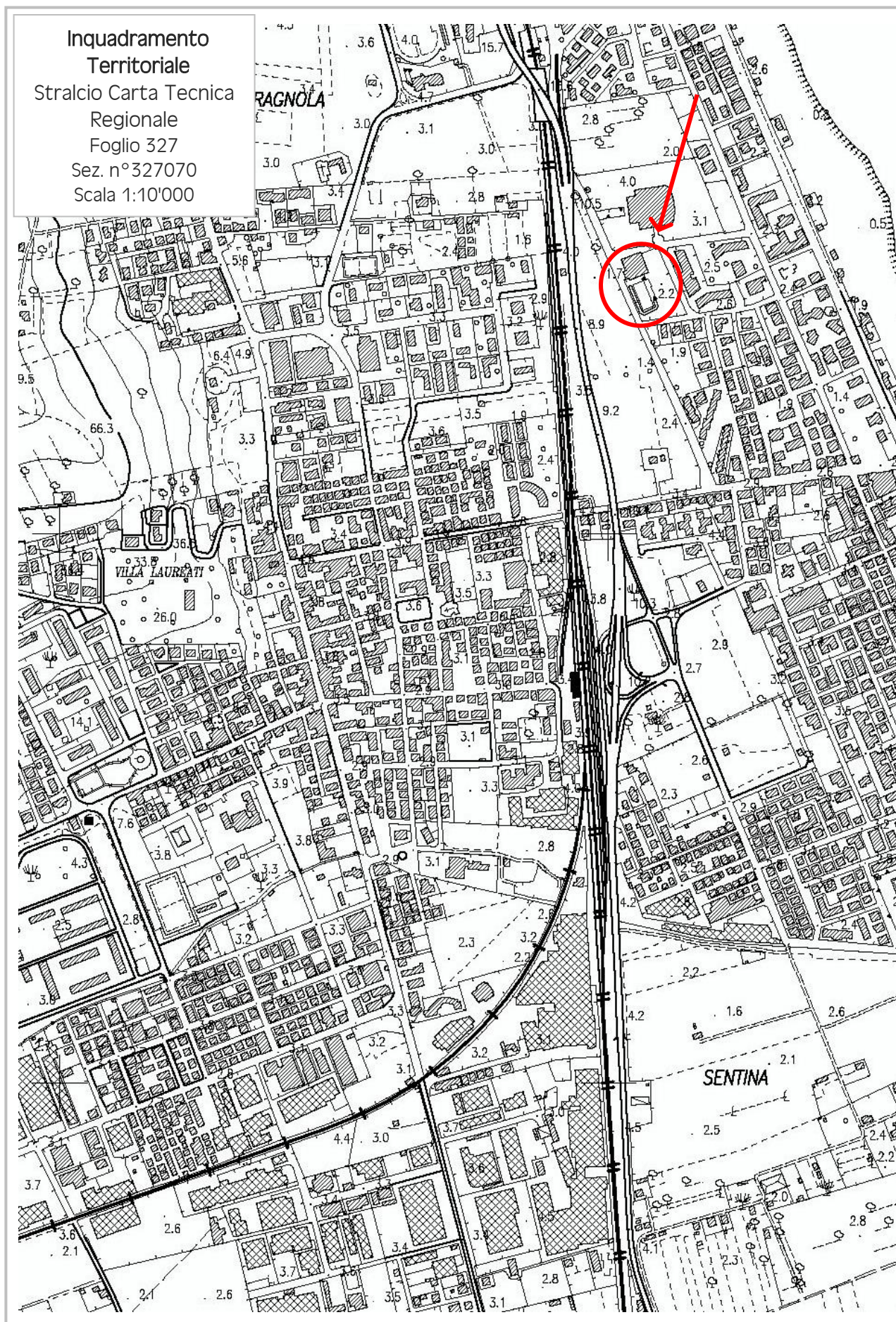


Inquadramento  
Territoriale

IMMAGINI SATELLITARI  
da Google Earth



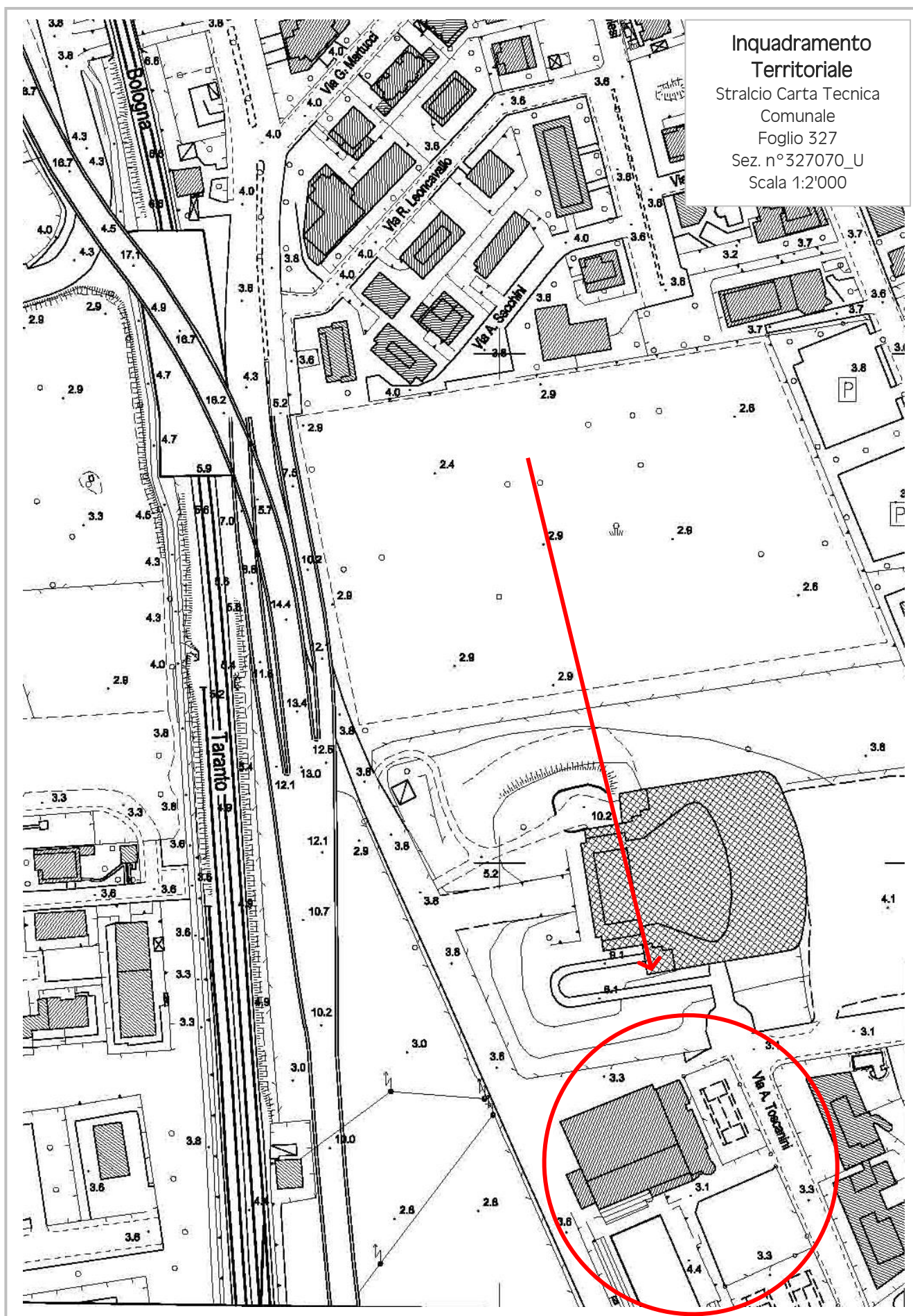




Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016



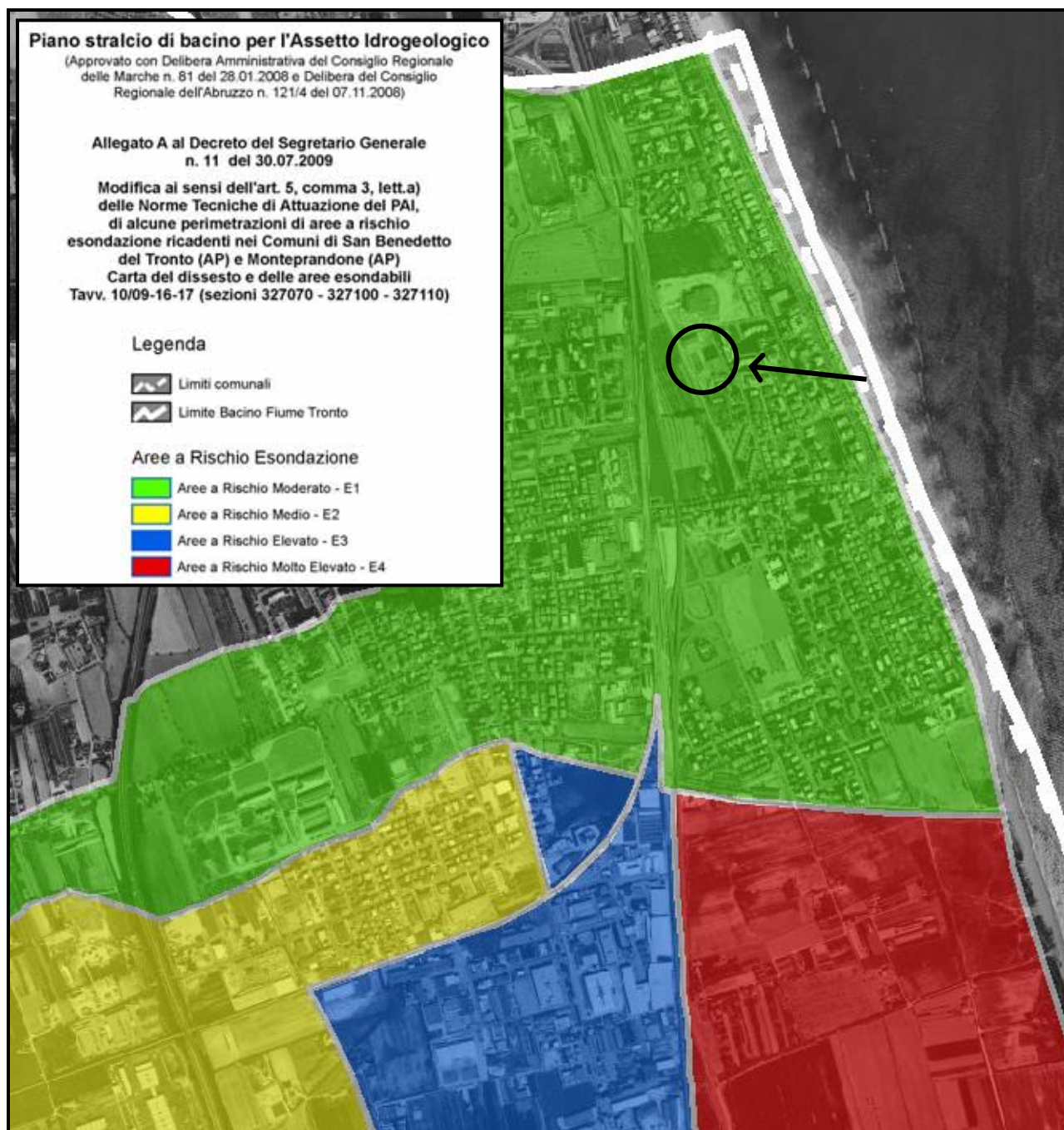


Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016



### 3. ANALISI P.A.I. (attualmente vigente)



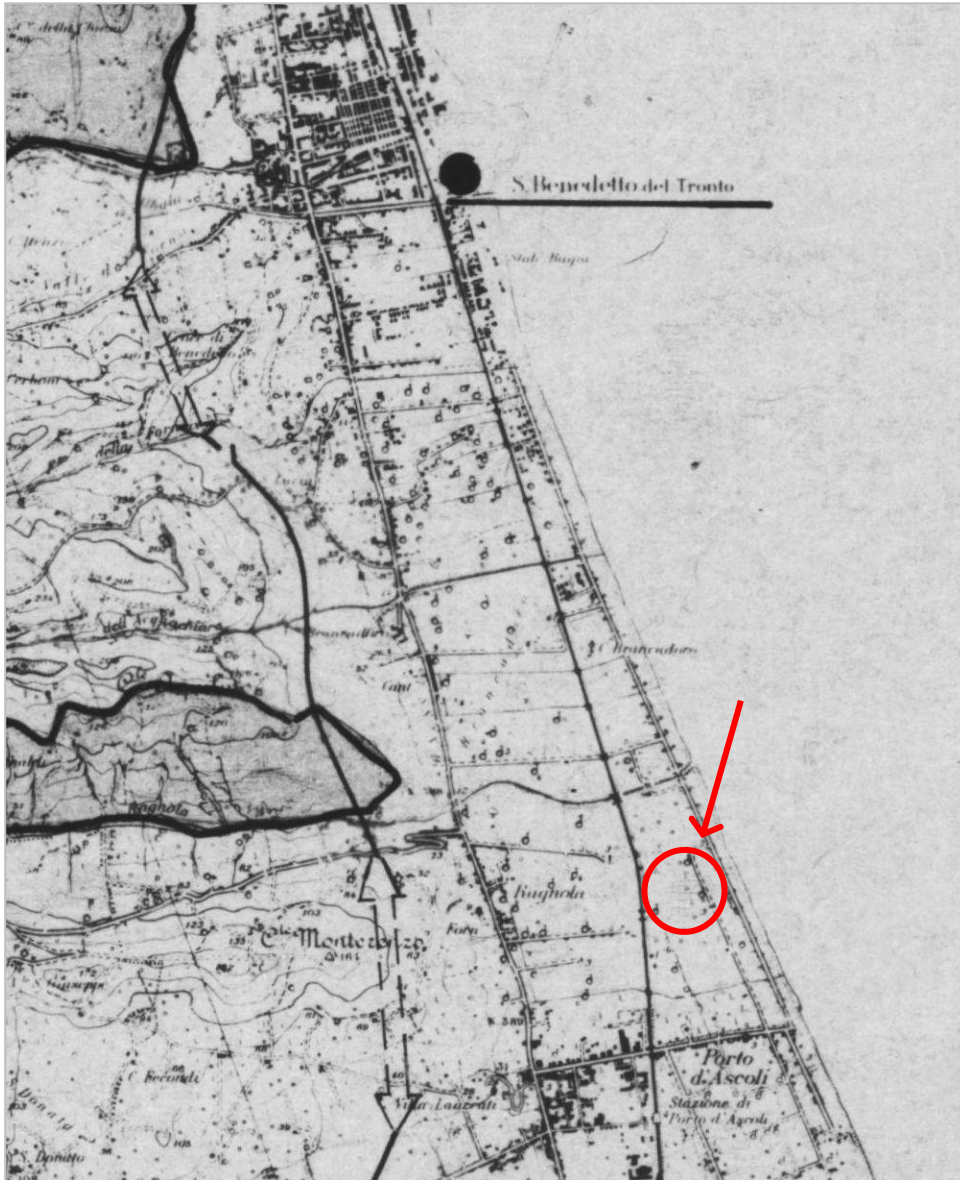
VINCOLI DAL P.A.I. (Piano Interregionale per l'Assetto Idrogeologico) : l'area in studio è contenuta nella tavola grafica - in scala 1:10'000 - **Tavv. nn. 10/09-16-17 - ADOZIONE DEFINITIVA** che costituisce uno degli elaborati della "Carta del rischio Idrogeologico del Bacino del Fiume Tronto". La carta del rischio idrogeologico è quindi articolata nel caso specifico per i differenti livelli di pericolosità dei fenomeni esondativi presenti o limitrofi all'area di studio. Dall'esame della cartografia di riferimento del P.A.I. l'area di progetto è ricadente in area P.A.I. a rischio di esondazione medio E1. Per tali aree valgono le seguenti prescrizioni dettate nelle NTA del PAI vigente dall'Articolo 12:

- Le aree a rischio **E1** sono individuate ai fini della predisposizione dei programmi di previsione e prevenzione, nonché dei programmi di emergenza, da parte degli Enti competenti ai sensi della Legge 225/92 e succ. mod ed integ.

