



CIG: 87792756EA - CUP: C65E19000350001 - Rimozione Colmata e Bonifica Arenili - CUP: C65E19000390001 - Progettazione e Risanamento Sedimenti Marini

INVITALIA

APPALTO MISTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE PER APPALTO INTEGRATO, COMPRESIVO DI SERVIZI DI INDAGINI E DI LAVORI DI TEST DI DIMOSTRAZIONE TECNOLOGICA, OLTRE AI SERVIZI DI DIREZIONE DEI LAVORI E DI COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE, AFFERENTE ALL'INTERVENTO DENOMINATO "RIMOZIONE COLMATA, BONIFICA DEGLI ARENILI EMERSI "NORD" E "SUD" E RISANAMENTO E GESTIONE DEI SEDIMENTI MARINI COMPRESI NEL SITO DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI-COROGLIO (NA)".

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
0	First Issue	3BA	PROGER	RINA	20/07/2023

All rights, including translation, reserved. No part of this document may be disclosed to any third party, for purposes other than the original, without written consent of RINA Consulting S.p.A.



PROGER



ambiente s.p.a.
consulenza & ingegneria
esperienza per l'ambiente

ARCADIS

FINALCA
ingegneria s.r.l.

3BA s.r.l.
engineering and consulting



AS

INDICE

	Pagina
INDICE DELLE TABELLE	2
INDICE DELLE FIGURE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	4
1 PREMESSA	5
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3 DOCUMENTO DI RIFERIMENTO	7
4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	8
5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	9
6 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO	12
7 SISMICITA'	17
7.1 ZONA SISMICA	21
7.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE	32
7.3 CPTI15 – DBMI15 V 4.0	33
7.4 INDAGINI GEOFISICHE	43
7.5 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	43
7.6 CATEGORIA TOPOGRAFICA	44
7.7 PARAMETRI SISMICI	45
7.7.1 Vita nominale, classe d'uso e period di riferimento	45
7.7.2 Stato limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno	46
7.7.3 Definizione della pericolosità sismica di base	47
7.7.4 Pericolosità sismica di sito	51
8 LIQUEFAZIONE	58
8.1 VERIFICA DI LIQUEFAZIONE	60
REFERENCES	69

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6.1:	Stratigrafia di riferimento colmata	15
Tabella 7.1:	Tabella riassuntiva dei risultati delle prove MASW	43
Tabella 7.2:	Tabella 3.2.II "Categoria di sottosuolo" – D.M. 17.10.2018	44
Tabella 7.3:	Tab. 3.2.III – Categorie topografiche	45
Tabella 7.4:	Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni	45
Tabella 7.5:	Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR	47
Tabella 7.6:	Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR	47
Tabella 7.7:	Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC2018, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.	48
Tabella 7.8:	Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.	52

INDICE DELLE FIGURE

Figura 4.1:	Figure Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli	8
Figura 5-1:	stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 con relativa legenda	10
Figura 6-1:	Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (semplificata).	12
Figura 6-2:	Ubicazione sondaggi ambientali –Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)	13
Figura 6-3:	A sinistra le curve di livello del top e a destra quelle del bottom (m s.l.m.) dei terreni di riporto costituenti la colmata	14
Figura 6-4:	Planimetria con tracce delle sezioni stratigrafiche	15
Figura 6-5:	Planimetria con tracce e sezioni stratigrafiche	16
Figura 7.1:	In alto: stralcio della Carta delle faglie attive e capaci Ithaca, su base della carta geologica in scala 1:100000 – Golfo di Pozzuoli – Faglia Posillipo. In basso: Caratteristiche geometriche e referenze della Faglia Posillipo.	18
Figura 7.2:	Distribuzione degli eventi sismici relative all'ultimo anno registrati dalla rete di stazioni sismiche dell'Osservatorio Vesuviano	19
Figura 7.3:	Pericolosità sismica di base del territorio nazionale. In alto a dx particolare della regione Campania, in basso a dx particolare della regione Campania secondo la discretizzazione del territorio.	20
Figura 7.4:	zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006.	21
Figura 7.5:	All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.	22
Figura 7.6:	INGV: Misurazione linea tra un punto del quadrato di definizione della pericolosità sismica e l'area della colmata di Bagnoli – Comune di Napoli	23
Figura 7.7:	INGV: Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale in cui è segnata l'area in oggetto con un cerchio rosso – Comune di Napoli	24
Figura 7.8:	Zonazione sismogenetica ZS9	25
Figura 7.9:	Zonazione sismogenetica ZS9, dove l'area d'interesse è evidenziata da un cerchio verde	26
Figura 7.10:	Simboli #: Valore fissato (zona di vulcanismo recente). *:" Giudizio Esperto"	27
Figura 7.11:	Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni	28
Figura 7.12:	Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni	29
Figura 7.13:	Curve di pericolosità	30