L'intervento risulta pertanto compatibile con le NTA del Piano Interregionale per l'Assetto Idrogeologico del fiume Tronto.



#### 4. VERIFICA VINCOLO IDROGEOLOGICO



VINCOLO  
IDROGEOLOGICO (Regio  
Decreto N°3267 del  
30-12-1923, Art.1) Sulla  
base della cartografia  
1:50'000 con riduzione  
fotomeccanica in scala  
1:25'000 (autoriz.  
N°1076 del 17-02-  
1977) si riporta lo  
stralcio dell'area di  
interesse con le zone  
sottoposte al vincolo  
idrogeologico in data  
01.04.1983 .

Come si evince l'area di  
intervento NON ricade  
in area vincolata.

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 5.1 Tettonica

Da un punto di vista strettamente geologico il sito in esame appartiene al bacino marino periadriatico marchigiano–abruzzese, che nel corso del Plio-Pleistocene ha subito un graduale colmamento ad opera di depositi torbiditici di provenienza occidentale nonché di sedimenti di ambiente fluvio-deltizio e di mare aperto.

Il generale fenomeno di sollevamento, che ha raggiunto la sua fase culminante a partire dal Pleistocene inferiore, ha determinato l'innalzamento dei suddetti depositi fino a qualche centinaio di metri sul livello del mare. L'innalzamento tettonico ha dato luogo alla formazione di strutture plicative aventi vergenza nord-orientale, in modo tale da assumere l'aspetto di una blanda monoclinale con inclinazione degli strati variabile dagli 8°, nelle zone più interne, fino alla sub-orizzontalità in prossimità della costa. Il suddetto motivo strutturale è talvolta interrotto dalla presenza di faglie di età pleistocenica, con componente principale del movimento *normale*, per le quali talune volte è ancora riscontrabile uno stato di attività.

Nel Pleistocene inf., in concomitanza dell'innalzamento tettonico di suddetti depositi, inizia la deposizione dell'unità sabbioso-conglomeratica di chiusura del ciclo, in un ambiente fluvio-deltizio ove i sedimenti sono rimaneggiati dall'azione del moto ondoso.

In linea generale la successione litologica tipo dell'area in studio è costituita dal basso verso l'alto da:

- **Argille marine grigio-azzurre** costituite in prevalenza da argille marnoso-siltose bluastre con intercalazioni siltose o sabbiose in livelli di spessore millimetrico, che ne evidenziano la stratificazione. Sono sovrastate dalle:
- **Argille marine grigio-avana** si differenziano dalla precedente unità in quanto costituite da una percentuale maggiore della frazione sabbiosa.
- **Coltre di copertura:** limi e argille prevalenti. Costituiscono la porzione alterata "*in situ*" del substrato marino (eluvium).
- **Depositi alluvionali terrazzati antichi e recenti** : sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e livello ghiaioso-sabbiosi relativi alla deposizione e rideposizione dell'azione combinata marina e fluviale, costituiscono i depositi più superficiali che fanno da raccordo con la piana alluvionale marina ad est della linea FFSS.

In dettaglio, come riportato nella colonna stratigrafica madia allegata di seguito, il sito oggetto di studio è interessato dalla presenza di depositi sabbioso limosi fino alla profondità di circa 19.00m dal p.c. con alternanze di livelli ghiaioso-sabbiosi intorno a -3.60/-4.00m dal p.c. e a -8.00m/-10.00m per poi passare ai limi e argille che costituiscono la porzione alterata "in situ" del substrato marino (eluvium), sovrastanti l'associazione delle argille grigio-azzurre e delle argille marine grigio-avana integra dalla profondità di circa 20.00m in poi.

Sotto l'aspetto geomorfologico, l'evoluzione dell'area è fortemente condizionata dall'erosione marina che ha determinato la creazione di una vasta piana recente, sulla quale sorge l'area in studio.

Il sito in esame è ubicato sulla piana alluvionale recente immediatamente a valle del retrostante versante di bassa acclività, che costituisce il raccordo fra i versanti collinari sovrastanti e la piana marina attuale e recente; la formazione di base è rappresentata come detto dall'associazione delle argille grigio-azzurre pleistoceniche.

L'area di intervento non presenta segni di degrado tali da far presupporre instabilità geomorfologica per fenomeni gravitativi.

**L'area è classificate dal PAI a esondazione E1/R1 quindi compatibile con l'intervento in valutazione.**

### 5.2 Idrogeologia

Per quanto riguardano le peculiarità idrogeologiche dell'area in studio, le litologie prevalentemente sabbiose in superficie ed argillose in profondità coincidenti con la porzione alterata del substrato, così come evidenziato nel dettaglio stratigrafico delle indagini reperite, sono a ridotta permeabilità, con possibilità di costituire il serbatoio di acquiferi esigui e con scarsa continuità spaziale. Dai sondaggi reperiti ed effettuati sulla piana alluvionale costiera, correlati con le indagini geognostiche ubicabili tra la SS16 e la



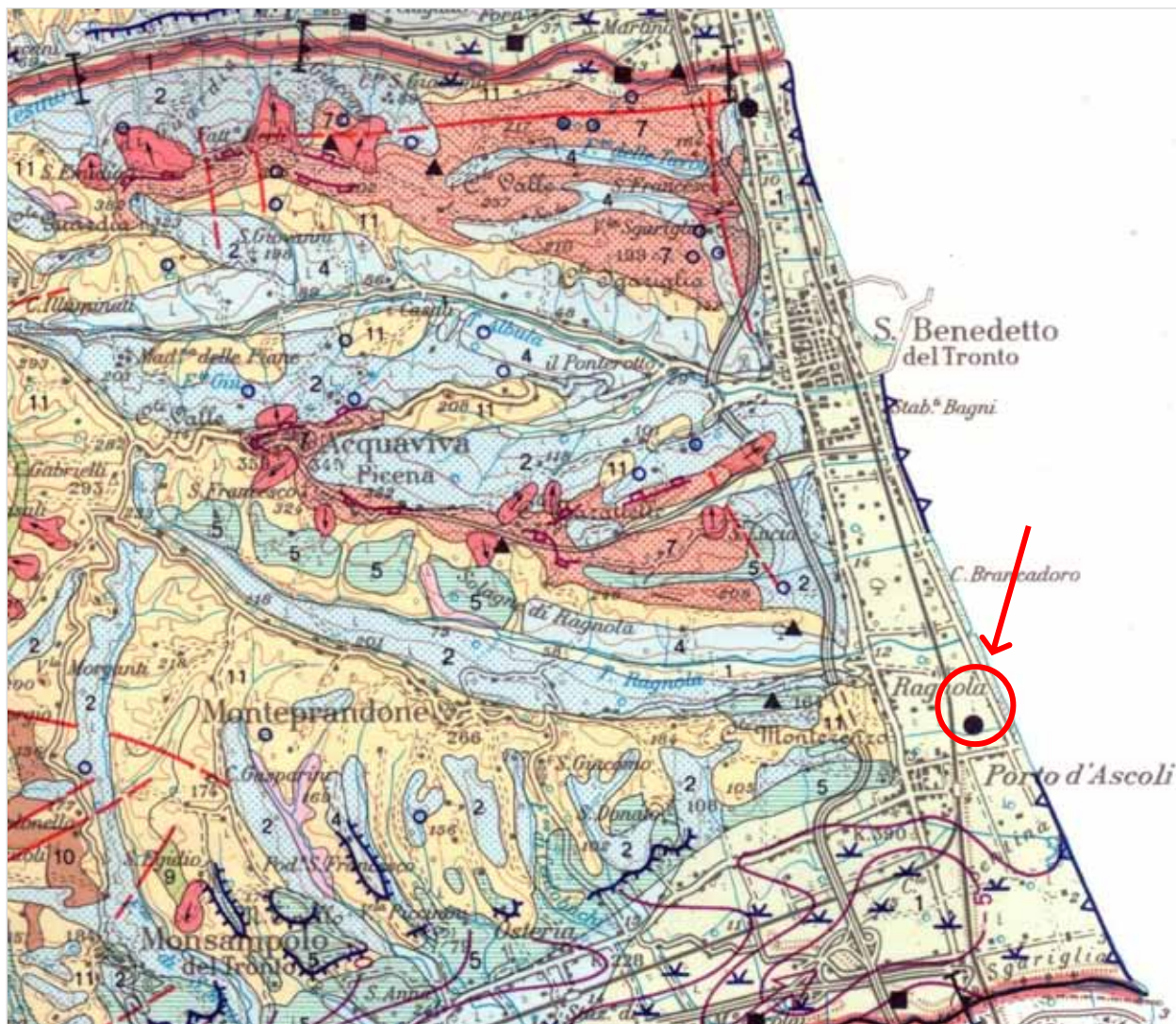
la linea FFSS Ascoli-San Benedetto Tr. è riscontrabile un livello di falda stabilizzato intorno ai -4.00/-4.50m dal p.c nei pressi della SS16 fino a -2.00/-1.50m sull'area di intervento direttamente correlato alle condizioni meteoclimatiche e quindi soggetto ad oscillazioni anche sensibili specie nei periodi di copiose precipitazioni.

La situazione idrogeologica rilevata nella zona in studio, non è comunque elemento vincolante per la realizzazione dell'intervento in oggetto.


## Ambiente Fisico delle Marche






### STRALCIO CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA-IDROGEOLOGICA

Scala 1:100'000



#### LEGENDA

- |   |  |
|---|--|
|  1. Alluvioni attuali e recenti        |  2. Depositi eluvio-colluviali          |
|  4. Alluvioni terrazzate (Pleist. sup) |  5. Alluvioni terrazzate (Pleist. med.) |
|  7. Conglomerati e sabbie di tetto     |  11. Peliti                             |

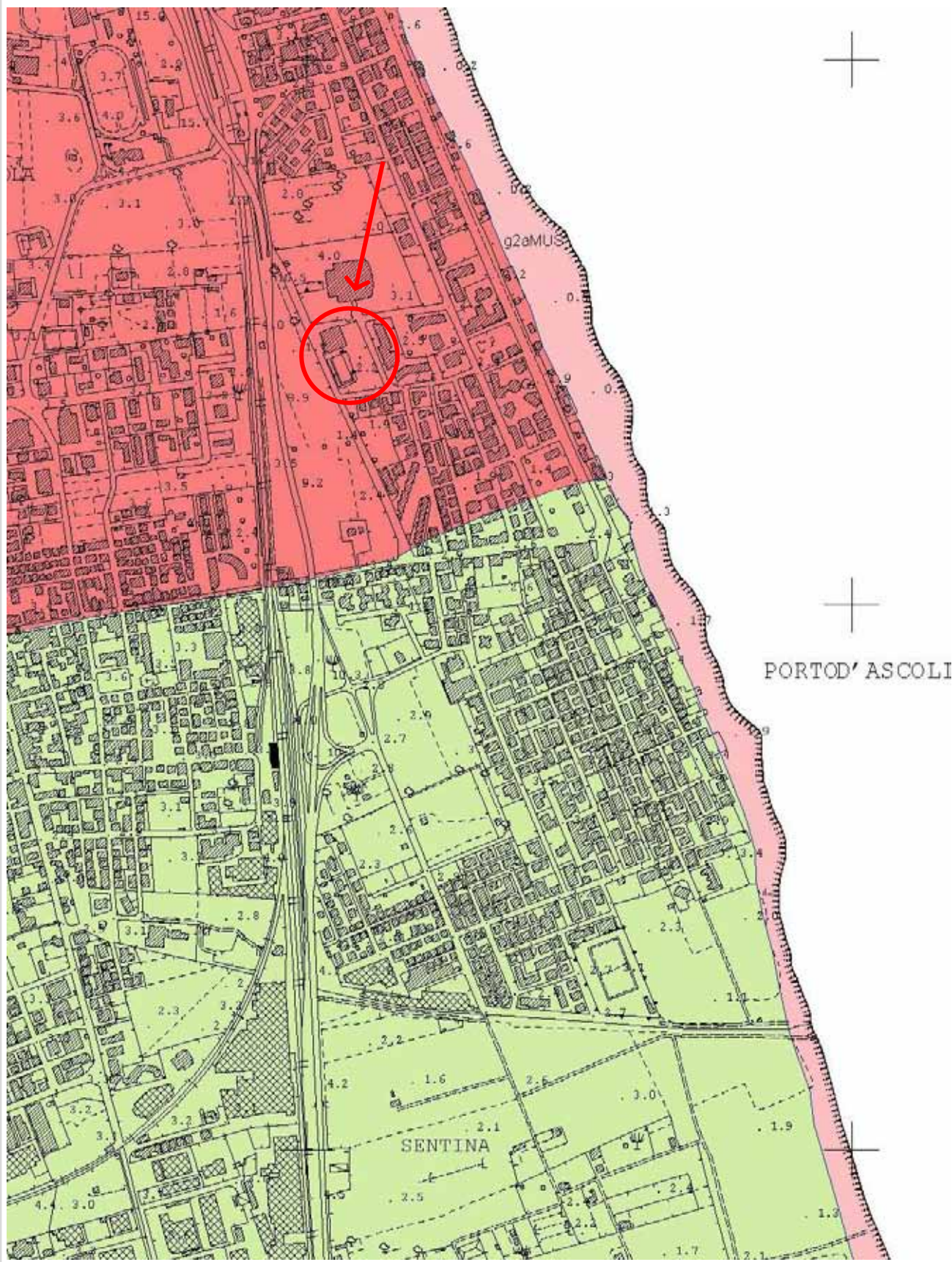
- |  |   |  |
|--|---|--|
|  Faglie certe |  Faglie probabili      |  Frane |
|  Isopieze     |  Direzioni di deflusso |  |



## STRALCIO CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA REGIONALE

Sezione 327070

Scala 1:10'000



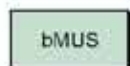
Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016



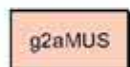
## DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

### SISTEMA DEL FIUME MUSONE (Olocene)



#### Depositi alluvionali attuali - bMUS

Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi dell'alveo dei principali corsi d'acqua.



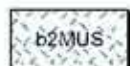
#### Depositi di spiaggia attuali - g2aMUS

Depositi prevalentemente sabbiosi di spiaggia attuale.



#### Depositi di spiaggia attuali - g2bMUS

Depositi prevalentemente ghiaiosi di spiaggia attuale.



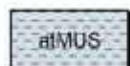
#### Depositi eluvio-colluviali - b2MUS

Depositi eluvio-colluviali limoso-argillosi e, subordinatamente, limoso-sabbiosi.



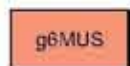
#### Detriti di versante - aMUS

Depositi detritici ad elementi eterometrici e poligenici in matrice sabbioso-argillosa.



#### Detriti di versante da depositi travertinosi - atMUS

Depositi detritici ad elementi ghiaioso-ciottolosi con massi e blocchi, in matrice prevalentemente sabbioso-limosa.



#### Depositi di piana costiera - g6MUS

Depositi ghiaioso-sabbiosi di spiaggia recente.



#### Depositi alluvionali terrazzati - bn1MUS

Ghiaie sabbiose poligeniche, sabbie limose al tetto.



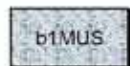
#### Depositi di frana - a1aMUS

Materiali prevalentemente argilloso-mamosi e argilloso-sabbiosi e, subordinatamente, calcareo-mamosi, arenaceo-mamosi, calcarei ed arenacei, coinvolti da movimenti franosi con indizi di evoluzione.



#### Depositi di frana - a1bMUS

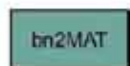
Materiali prevalentemente argilloso-mamosi e argilloso-sabbiosi e, subordinatamente, calcareo-mamosi, arenaceo-mamosi, calcarei ed arenacei, coinvolti da movimenti franosi senza indizi di evoluzione.



#### Depositi di conoidi alluvionali - b1MUS

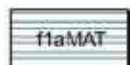
Conglomerati poligenici, sabbie e livelli argilloso-siltosi massivi o sottilmente stratificati.

### SISTEMA DI MATELICA (Pleistocene superiore)



#### Depositi alluvionali terrazzati - bn2MAT

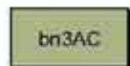
Ghiaie sabbiose poligeniche, sabbie limose al tetto; sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di sabbia mal classata.



#### Depositi travertinosi - f1aMAT

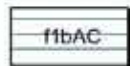
Depositi travertinosi massivi alla base e ben stratificati verso l'alto.

### SUPERSISTEMA DI COLLE ULIVO - COLONIA MONTANI (Pleistocene superiore-medio)



#### Depositi alluvionali terrazzati - bn3AC

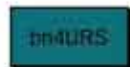
Ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa; la stratificazione è massiva o concava; sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di sabbia mal classata.



#### Depositi travertinosi - f1bAC

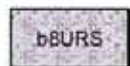
Depositi travertinosi massivi alla base e ben stratificati verso l'alto.

### SISTEMA DI URBISAGLIA (Pleistocene medio/medio-inferiore)



#### Depositi alluvionali terrazzati - bn4URS

Ghiaie poligeniche a matrice sabbiosa o limi sabbiosi debolmente ghiaiosi; la stratificazione è massiva o concava; sono presenti intercalazioni lenticolari e/o tabulari di sabbia mal classata.



#### Depositi di glacis - b8URS

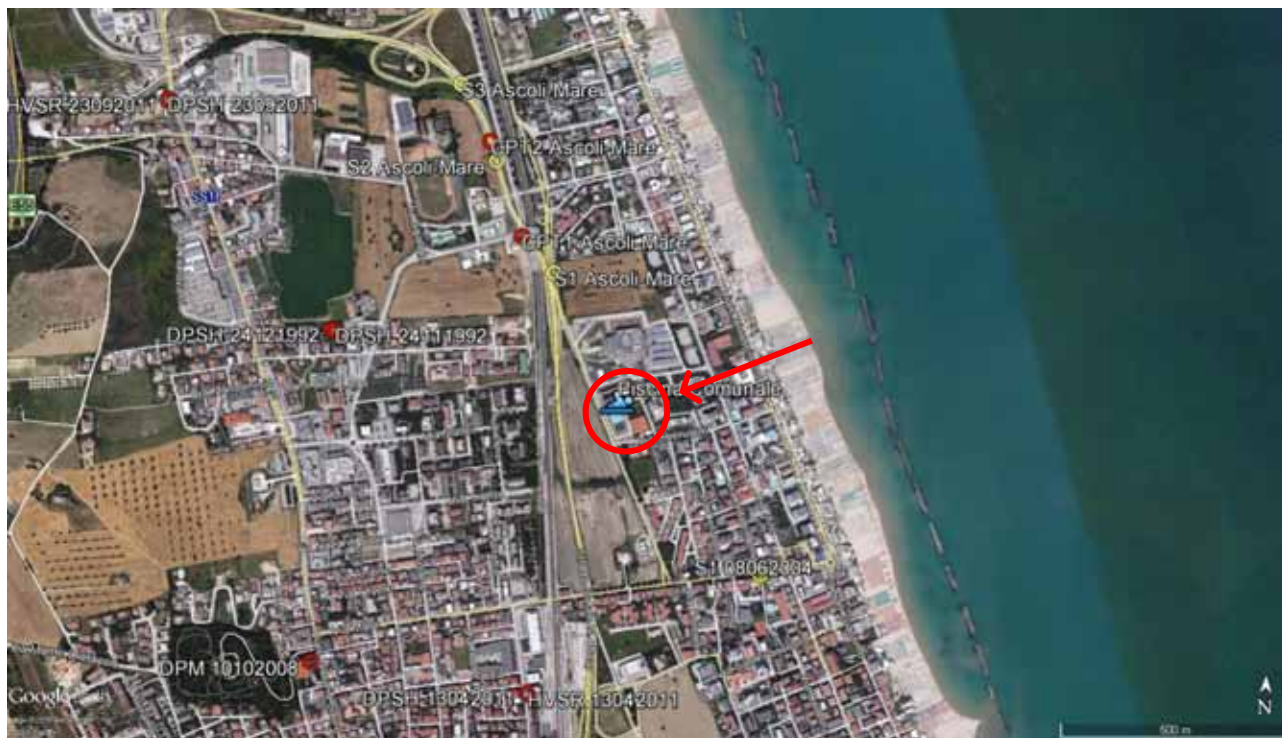
Depositi prevalentemente sabbioso-limosi con sottili e rare intercalazioni ghiaiose di colore avana scuro, passanti inferiormente a ghiaia e ciottoli eterometrici in matrice debolmente sabbiosa avana.



## 6. RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

L'indagine geognostica si è avvalsa dai dati reperiti dall'esecuzione di numerose prove penetrometriche dinamiche DPSH realizzate immediatamente a nord ed est dell'area di intervento per la definizione dei parametri geotecnici.

Si allega di seguito l'ubicazione delle indagini reperite ed utilizzate per la ricostruzione stratigrafica e la parametrizzazione litotecnica in particolare riferiti al sondaggio a carotaggio continuo **S1 08062004** rappresentativo della configurazione litologico-stratigrafica-geotecnica ed idrogeologica del sito in esame e la prova penetrometrica dinamica **DPSH 13042011** e la prova sismica **HVSR 13042011**, nonché le prove **S1 Ascoli-Mare** e **CPT1 Ascoli-Mare**.



Tale indagine ha evidenziato la seguente stratigrafia media:

**da SONDAGGIO 08062004 e Prova DPSH 13042011, S1 Ascoli-Mare e CPT1 Ascoli-Mare limitrofe:**

0,00mt a 0,50mt  
0,50mt a 2,30mt

Terreno vegetale alterato;  
Sabbie medie di colore avana da mediamente a ben addensate e granulometria da media a grossolana con intercalazioni quarzose;

2,30mt a 2,50mt  
2,50mt a 3,90mt

Livello limoso-sabbioso;  
Sabbie avana da mediamente a ben addensate e granulometria da media a grossolana;  
Sabbie a granulometria media, con inclusioni ghiaiose arrotondate di dimensioni variabili e talvolta ciottoli grossolani;

7,50mt a 9,00mt

Limi sabbiosi grigio scuro con screziature argillose grigie chiaro, plastici;

9,00mt – 14,00mt

Sabbie e Limi sabbiosi con screziature grigiastre stratificate ed alternate a sottili e frequenti livelli sabbioso-limosi;

da 14,00-19,00mt

Argilla grigio-azzurra intercalata a veli sabbiosi grigi (da alterata ad integra oltre i 20,00mt);


Coltre di alterazione dei terreni in posto (eluvium) e depositi alluvionali

Formazione di base da alterata ad integra

Falda acquifera posta a -2,00m dal p.c. con possibili e sensibili variazioni stagionali.

Nel complesso, le indagini realizzate mostrano una omogeneità sia in senso verticale che laterale dei terreni estratti.

Committente:		Geologo: Lorenzo Pizzi		Perforazione: Rotazione		SI	
Opera: Istituto Vannicola		Operatore: A. Cavaliere		Rivestimento: 9.00 m		Scala: 1/100	
Località: San Benedetto del Tronto (AP)		Unità: CMV MK 400 M		Coordinate:		Data inizio:08/06/04	
Campionatore:		Sh=Shelby; Mz=Mazier; Os=Osterberg; Dn=Denison; T2; T6; T6S		Quota s.l.m.:		Data fine:08/06/04	

Profondità(m)	Spessore (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Falda (m)	Pocket Penetrometer (Kg./cmq) 1 2 3 4	Piezometri	Rivestimento	S.P.T.	Campioni	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SONDAGGIO SI	
0.60	0.07		Asfalto nei primi 10 cm. Rilevato stradale composto di materiale ciclorostrico.								
	2.30		Sabbie medie di color avana con frequenti inclusioni quarzose e micaee, con sottili livelli limosi (a 2,5 m).								
3.90			Sabbie a granulometria media color avana con inclusioni di ghiaio ben arrotondato di dimensioni variabili (oculamente si rilevano ciottoli grossolani).								
	3.60										
7.50			Lim. sabbiosi color grigio scuro con sottili livelli argillosi, color grigio chiaro, plastici. Da 9,00 m aumenta il contenuto sabbioso.								
	2.50										
10.0											

## 6.1 Parametri geotecnici

Le caratteristiche geomeccaniche dedotte dalle indagini reperite evidenziano litologie dalle buone peculiarità geotecniche. In generale i terreni indagati appartengono alla porzione alluvionale superficiale passanti alla formazione alterata del substrato argilloso marino con sovrastanti depositi di copertura eluvio-colluviali di natura sabbiosa-limosa prevalente.

Alla luce della stratigrafia ricavata ed in ragione delle peculiarità granulometriche che permettono di dividere i terreni in coesivi o incoerenti, le indagini hanno individuato 4 unità litotecniche.

Ad ogni modo, i parametri litotecnici dei terreni sono stati dedotti per analogia con quelli ricavati da prove penetrometriche dinamiche in continuo superpesanti, del tipo DPSH, effettuate nelle immediate adiacenze del sito in studio e sulle medesime litologie.

Le prove consistono nel far penetrare all'interno del terreno una punta conica del diametro di 51,00mm, tramite l'utilizzo di una massa battente su delle aste.

Lo scopo dell'indagine è quello di calcolare il numero di colpi necessari per provocare un avanzamento della punta di 30cm. Valutando la resistenza dinamica alla punta  $qd$  quale funzione del numero di colpi si risale, mediante opportune correlazioni fra il numero di colpi DPSH e quello SPT, alle caratteristiche geotecniche del terreno esaminato.

Il penetrometro dinamico ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- Peso del maglio.....73,00Kg
- Altezza di caduta.....75,0cm
- Peso delle aste .....8,00Kg
- Lunghezza delle aste .....0,90m

Di seguito si riporta la parametrizzazione geotecnica delle unità investigate; per i termini coesivi i parametri saranno espressi sia in termini di tensioni totali che efficaci.

## PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA AI SENSI DELLE NTC 2008

- Coltre di alterazione dei terreni in posto (*eluvium*)  
(0.00-0.50m depositi di copertura sciolti alterati)

Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016



### Terreno incoerente

#### Unità A (da 0,60m a 3,90m e da 7,50m a 14,00m)

(Sabbie grigiastre e sabbie avana con componente sabbiosa crescente con la profondità)

$N_{spt_{equivalente}} = 10-18$

$\gamma_{sat} = 1,95t/mc$

(peso dell'unità di volume satura)

$\phi'k = 27-30^\circ$

(angolo di attrito efficace caratteristico)

$E_{yk} = 150Kg/cm^2$

(modulo elastico)

$Dr = 35-45\%$

(densità relativa)

$V_s = 190-215m/sec$

Parametri in tensioni efficaci

### Terreno incoerente

#### Unità B (da 3,90m a 7,50m)

(Sabbie avana debolmente limose grossolane addensate con ciottoli e ghiaia)

$N_{spt_{equivalente}} = 18-24$

$\gamma_{sat} = 1,90-2,00t/mc$

(peso dell'unità di volume satura)

$\phi'k = 30-32^\circ$

(angolo di attrito efficace caratteristico)

$E_{yk} = 170-185Kg/cm^2$

(modulo elastico)

$V_s = 220-250m/sec$

Parametri in tensioni efficaci

#### ▪ Substrato marino alterato

### Terreno coesivo

#### Unità C (da 14,00m a 20,00m)

(Limi sabbiosi avana-grigi alternati a livelli di sabbia ossidata)

$N_{spt_{equivalente}} = 35-40$

$\gamma_{sat} = 2,00t/mc$

(peso dell'unità di volume satura)

$C_{uk} = 2,69Kg/cm^2$

(coesione non drenata caratt.,)

$E_{dk} = 182Kg/cm^2$

(modulo edometrico)

$V_s = 345-350m/sec$

$\gamma_{nat} = 1,95t/mc$

(peso dell'unità di volume allo stato naturale)

$c'k = 0,10Kg/cm^2$

(coesione efficace)

$\phi'k(^\circ) = 26$

(angolo di attrito efficace caratteristico)

Parametri in tensioni totali

Parametri in tensioni efficaci

#### ▪ Substrato marino integro

### Terreno coesivo

#### Unità D (da 20,00m in poi)

(Argille avana-grigie alternate a livelli di sabbia)

$N_{spt_{equivalente}} = 50-55$

$\gamma_{sat} = 2,10t/mc$

(peso dell'unità di volume satura)

$C_{uk} = 4,27Kg/cm^2$

(coesione non drenata caratt.,)

$E_{dk} = 290Kg/cm^2$

(modulo edometrico)

$V_s = 400-440m/sec$

$\gamma_{nat} = 2,00t/mc$

(peso dell'unità di volume allo stato naturale)

$c'k = 0,30Kg/cm^2$

(coesione efficace)

$\phi'k(^\circ) = 28$

(angolo di attrito efficace caratteristico)

$E'k = 750Kg/cmq$

(modulo elastico di Young)

Parametri in tensioni totali

Parametri in tensioni efficaci

Considerando il modello elastico alla Winkler (fondazione elastica su suolo elastico), si calcola il coefficiente di reazione verticale sulla base di valutazioni teoriche che colleghino il coefficiente di sottofondo ai parametri di deformazione del terreno ed alle dimensioni della fondazione. Si consiglia, per i terreni presenti, di adottare un valore del coefficiente di sottofondazione verticale pari a:

$$k_v = 2,00kg/cm$$



Cerreto d'Esi, 13 aprile 2011

COMMITTENTE: SAXA srl

CANTIERE: Via Toti - P.to d'Ascoli - S. Benedetto del T.

**PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA**

**caratteristiche tecniche del penetrometro**

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm<sup>2</sup> angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg

Peso massa passiva: 4,2 Kg

**legenda per la rappresentazione grafica**

H = profondità

NC = numero di colpi

q<sub>d</sub> = resistenza alla penetrazione dinamica

**legenda per la caratterizzazione geomeccanica**

NC<sub>m</sub> = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N<sub>spt equiv</sub> = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazione

Dr = densità relativa (Skempton, 1986)

φ = angolo di attrito interno (De Mello)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Webb)

Ed = modulo edometrico (Stroud e Butler 1975)

γ = peso unità di volume

V<sub>s</sub> = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)

Ko = modulo di reazione (Navfac)

ν = modulo di Poisson

C<sub>u</sub> = coesione non drenata (Terzaghi e Peck)





Cerreto d'Esi, 13 aprile 2011

COMMITTENTE: SAXA srl

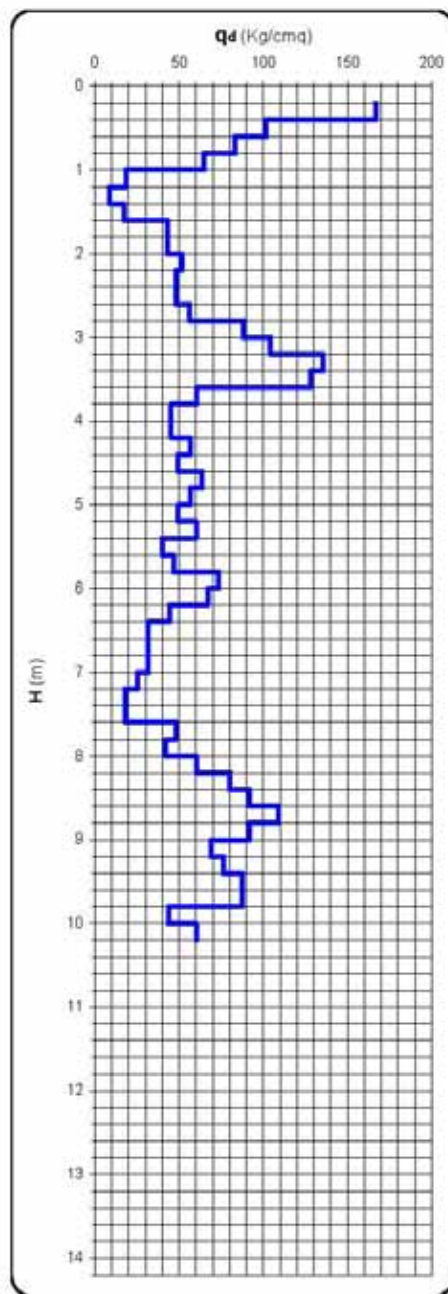
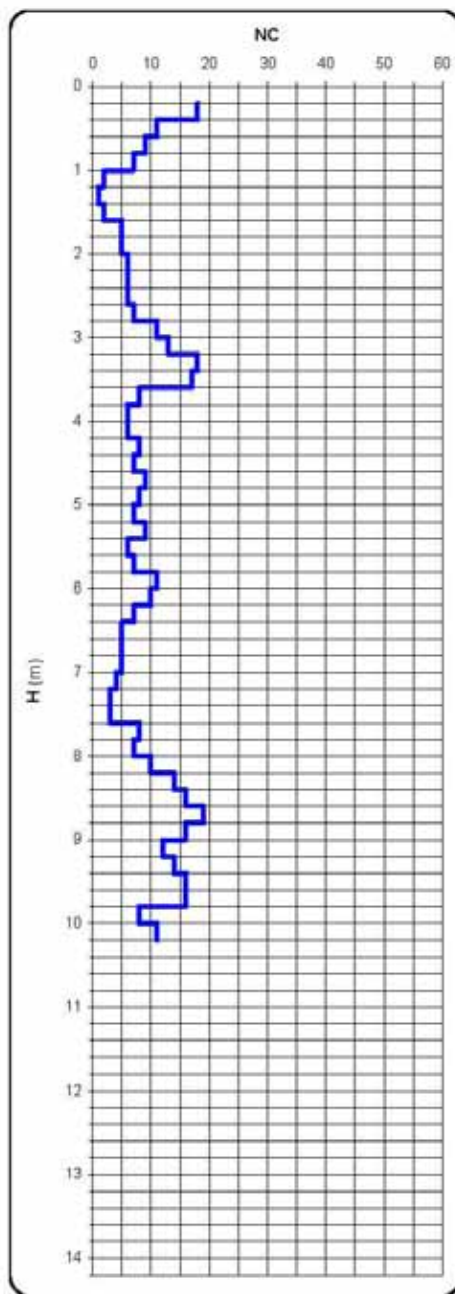
CANTIERE: Via Toti - P.to d'Ascoli - S. Benedetto del T.

PROVA N.1 del 12/04/11

PROF.: 10,20 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

H (m)	NC	q <sub>d</sub> (Kg/cm²)
0,2		
0,4	18	166,73
0,6	11	161,89
0,8	9	83,36
1,0	7	64,84
1,2	2	18,53
1,4	1	8,60
1,6	2	17,20
1,8	5	43,01
2,0	5	43,01
2,2	6	51,61
2,4	5	48,17
2,6	5	48,17
2,8	7	56,20
3,0	11	88,31
3,2	13	104,37
3,4	18	135,48
3,6	17	127,55
3,8	8	60,21
4,0	6	45,16
4,2	6	45,16
4,4	8	56,67
4,6	7	49,59
4,8	9	63,76
5,0	8	56,67
5,2	7	49,59
5,4	9	60,22
5,6	6	40,14
5,8	7	46,84
6,0	11	73,60
6,2	10	66,91
6,4	7	44,37
6,6	5	31,69
6,8	5	31,69
7,0	5	31,69
7,2	4	25,36
7,4	3	18,07
7,6	3	18,07
7,8	8	48,18
8,0	7	42,15
8,2	10	60,22
8,4	14	90,29
8,6	16	91,76
8,8	19	108,97
9,0	16	91,76
9,2	12	68,82
9,4	14	76,65
9,6	16	87,60
9,8	16	87,60
10,0	8	43,80
10,2	11	60,22
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		





Cerreto d'Esi, 13 aprile 2011

COMMITTENTE: SAXA srl

CANTIERE: Via Toti - P.to d'Ascoli - S. Benedetto del T.

PROVA N.1 del 12/04/11

PROF.: 10,20 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: PROPOSTA DI ELABORAZ. STRATIGRAFICA E CARATTERIZZ. GEOMECCANICA

profondità (m)	litologia	N <sub>Cm</sub> (t)	C (t)	N <sub>60</sub> (t)	D <sub>r</sub> (%)	φ (°)	E (Kg/cm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	G (Kg/cm <sup>2</sup> )	K <sub>0</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	c <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	v
0,2	preforo												
0,5	riporto												
0,6													
1,0		7,52	1,5	11,28	35	28,2	90		180		2,37		0,33
1,3		1,33	1,5	2,00	15	24,6	16		74		0,27		0,35
1,6													
2,0	sabbia e/o sabbia limosa a luoghi sciolta	5,43	1,5	8,15	28	27,0	65		152		1,70		0,34
2,5													
3,0		12,91	1,5	19,37	50	30,2	154		238		3,94		0,32
3,5													
4,0													
4,5	sabbia con ghiaia												
5,0		6,91	1,5	10,36	33	27,9	82		172		2,18		0,33
5,5													
6,0													
6,4													
7,0	sabbia limosa	3,59	1,5	5,38	21	26,0	43		123		1,08		0,34
7,5													
8,0		7,69	1,5	11,54	36	28,3	92		182		2,43		0,33
8,2													
8,5		15,16	1,5	22,74	55	30,8	181		258		4,51		0,31
9,0	sabbia con ghiaia												
9,5		13,29	1,5	19,93	51	30,3	169		241		4,04		0,32
9,6													
10,0		8,77	1,5	13,16	39	28,8	105		195		2,76		0,33
10,2													
10,5													
11,0													
11,5													
12,0													
12,5													
13,0													
13,5													
14,0													



STUDIO GEOLOGICO									
Committente:								sondaggio	
Centri: Strada Ascoli-Mare e collegamento SBT								S1	
quota s.l.m.	profondità dal piano di camp.	formazioni attraversate		descrizione litologica	contenuto H <sub>2</sub> O	campioni disturbati	campioni indisturbati	sistema di perforazione	Ø foro mm.
		potenza	sezione stratigrafica						
1				Terreno vegetale					
2				Sabbie limose					
3					SI				
4									
5				Sabbie					
6									
7									
8									
9									
10									
11				Sabbie con limi limosi organici					
12									
13									
14									
15									
16				Sabbie					
17									
18				Limi sabbiosi					
19									
20				Argille alterate			S1C1		
21									
24				Argille con veli sabbiosi					
25				f.f.					

## 7. VALUTAZIONI SISMICHE ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ordinario n.30

Con decreto ministeriale 14.01.2008 sono state approvate le nuove **NTC Norme Tecniche per le Costruzioni** che sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 settembre 2005. L'approvazione del testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni fa riferimento alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed alla legge 27 luglio 2004, n. 186, di conversione del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136.

### DA ALLEGATO "A" DM 14.01.2008

Le **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)** adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** nelle **NTC**).

Le valutazioni della "pericolosità sismica di base" debbono derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate. I dati utilizzati per le valutazioni devono essere resi pubblici, in modo che sia possibile la riproduzione dell'intero processo.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente *pericolosità sismica*, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche; le sue attuali fonti di riferimento sono indicate nel seguito del presente paragrafo.

La *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le **NTC** e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle **NTC**, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento*) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un *intervallo di riferimento* compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle **NTC**, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate, in particolare il riferimento a più probabilità di superamento, consente ad un tempo di:

- a) adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo così significative economie e soluzioni più agevoli del problema progettuale, specie nel caso delle costruzioni esistenti;
- b) trattare le problematiche di carattere tecnico-amministrativo connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle **NTC**, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

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.

Per ciascun nodo del *reticolo di riferimento* e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla *pericolosità sismica*, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- $a_g$  il valore previsto dalla *pericolosità sismica*,



·  $F_0$  e  $T_c$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle **NTC** scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla *pericolosità sismica* (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle **NTC** sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento

$P_{VR}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle **NTC**; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Qualora la attuale *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno  $T_R$  1 corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ( \* g O C a , F , T ) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella *pericolosità sismica*, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale:

- $p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato;
- $T_{R1}$  ,  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  relativi alla *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* nell'*intervallo di riferimento* sono forniti nelle tabelle riportate nell'**ALLEGATO B** al presente decreto ed interpolato attraverso il software NTC ver 1.0.2.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del *reticolo di riferimento*, i valori dei parametri  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del *reticolo di riferimento* contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

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

nella quale:

- $p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- $p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola.

Di seguito sulla base del decreto ministeriale 14.01.2008 si analizzano i parametri che determinano la definizione dei valori di risposta sismica e quindi dell'azione sismica in base alla tipologia di struttura in esame ed alla sua vita nominale, alla sua localizzazione, alla topografia, alla stratigrafia, allo stato limite che si vuol analizzare.