Figura 7.14:	Spettri a pericolosità uniforme	31
Figura 7.15:	Classificazione sismica della Regione Campania. Fonte: Regione Campania	32
Figura 7.16:	Distribuzione geografica degli epicentri dei terremoti contenuti in CPT115 per classi di Mw e limite della copertura spaziale (poligono blu)	34
Figura 7.17:	CPT115-DBMI1- Area di Bagnoli (Comune di Napoli)	42
Figura 7.18:	Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.	49
Figura 7.19:	Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018	49
Figura 7.20:	Applicazione dell'interpolazione bilineare	50
Figura 8.1:	Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione	58
Figura 8.2:	Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione	59
Figura 8.3:	Sondaggi SG14, SG15 e SG16 evidenziati in rosso	62

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

NTC	Norme Tecniche delle Costruzioni
INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

1 PREMESSA

Il presente documento è stato preparato nell'ambito dell'*Appalto misto di servizi di ingegneria e architettura per la progettazione definitiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per appalto integrato, comprensivo di servizi di indagini e di lavori di test di dimostrazione tecnologica, oltre ai servizi di direzione dei lavori e di coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferente all'intervento denominato "rimozione colmata, bonifica degli arenili emersi "Nord" e "Sud" e risanamento e gestione dei sedimenti marini compresi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio (NA)".*

Il contesto in cui si inseriscono gli interventi di appalto integrato suddetti è stato delineato dal Piano di Risanamento Ambientale e di Rigenerazione Urbana di Bagnoli (PRARU), il cui Stralcio Urbanistico e relative Norme Tecniche Attuative (NTA) sono stati approvati nella Conferenza di Servizi (CdS) del 14 giugno 2019 e adottati dal Commissario con Decreto n. 81 del 21 giugno 2019 e dal Presidente della Repubblica con D.P.R del 6 agosto 2019. Il PRARU prevede che saranno ricostituite le caratteristiche originarie del sito, alterate dalle precedenti attività industriali con, come obiettivo primario, il ripristino della balneabilità dello specchio acqueo antistante il sito, tramite le seguenti azioni:

- Eliminazione degli scarichi incontrollati attualmente attivi
- Risanamento dei sedimenti inquinati a mare
- Ripascimento e bonifica degli arenili emersi
- Rimozione delle scogliere di protezione presso l'arenile Nord e Sud

Il PRARU prevede quindi una nuova configurazione della costa all'interno della baia con le seguenti caratteristiche:

- Rimozione integrale della colmata
- Valorizzazione del Pontile Nord.
- Demolizione dei tre pontili
 - Pontile Sud
 - Pontile Sala Pompe
 - Pontile Città delle Scienze
- Realizzazione spiaggia pubblica nel tratto di lungomare compreso tra l'Arenile Nord e l'Arenile Sud avente

le seguenti caratteristiche:

- 2 km di lunghezza
- 60 m larghezza minima
- 120 m larghezza massima
- 21,3 ettari di superficie
- Porto turistico a Nisida

Al fine di consentire di completare/realizzare tutti gli interventi necessari e prodromici alla piena rigenerazione urbana definita dal PRARU, INVITALIA ha predisposto il Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica per la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale delle aree a terra e dell'area marina nell'area del Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli Coroglio (di seguito PFTE) sottoposto a Conferenza di Servizi preliminare conclusasi nell'agosto 2020.

Il PFTE è stato articolato sostanzialmente in tre principali linee di intervento:

- aree a terra, sia di proprietà di INVITALIA che di competenza in qualità di Soggetto Attuatore in quanto ricadenti all'interno del SIN;
- MACROAREA 1: area di colmata, per la quale si deve intendere ricompresa anche la fascia degli arenili emersi a nord (arenile Bagnoli) e a sud (arenile Coroglio) nonché la porzione di sedimenti sui quali insiste l'area di colmata vera e propria;
- MACROAREA 2: area marina, comprendente le volumetrie di sedimenti sommersi ricadenti all'interno del SIN, al netto di quelli di cui al punto precedente.