## 7.1 Definizione ed analisi con il metodo HVSR : calcolo del VS30 e determinazione della Categoria di Suolo

### Introduzione e riferimenti normativi

Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro Vs30 (velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità) nel rispetto di:

O.P.C.M. 3274/03 e successive modifiche ed integrazioni; e D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di  $a_g$  (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E,S1 e S2. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

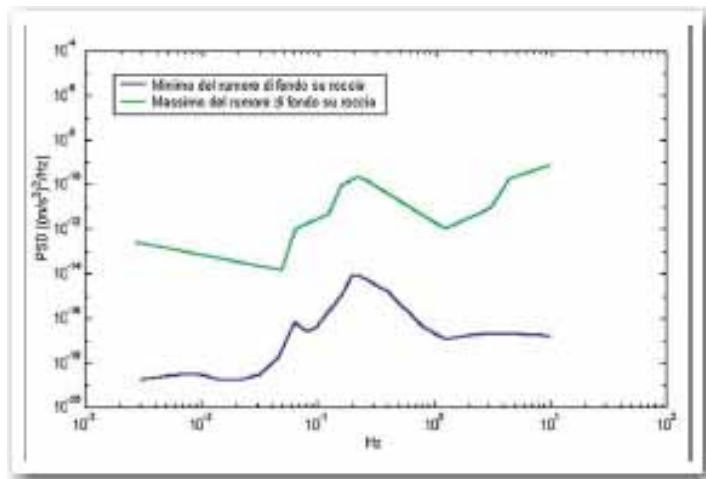
L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale introduce un fattore di amplificazione  $S$  e periodi  $T$  che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.

### Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.



**Fig.1:** Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo



fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

### Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 12 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

### Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia 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 sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

### Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

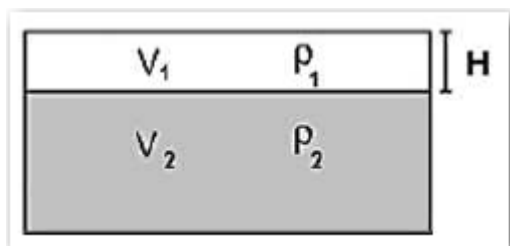


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione  $V$

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s/4H \quad (f_r) = V_p/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se

non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che 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 [1].

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 e 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 spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore 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. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

### Procedura di analisi dati

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

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
  - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
  - ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
  - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,

$$H = \left[ \frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{4(1-a)} - 1$$

- ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità  $h$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $a$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria,

coesione ecc.) e  $v$  la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le VP e la densità  $\rho$  dei mezzi sono quasi influenti pertanto i valori di VP e  $\rho$  che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

### La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

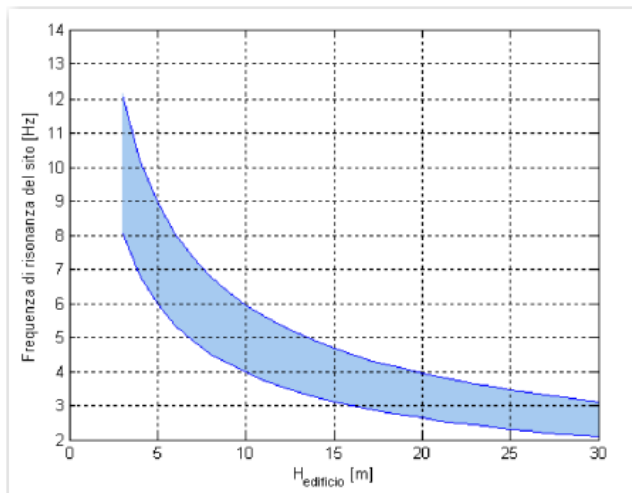
ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla



$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200-300 \text{ m/s} / (4H), \quad [5]$$



Recenti studi italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

Fig 3: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Di seguito si allegano i risultati dell'indagine reperita limitrofa e rappresentativa dell'area di intervento.

## 7.2 Risultati dell'indagine sismica

### Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

- sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.20,30 riconducibile alla copertura alluvionale.
- sismostrato 2: da m. 20,30 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 440

### Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata una frequenza massima di picco pari a **Hz  $1,78 \pm 0,06$** .

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area sollecitata da input sismico amplifica le onde di superficie ad una frequenza di risonanza prossima a  $1,78 \pm 0,06$  Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo.

### Categoria di sottosuolo

C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{60(30)} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
---	--

Si allegano di seguito i certificati e le schede di analisi dell'indagine sismica reperita, a cui segue la determinazione dei Coefficienti Sismici e dei Parametri Sismici di Progetto ai sensi delle NTC 2008, EC7, EC8 allo SLO, SLD, SLV, SLC sulla base della Categoria di Sottosuolo individuata nel caso specifico e dei Coefficienti Sismici definiti in base alle caratteristiche della struttura in progetto e della configurazione topografica del sito in esame .





Cerreto d'Esi il 13 aprile 2011  
Comm.: SAXA s.r.l.  
Cant.: Via Toti-P.to d'Ascoli – San Benedetto del T.  
Indagine HVSR - N°: 1 del: 12/04/2011

Comm: SAXA s.r.l. - Cant.: Via Toti – Porto d'Ascoli – San Benedetto del T.

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
-------	--------	-------	---------	----------------	---------	--------------	-----

Instrument: TEP-0040/01-09

Start recording: 12/04/11 10:10:02 End recording: 12/04/11 10:24:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

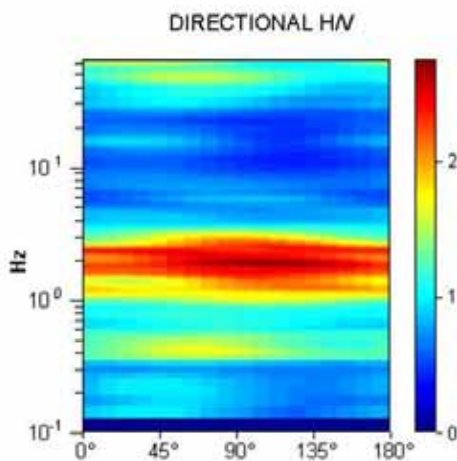
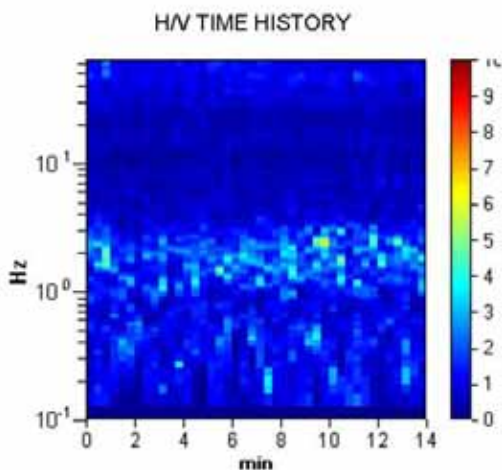
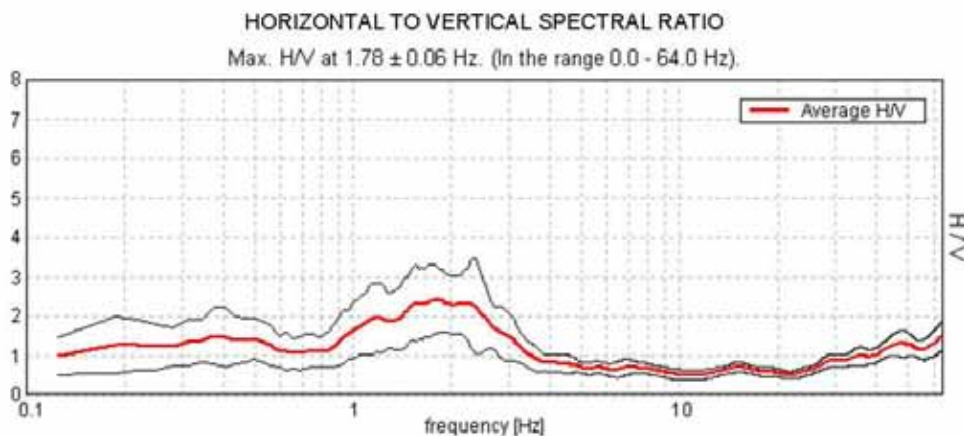
Trace length: 0h14'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

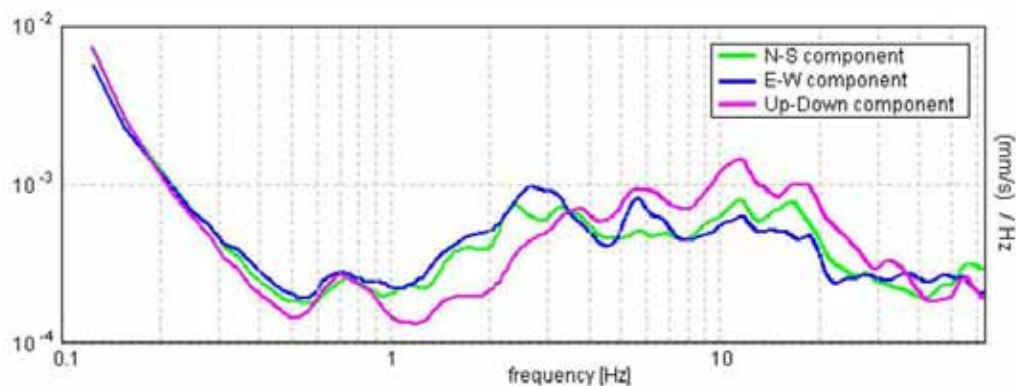


\* documento soggetto a diritti di autore (artt 2375 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



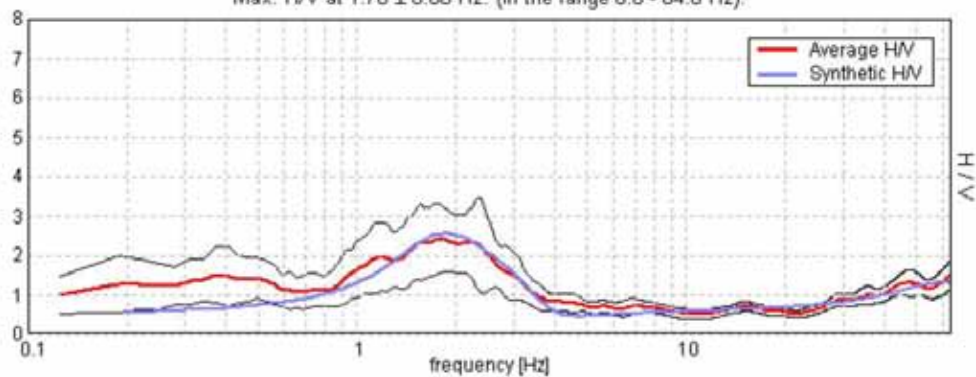
Cerreto d'Esi il 13 aprile 2011  
Comm.: SAXA s.r.l.  
Cant.: Via Toti-P.to d'Ascoli – San Benedetto del T.  
Indagine HVSR - N°: 1 del: 12/04/2011

### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $1.78 \pm 0.06$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	80	0.35
9.30	9.00	150	0.35
15.30	6.00	180	0.35
20.30	5.00	280	0.35
38.30	18.00	320	0.35
53.30	15.00	350	0.35
63.30	10.00	420	0.35
inf.	inf.	440	0.35

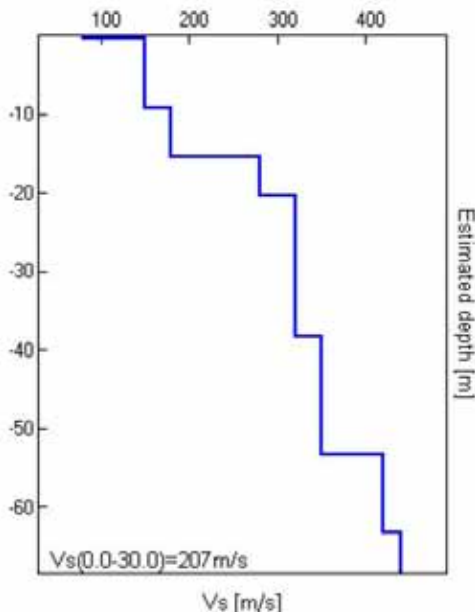
$V_s(0.0-30.0)=207\text{m/s}$

\* documento soggetto a diritti di autore (artt 2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso





Cerreto d'Esse il 13 aprile 2011  
Comm.: SAXA s.r.l.  
Cant.: Via Toti-P.to d'Ascoli – San Benedetto del T.  
Indagine HVSR - N°: 1 del: 12/04/2011



Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno stato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 metri
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{60} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{60} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{60} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine)
E	Terreni di sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 metri di terreni a grana fine a bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 metri di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di  $V_{s30}$  calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

#### Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

**sismostrato 1:** ha uno spessore complessivo di m.20,30 riconducibile alla copertura alluvionale.

**sismostrato 2:** da m.20,30 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle  $V_s$  stimata a m/s 440

\* documento soggetto a diritti di autore (artt 2375 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esi il 13 aprile 2011  
Comm.: SAXA s.r.l.  
Cant.: Via Toti-P.to d'Ascoli – San Benedetto del T.  
Indagine HVSR - N°: 1 del: 12/04/2011

[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Gnlla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at  $1.78 \pm 0.06$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve  
[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1496.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 88 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak  
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.844 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.41 > 2$	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01632  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02908 < 0.17813$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4361 < 1.78$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

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

\* documento soggetto a diritti di autore (artt 2375 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

### 7.3 Dettaglio categoria del suolo

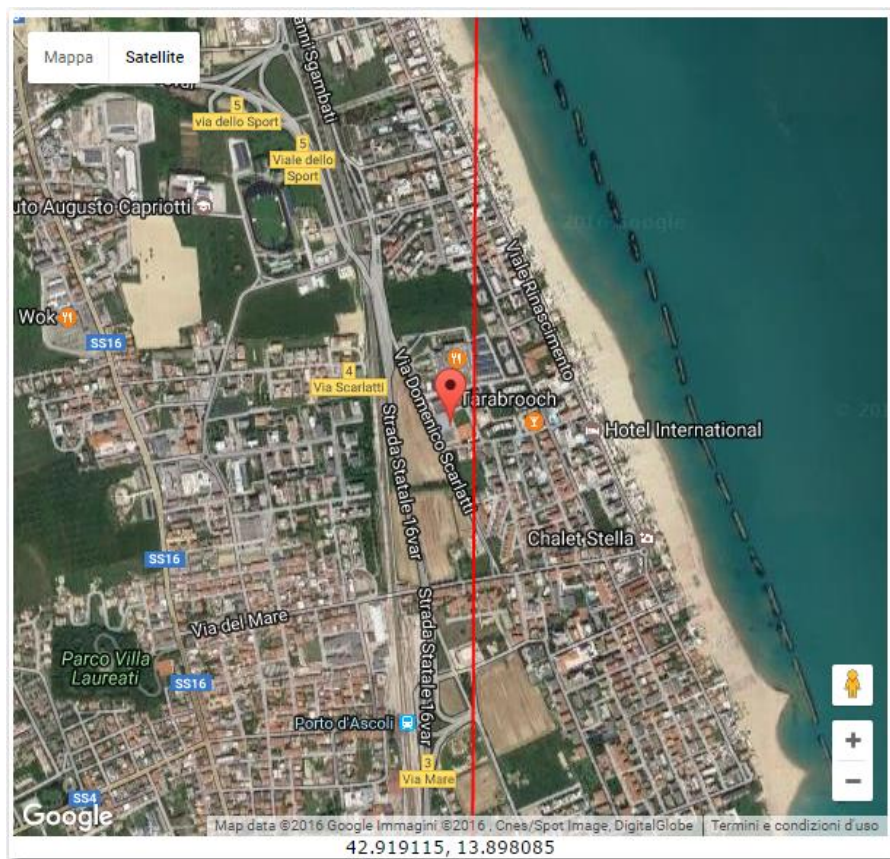
#### ANALISI DEL SITO E DELLA STRUTTURA IN PROGETTO

STRUTTURA: Ed. Residenziale REGIONE: MARCHE; LOCALITA': SAN BENEDETTO DEL TR. (AP);

#### DEFINIZIONE DEI PARAMETRI

CATEGORIA	Categorie di sottosuolo
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{97,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$

### 7.4 Parametrizzazione Sismica Geostru PS



#### Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 42,920070722337  
longitudine: 13,8989941971213  
Classe: 3  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 23870 Lat: 42,9345 Lon: 13,8316 Distanza: 5719,435

Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016



Sito 2	ID: 23871	Lat: 42,9343	Lon: 13,8998	Distanza: 1580,250
Sito 3	ID: 24093	Lat: 42,8843	Lon: 13,8995	Distanza: 3981,080
Sito 4	ID: 24092	Lat: 42,8845	Lon: 13,8313	Distanza: 6787,723

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75anni

Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 45 [anni]

ag: 0,060 g

Fo: 2,459

Tc\*: 0,289 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 75 [anni]

ag: 0,076 g

Fo: 2,437

Tc\*: 0,307 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 712 [anni]

ag: 0,209 g

Fo: 2,476

Tc\*: 0,329 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 1462 [anni]

ag: 0,275 g

Fo: 2,471

Tc\*: 0,336 [s]

#### Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,580

St: 1,000

Kh: 0,018

Kv: 0,009

Amax: 0,884

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,550

St: 1,000

Kh: 0,023

Kv: 0,011

Amax: 1,125

Beta: 0,200

SLV:

**Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008**

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016

Ss: 1,390  
Cc: 1,520  
St: 1,000  
Kh: 0,081  
Kv: 0,041  
Amax: 2,847  
Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,290  
Cc: 1,500  
St: 1,000  
Kh: 0,099  
Kv: 0,050  
Amax: 3,475  
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

Coordinate WGS84

latitudine: 42.919115

longitudine: 13.898085

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICO-TETTONICA

Al fine di avere un quadro esaustivo di dettaglio dell'area di intervento sotto l'aspetto sismico e quindi fornire una valutazione della compatibilità sismica, si è proceduto alla ricostruzione della storia sismica del Comune all'interno del quale è ubicato l'intervento attraverso i dati forniti dall'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia) ed i vari database e progetti sviluppati in merito alla pericolosità sismica, alla registrazione degli eventi sismici ed alla Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti.

### 8.1 Mappa dei forti terremoti degli ultimi 150 anni

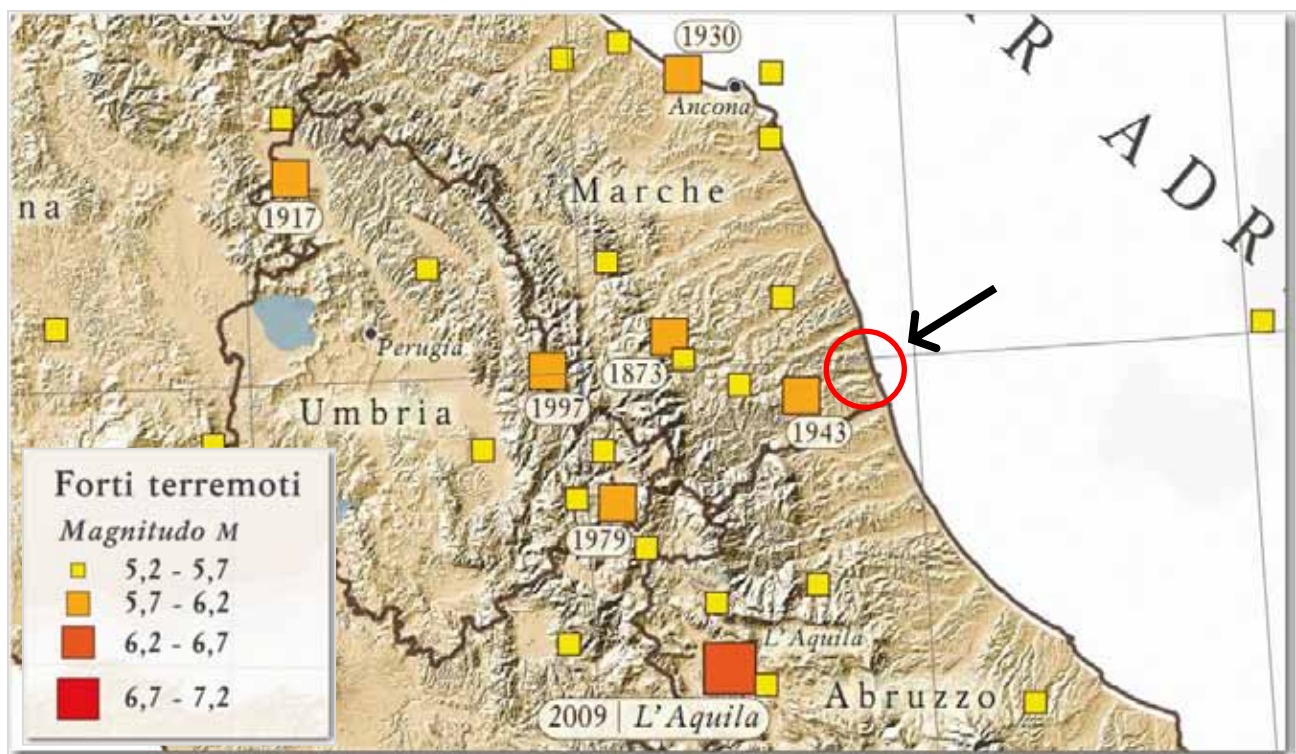
Da 150 anni ad oggi il nostro Paese è stato colpito da più di 170 terremoti forti, fortissimi o addirittura catastrofici. Di questi, 12 sono stati distruttivi (Intensità massima MCS [Mercalli-Cancani-Sieberg]  $I_{max} > X$ ) e hanno provocato complessivamente più di 130 mila vittime. Il terremoto del 1908 (M 7.2,  $I_{max}$  X-XI) a Messina e Reggio Calabria è stato il più forte di questi ultimi 150 anni con più di 80 mila vittime e la distruzione quasi totale delle due città che si acciano sullo Stretto. I più recenti terremoti sono quelli avvenuti in Abruzzo il 6 aprile 2009 (M 6.3,  $I_{max}$  IX-X) e la serie recente (Marche-Lazio-Umbria) di Amatrice-Castel Sant'Angelo sul Nera-Ussita (M 6.0 e 5.4 del 24.08.2016, M 5.4 e 5.9 del 26.10.2016, M 6.5 del 30.10.2016).

In Italia ci sono zone con caratteristiche di sismicità molto diverse:

- aree in cui i terremoti si verificano spesso, con energia generalmente moderata, ma che possono produrre danni (per es. Emilia Romagna e Lazio);
- zone dove avvengono molti terremoti deboli e pochi terremoti più violenti, in media ogni secolo, i cui effetti possono raggiungere o superare intensità IX MCS (per es. Toscana, Umbria, Marche, Basilicata e Friuli);
- aree con forti terremoti e pochi terremoti più deboli.

Queste ultime sono le zone dove si verificano i terremoti più gravi in assoluto perché l'energia accumulata per lungo tempo viene rilasciata tutta insieme (per es. Calabria, Sicilia, Campania e Abruzzo).

Dalla registrazione di tali eventi sismici si evidenzia come l'area di intervento non sia stata direttamente interessata da eventi sismici con Magnitudo  $M > 5.2$ , ma risulti limitrofa ad epicentri di eventi sismici con magnitudo compresa tra 5,2 e 6,2.





## 8.2 Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità di forti terremoti

### The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) – Database delle Singole Sorgenti Sismogenetiche

Il Database delle Singole Sorgenti Sismogenetiche - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), il software originale e tutti i relativi testi ed elaborazioni sono il risultato delle elaborazioni dei ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV. Il database a cui si fa riferimento, include una grande quantità di materiale originale e pubblicato sulle principali fonti sismogenetiche d'Italia insieme a dati di natura geografica, sismologica, geologica ed informazioni tettoniche ed è stato progettato come "work in progress", e come tale è aperto a continue aggiunte e miglioramenti.

Tale lavoro costituisce nelle sue varie fasi di elaborazione, dal 2009 ad oggi, l'ultimo ed il più aggiornato strumento a scala nazionale per la valutazione, individuazione ed analisi delle Sorgenti Sismogenetiche.

Dall'analisi della documentazione disponibile, emerge limitrofa all'area di interesse la presenza di una Sorgente Composita con sviluppo N-S posta ad Est con codice identificativo **ITCS054**, ad Ovest è individuabile la sorgente sismogetica **ITCS020**.

Dalle Mappe Tematiche di seguito allegate, si evidenziano le caratteristiche di tale Sorgente espresse come Profondità del Tetto che è inferiore ai 3 km e la Magnitudo sviluppabile  $\leq 5.9$ .

### Sorgente Sismogenetica ITCS054

#### GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS054
Name	Southern Marche offshore
Compiler(s)	Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Contributor(s)	Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	20-Aug-2005
Updated	21-Apr-2010

Display map ...



Related sources

#### PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	3.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	6.5	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	145...195	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	30...50	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...110	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

### COMMENTI

Questa Sorgente Composita è a cavallo sul mare Adriatico a largo della costa del sud delle Marche, tra la latitudine delle città di Macerata (a nord-ovest) e di Teramo (a sud-est) rispettivamente. Fa parte del thrust esterno offshore dell'Appennino Umbro-Marchigiano. Questo fronte è il sistema di faglie con vergenza NE al confine orientale della catena appenninica settentrionale, parallela alla costa marchigiana. Cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006; Guidoboni et al, 2007) mostrano solo una rada ed intermedia sismicità ( $4,5 < M_w < 5,0$ ), nel 1480 ( $M_w 5.4$ , Montepandone) e il 4 settembre 1987 ( $M_w 5.1$ , Porto San Giorgio) con terremoti che si sono verificati nei pressi del centro della zona.

#### Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016

L'attività tettonica di questa regione non è ancora chiaramente documentata, ma un'interpretazione plausibile è che si tratta di un ramo off-shore superficiale del thrust cieco delle Marche Settentrionali. I dati di sottosuolo di Bally et al.(1986) hanno ben definito anticlinali in mare aperto a sud-est, la cui crescita sarebbe causata dall'avanzamento della porzione NE del thrust. Diverse evidenze suggeriscono che la fascia costiera (onshore) della regione è sottoposta ad una di compressione con trend NE-SW, compresi i meccanismi focali dei terremoti su tutto il fronte esterno (Frepoli e Amato, 1997), in particolare quello del terremoto del 1987 di Porto San Giorgio (Pondrelli et al., 2002 ), mentre i dati profondi (Montone et al., 2004) hanno illustrato un trend con asse NW-SE a minimo stress.

Il rigetto di questa Sorgente si basa su quello delle strutture regionali mappate (N145-195°). L'inclinazione del piano di scorrimento è basata su dati di sottosuolo e su considerazioni geometriche (30-50°). La minima e massima profondità della Sorgente si basano su dati di sottosuolo e su considerazioni geometriche relative alla geometria di spinta (3,5 e 6,5 km, rispettivamente). Il tasso di slittamento è stato dedotto dalle osservazioni geologiche in strutture adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico con origine a Sud delle Marche in mare aperto (0,1 - 0,5 mm / a). La magnitudo massima è stata assunta dalla sismicità regionale (Mw 5.5).

ITCS020: Southern Marche

#### GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS020
Name	Southern Marche
Compiler(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	21-Apr-2010

Display map ...



Related sources

[ITIS070](#)

#### PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE		
Min depth [km]	3.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.			
Max depth [km]	9.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.			
Strike [deg] min... max	150...170	OD	Based on geological constraints and seismic reflection profiles.			
Dip [deg] min... max	30...50	OD	Based on geological constraints and seismic reflection profiles.			
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.			
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.			
Max Magnitude [Mw]	5.9	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).			

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

#### COMMENTI

Questa Sorgente composta a cavallo delle regioni Marche e Abruzzo, tra le città di Macerata (a nord-ovest) e Teramo (a sud-est), è la parte più meridionale del thrust dell'Appennino Umbro-Marchigiano esterno onshore. Questo fronte è il sistema di faglie con vergenza E-NE al confine orientale della catena appenninica settentrionale, parallela alla costa marchigiana.