Lo scopo del lavoro è quello di definire la compatibilità delle previsioni del Progetto Definitivo di bonifica con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del territorio sotteso all'intervento stesso.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- [1] O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 (Supplemento ordinario alla G.U. 8.5.2003 n.105) -Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- [2] O.P.C.M. 3519 del 2006-Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale
- [3] Giunta Regione Campania n. 5447 del 07/11/2002-Aggiornamento delle zone sismiche
- [4] Giunta Regionale della Campania, con deliberazioni n. 335 del 31/01/2003 e n. 2322 del 18/07/2003.
- [5] D.M. 17 gennaio 2018- Norme Tecniche per le Costruzioni.

3 DOCUMENTO DI RIFERIMENTO

- Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 e note alla carta.
- Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli (F. Russo, G. Calderoni, M. Lombardo, 1998)
- P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica
- P22041-D-00-GE-RS-REL-04-00: Relazione geotecnica

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La piana di Bagnoli-Coroglio è un'area pianeggiante che affaccia sul Mar Tirreno nel settore orientale del Golfo di Pozzuoli, tra Pozzuoli e Napoli.

In particolare, l'area è delimitata ad ovest dal centro abitato di Bagnoli, a Nord da Fuorigrotta ad est dalla Collina di Posillipo e dall'Isola di Nisida, elemento di pregio paesaggistico. La piana e i rilievi che la circondano rappresentano parte integrante del complesso sistema vulcanico dei Campi Flegrei che, con la sua attività, ha determinato l'attuale configurazione strutturale del territorio.

La Piana di Bagnoli-Coroglio si sviluppa per circa 4 km, in senso SW-NE, in un territorio prevalentemente pianeggiante che va dalla linea di costa ad una quota di circa 50 m s.l.m. L'area ha una superficie di circa 7.5 km² e ha una forma quadrilatera trapezoidica.

L'area oggetto di intervento è densamente urbanizzata e presenta una viabilità sviluppata che si articola tra i diversi centri urbani: Bagnoli, Rione Cavalleggeri, Fuorigrotta e Posillipo. La viabilità dell'area è costituita da:

- ✓ Via Bagnoli e Via Diocleziano, al limite settentrionale del SIN
- ✓ Via Coroglio, tra la Colmata e l'area a terra, al limite occidentale del SIN.
- ✓ Via Pasquale Leonardi Cattolica e i suoi proseguimenti Via Cavalleggeri d'Aosta e Via Campegnà, in prossimità della Collina di Posillipo, al limite meridionale del SIN.
- ✓ Via Nisida che collega l'Isola di Nisida sia con il SIN che con la Discesa Coroglio e quindi con la Collina di Posillipo.
- ✓ Via Enrico Coccia, che attraversa nella parte centrale il SIN
- ✓ Le strade che fanno parte della rete stradale principale più vicine all'area sono: il tratto della Tangenziale di Napoli da Pozzuoli a Fuorigrotta e il tratto di SP 303 che comprende Via Solfatara, Via San Gennaro Agnano, Viale John Fitzgerald Kennedy e Via Giulio Cesare
- ✓ Linea metropolitana dalla fermata Bagnoli – Agnano Terme, Agnano, Cavalleggeri Aosta, Napoli Campi Flegrei e Napoli Piazza Leopardi, che costeggia esternamente al perimetro del SIN gli abitati di Bagnoli, Rione Cavalleggeri e Fuorigrotta
- ✓ L'area portuale prossima al sito del Porto di Pozzuoli

Il focus sulla viabilità è stato inserito sia in relazione alla possibile movimentazione dei materiali coinvolti nel processo di bonifica da/per le aree di trattamento e/o deposito, sia in relazione alle considerazioni espresse nel presente documento per valutare l'eventuale interazione dei luoghi oggetto dello studio rispetto alle particolari condizioni di rischio vulcanico.



Figura 4.1: Figure Inquadramento geografico del Golfo di Pozzuoli

Fonte: Google Heart

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Geologicamente, la città di Napoli ricade nel Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000. La città è compresa nella Piana Campana che rappresenta un profondo graben carbonatico, come conseguenza delle fasi tettoniche del Pliocene superiore e nel Quaternario, colmato da depositi piroclastici e alluvionali associati a frequenti depositi marini e palustri; in conseguenza di ciò, l'assetto e la costituzione geolitologica del territorio derivano non soltanto dai processi tettonici che hanno dato origine alla Piana Campana, ma anche dai successivi eventi vulcanici dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio.

Nello specifico l'area di Bagnoli, situata ad Ovest della città di Napoli si trova in corrispondenza dell'areale vulcanico dei Campi Flegrei. La struttura dei Campi Flegrei è fortemente condizionata dai due grandi eventi ignimbritici che hanno eruttato enormi volumi di magma e causato due sprofondamenti calderici 39mila anni fa, con l'eruzione dell'Ignimbrite Campana, e 15mila anni fa, con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano.