Studio Geologico, Idrogeologico, Sismico con indicazioni Geotecniche ai sensi NTC 2008

Intervento "Proposta di Project Financing: Intervento di riqualificazione ed ampliamento dell'impianto natatorio comunale di San Benedetto del Tronto" ai sensi dell'art.23 del D.L. 50/2016

Cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;.. Guidoboni et al, 2007) mostrano un paio di terremoti chiave in questa regione, tra cui (da nord a sud) gli eventi del 100 aC (Mw 5.8, Piceno) e il 3 ottobre 1943 (Mw 5.8, Offida). L'area mostra anche una scarsa sismicità intermedia ( $4.5 < Mw < 5.0$ ).

L'attività tettonica di questa regione non è ancora chiaramente documentata, ma un'interpretazione plausibile è che sia il settore meridionale del thrust cieco delle Marche Settentrionali. I dati di sottosuolo (Bally et al, 1986; Calamita et al, 1991; Scisciani et al, 2002) hanno ben definito il piano di scorrimento che interessa l'intera successione Meso-Cenozoico, in particolare a sud della zona. Diverse evidenze suggeriscono che la regione è sottoposta ad un trend di compressione NE-SW, compresi i meccanismi focali di terremoto su tutto il fronte esterno onshore (Frepoli e Amato, 1997; Pondrelli et al, 2002.), mentre i dati profondi (Montone et al, 2004. ) hanno illustrato un trend con asse NW-SE a minimo stress.

Un segmento di questa Sorgente è stato associato con il terremoto del 1943. .

Il rigetto di questa Sorgente si basa su quello delle strutture regionali mappate ( $N150-170^\circ$ ). L'inclinazione del piano di scorrimento è basata su dati di sottosuolo e su considerazioni geometriche ( $30-50^\circ$ ). La minima e massima profondità della Sorgente si basano su dati di sottosuolo e su considerazioni geometriche relative alla geometria di spinta (3,0 e 9,0 km, rispettivamente). Il tasso di slittamento è stato dedotto dalle osservazioni geologiche in strutture adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico con origine a Sud delle Marche in mare aperto (0,1 - 0,5 mm / a). La magnitudo massima è stata assunta dalla sismicità regionale (Mw 5.9).

Si allegano di seguito le mappe tematiche relative al Database delle Singole Sorgenti Sismogenetiche - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS 3.1.0) relativamente alla minima profondità delle sorgenti sismogenetiche ed alla relativa magnitudo massima attesa.

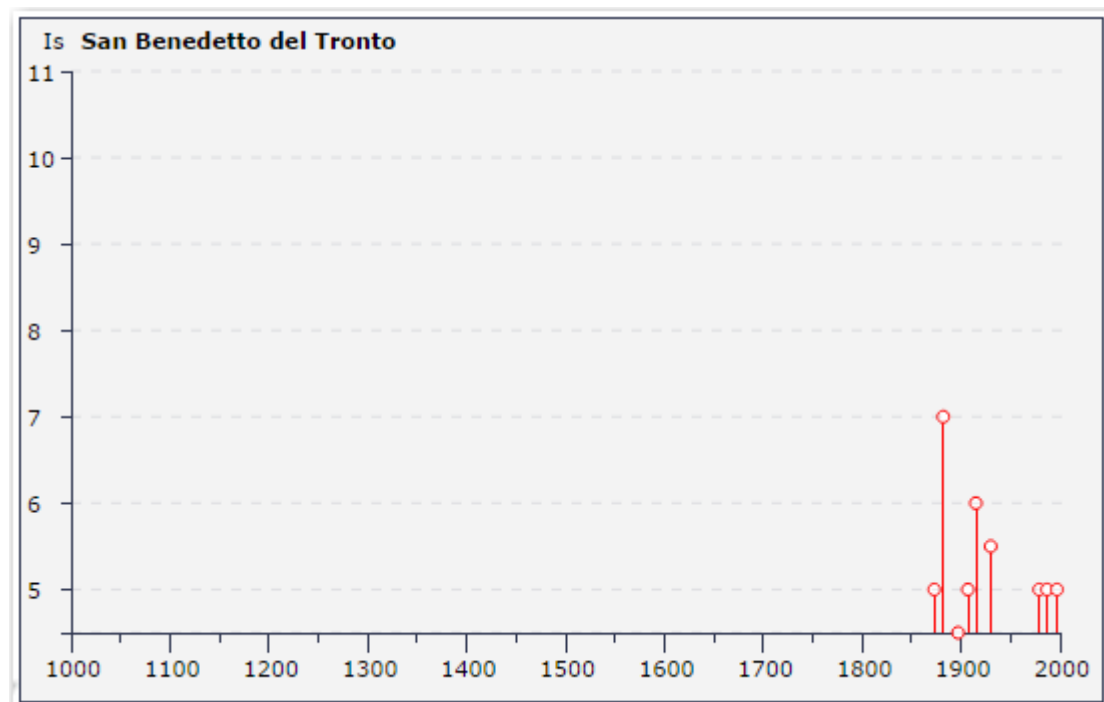


### 8.3 Storia sismica Comune di San Benedetto del Tronto

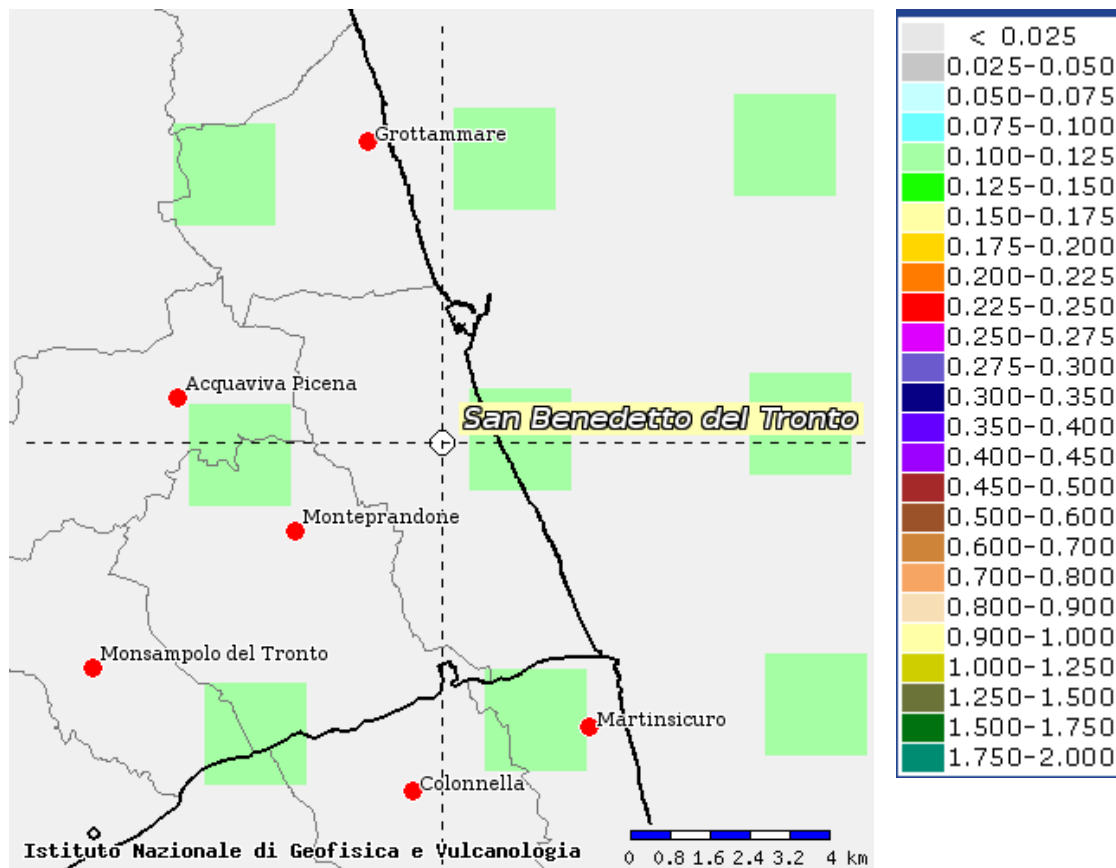
[42.934, 13.893]

Numero di eventi: 24

Effetti	In occasione del terremoto del:				
Is	Anno Me Gi Or Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
3	1870 02 08	NUMANA	10	7	5.11
5	1873 03 12 20 04	Marche meridionali	196	9	5.88
4	1875 12 06	S.MARCO IN LAMIS	97	8	6.07
7	1882 08 16	GROTTAMMARE	13	7	4.97
4-5	1897 09 21	ADRIATICO CENTRALE	44	7	5.50
NF	1897 12 18 07 24	Appennino umbro-march.	132	7-8	5.18
NF	1898 06 27 23 38	RIETI	186	8	5.48
NF	1898 08 25	VISSO	66	7	5.09
5	1907 01 23 00 25	ADRIATICO CENTRALE	93	5	4.84
3	1911 02 19 07 18	Romagna meridionale	185	7	5.38
6	1915 01 13 06 52	AVEZZANO	1040	11	6.99
3	1924 01 02 08 55	SENIGALLIA	73	7-8	5.59
5-6	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	263	8-9	5.94
4	1933 09 26 03 33	Maiella	326	9	5.68
3	1934 11 30 02 58	Adriatico	51	5	5.77
F	1951 05 25 20 42	ADRIATICO	5	4	5.17
5	1979 09 19 21 35	Valnerina	691	8-9	5.90
4	1980 11 23 18 34	Irpinia-Basilicata	1317	10	6.89
NF	1983 11 09 16 29	Parmense	835	7	5.10
4	1984 04 29 05 02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.68
4	1984 05 07 17 49	Appennino abruzzese	912	8	5.93
5	1987 07 03 10 21	PORTO SAN GIORGIO	359	7	5.18
NF	1990 05 05 07 21	POTENTINO	1374	7-8	5.84
5	1997 09 26 09 40	Appennino umbro-march.	869	9	6.05

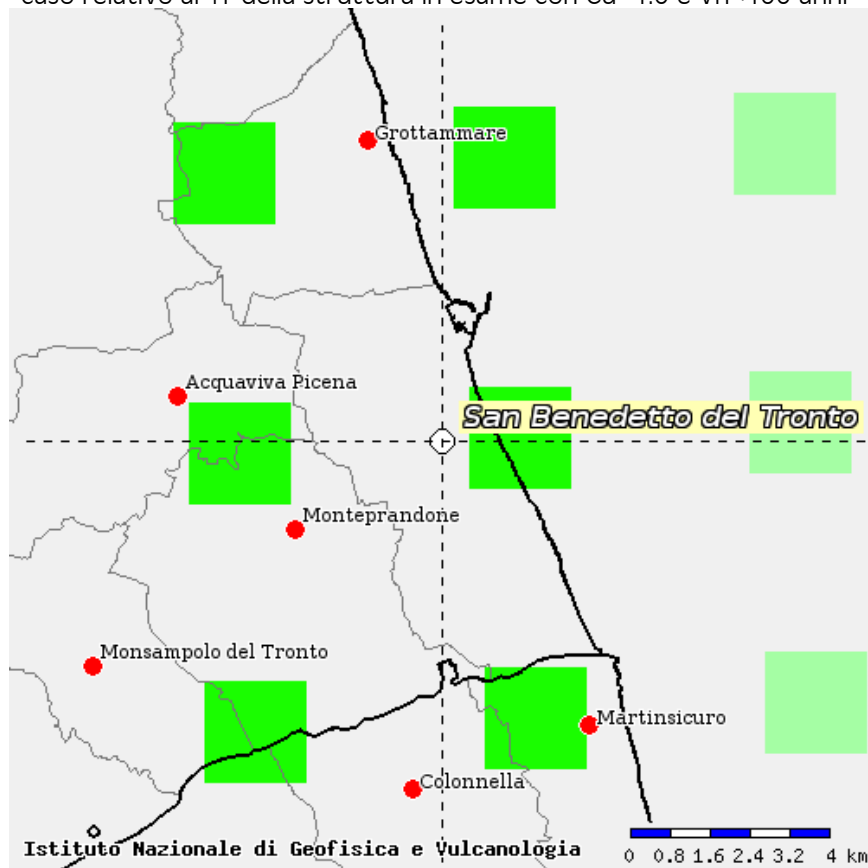


8.4 Mappa interattiva pericolosità sismica da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/> (ag)

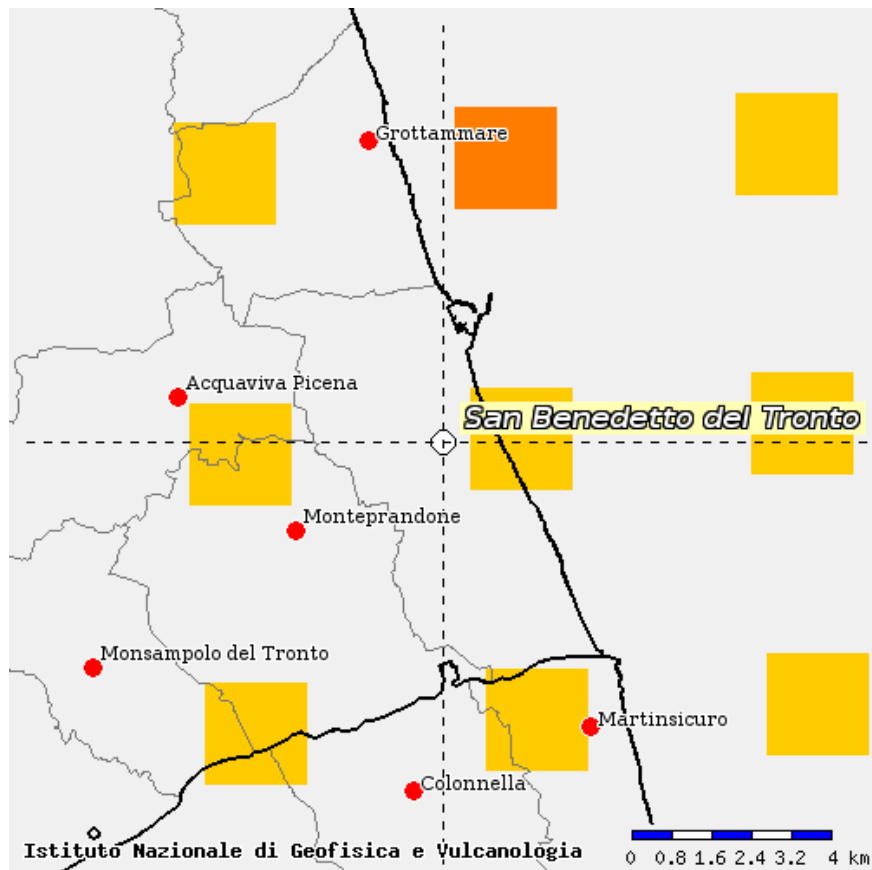


Probabilità in 50 anni : 30% - Percentile 84 – Parametro : ag (Tr = 100 anni)\*

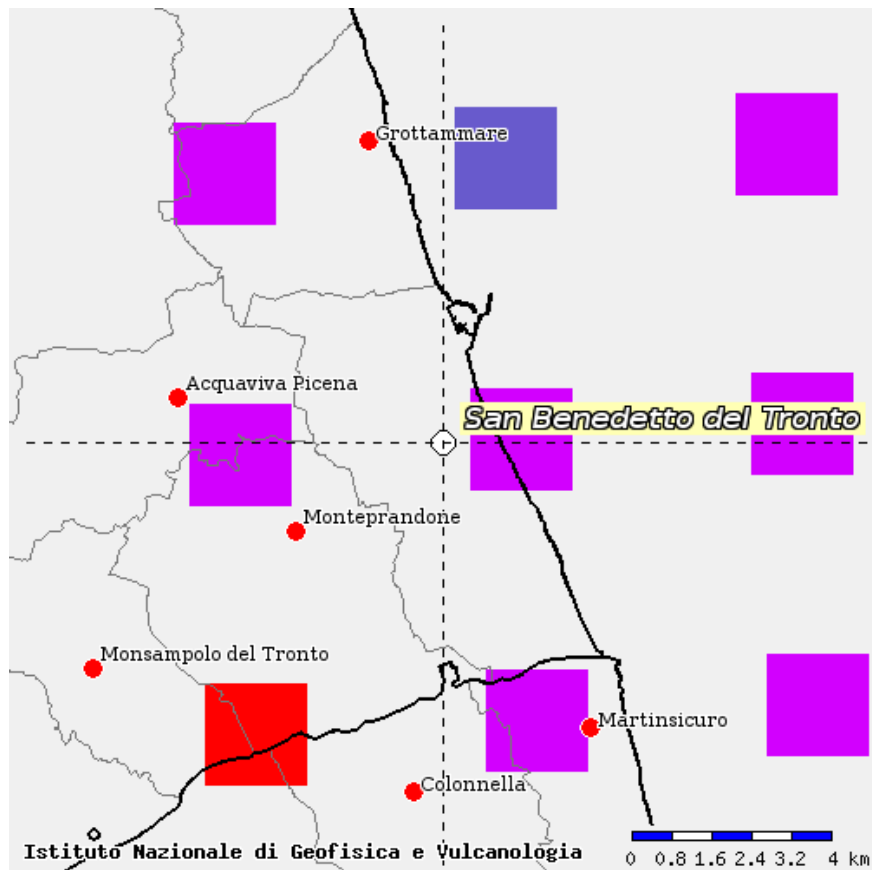
\*caso relativo al Tr della struttura in esame con Cu=1.0 e Vn<100 anni



Probabilità in 50 anni : 22% - Percentile 84 – Parametro : ag (Tr = 140 anni)

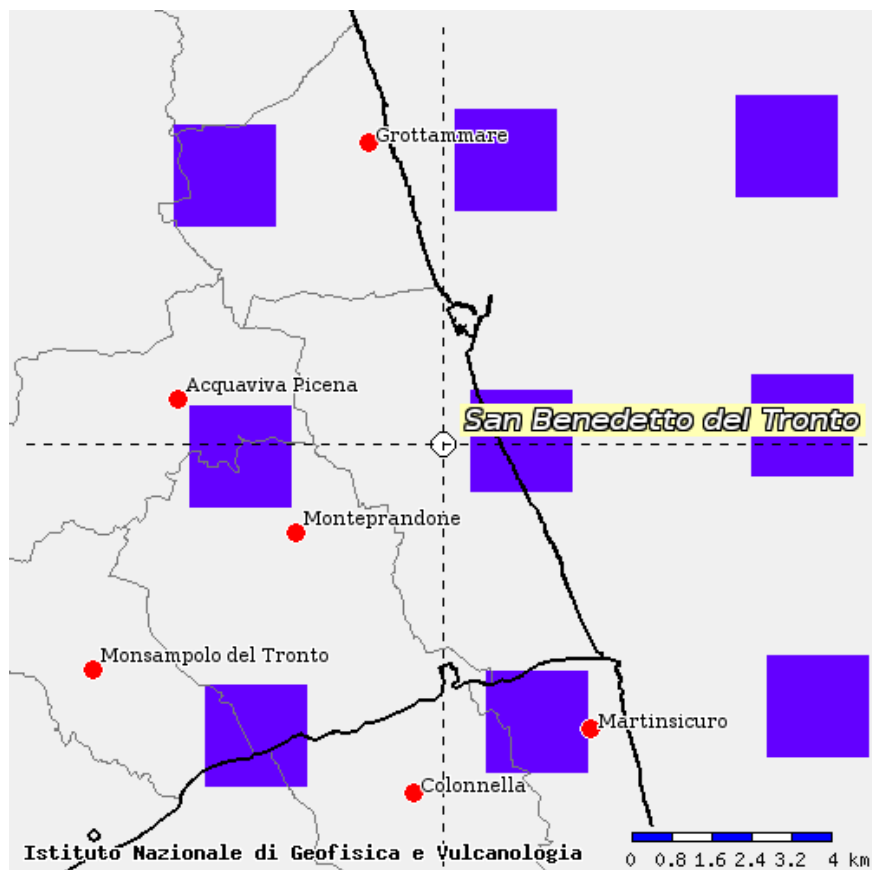


Probabilità in 50 anni : 10% - Percentile 84 – Parametro : ag (Tr = 200 anni)



Probabilità in 50 anni : 5% - Percentile 84 – Parametro : ag (Tr = 975 anni)





Probabilità in 50 anni : 2% - Percentile 84 – Parametro :  $a_g$  ( $T_r = 2500$  anni)

## CONSIDERAZIONI

Per quanto riguarda nel dettaglio l'area di interesse, ubicata all'interno del territorio comunale di San Benedetto del Tronto, dall'approfondimento in merito, illustrato nei paragrafi che analizzano il Database DISS ver. 3.2.0 dell'INGV, con la storia sismica del Comune e la Pericolosità Sismica del sito espressa come valore di  $a_g$ , **emerge una Magnitudo massima delle Sorgenti sismotettoniche più vicine non superiore a 5.9** in linea con i valori attesi per l'area ed un valore dell'accelerazione massima  $a_g$  del suolo compresa tra 0.100 e 0.175.

Nel caso della sorgente sismotettonica ITCS054 con  $M_w$  pari a 5.5, si può attendere una  $a_g$  pari a 0.411 in relazione alla configurazione stratigrafica dei luoghi con depositi con spessore NON superiore ai 20m posti su substrato non rigido con  $T_r$  valutabile in 975 anni e probabilità del 5%.

Dall'analisi e caratterizzazione sismica del sito in esame, emerge la compatibilità dell'intervento legata prevalentemente alla stratigrafia dei luoghi, alla topografia ed alle caratteristiche intrinseche dei terreni, sulla base della sismicità comunque ridotta in relazione agli eventi registrati nell'area di intervento.

In relazione alla fase esecutiva saranno necessarie indagini di dettaglio sia geotecniche e stratigrafiche che a livello sismico specie per la definizione della frequenza di risonanza del sito.

In conclusione risulta compatibile l'intervento di riqualificazione ed ampliamento anche sotto l'aspetto geomorfologico ed idrogeologico non essendo state evidenziate criticità, inoltre dall'analisi della configurazione geologico-stratigrafica e della caratterizzazione geotecnica si valutano discrete le proprietà meccaniche dei terreni presenti in loco e non si rilevano situazioni di rischio, con un giudizio positivo relativamente alla compatibilità e fattibilità dell'intervento nella sua globalità sotto l'aspetto geologico-idrogeologico-sismico e geotecnico preliminare.

## CONSIDERAZIONI FINALI

In base ai dati emersi mediante le indagini reperite ed eseguite, vengono fatte alcune considerazioni utili al progettista al fine di favorirlo nelle sue scelte:

- il sito di intervento non è interessato da fenomeni morfogenetici in atto o potenziali e quindi lo si può considerare attualmente stabile;
- le opere previste nel progetto, non pregiudicheranno la stabilità dell'area interessata, non influiranno né sul regime idrico delle acque superficiali né su quello delle acque profonde, si possono quindi considerare compatibili con gli equilibri ambientali locali;
- dall'esame delle caratteristiche morfologiche dell'area non sono emersi particolari elementi che rendono il fondo o porzioni di esso non idoneo per la realizzazione del progetto;
- in relazione alla configurazione stratigrafica del sito ed alla categoria di suolo, nonché alla configurazione tettonica, non si evidenzia un elevato rischio sismico della zona oggetto di intervento.

## Mappa delle zone sismogenetiche ed analisi di pericolosità sismica con approccio probabilistico

Un'analisi di pericolosità sismica con metodi deterministici è più appropriata per le regioni dove ogni faglia attiva dà luogo a terremoti di intensità sempre simile, per cui per ogni zona sismogenetica è possibile definire un "terremoto caratteristico".

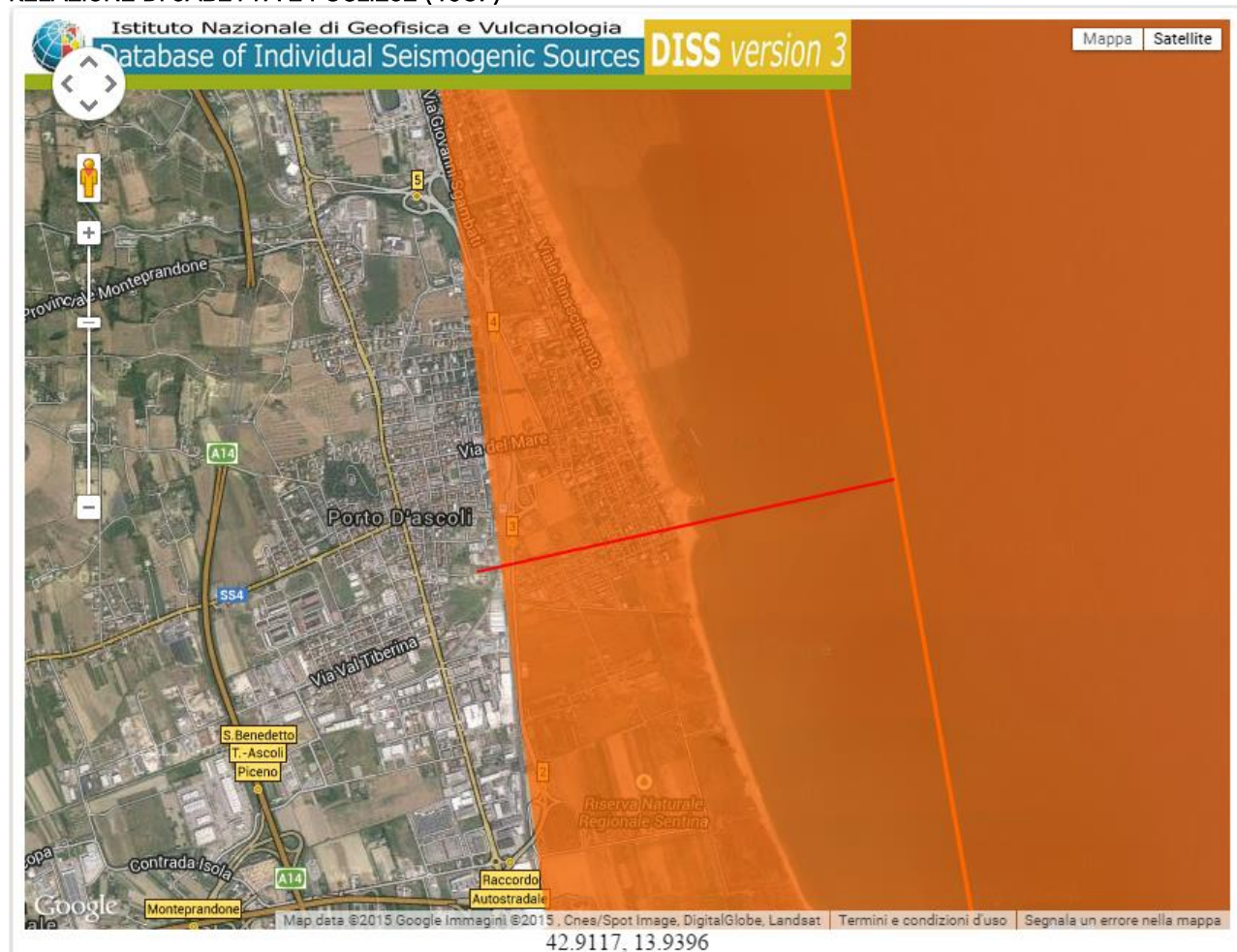
(1) per ogni zona sorgente (ZS) viene stimata la massima magnitudo attesa;

(2) si determinano le distanze del sito di indagine da ciascuna zona sorgente;

(3) attraverso un modello di attenuazione si stima lo scuotimento del suolo dovuto alle sorgenti sismiche.

Per le zone sorgenti è stato utilizzato il database DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) 3.1.1

## RELAZIONE DI SABETTA E PUGLIESE (1987)



Le relazioni di attenuazione sono utilizzate per determinare il livello di accelerazione massima attesa su un affioramento rigido in funzione della distanza epicentrale e magnitudo.

La relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese è applicabile a tutto il territorio Italiano. E' valida per terremoti con Magnitudo maggiori di 4.6 e minori di 6.8.

Per il caso specifico e la sorgente sismogenetica più vicina al sito in studio, si ottiene un'accelerazione al suolo (g) pari a 0.411 in relazione a riattivazione della sorgente ITCS054 con Mw pari a 5.5.

San Benedetto del Tronto

Genn 2017

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Alessandro Mascitti