Entrambe sono eruzioni Pliniane e hanno avuto un'evoluzione simile, iniziando con una fase da colonna sostenuta che ha depositato prodotti da caduta, seguita dal collasso della colonna eruttiva con la formazione di correnti piroclastiche che hanno accumulato spesse successioni piroclastiche. Al contrario, lo stile eruttivo dei due eventi, e, conseguentemente, i tipi di depositi sono notevolmente diversi. Quella dell'Ignimbrite Campana è un'eruzione magmatica e la fase esplosiva è controllata dai gas interni mentre quella del Tufo Giallo Napoletano è una delle rare eruzioni di tipo freatopliniano.

Il graben nel quale è posizionato l'area di progetto è denominato depressione tettonica di Bagnoli-Fuorigrotta e si trova ad Ovest della città di Napoli.

Situata tra il campo policroterico di Agnano e la dorsale di Posillipo, la depressione di Bagnoli-Fuorigrotta deve il suo assetto all'attività vulcanica e tettonica legata alla storia eruttiva dei Campi Flegrei degli ultimi 12 mila anni.

La serie sedimentaria che costituisce il riempimento della depressione è costituita principalmente da sedimenti di origine vulcanica subaerei e marini depositatisi in un'area caratterizzata da prevalente subsidenza. A questi sedimenti sono spesso intercalati depositi alluvionali, limno-palustri e paleosuoli.

La depressione si è individuata, come bacino di sedimentazione marina, con il collasso vulcano-tettonico che, 12 mila anni fa circa, originò la caldera Flegrea. Essa fu ristretta e confinata spazialmente dalla costruzione, in seguito a numerose eruzioni prevalentemente esplosive, del campo policroterico di Agnano che, in due fasi distinte, tra 11 e 3.7 mila anni fa circa, contribuì all'aggradazione della depressione bacinale con conseguente avanzamento della linea di costa e formazione del Terrazzo di Bagnoli-Fuorigrotta.

Tra 5.5 e 3.7 mila anni fa, avvenne l'ultima fase di grande attività del campo di Agnano (eruzioni di Celle-Monte Sant'Angelo, Monte Spina, La Solfatara, Monte Olibano, Astroni, ecc.).

La risalita eustatica del livello marino insieme ad una marcata subsidenza di natura bradisismica consentirono che a valle del Terrazzo, nella Piana di Coroglio, continuasse la sedimentazione marina, intervallata da episodi continentali di tipo limno-palustri. Da circa 1.8 ka, con la formazione di un cordone dunare lungo la costa, la Piana di Coroglio ha assunto l'attuale fisionomia. Da questo momento essa è stata oggetto solo di movimenti verticali bradisismici la cui entità è stata tale che il mare non ha più potuto avanzare su di essa.

Di seguito si riporta lo stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000.

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

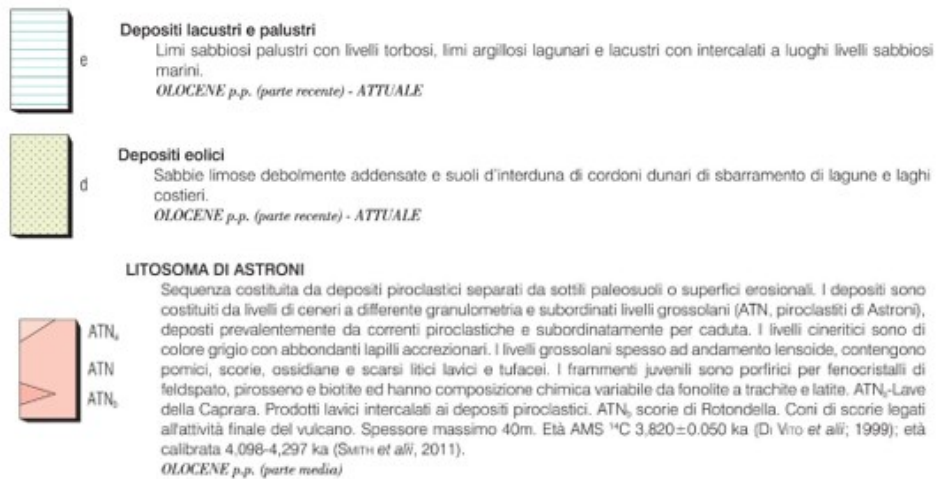
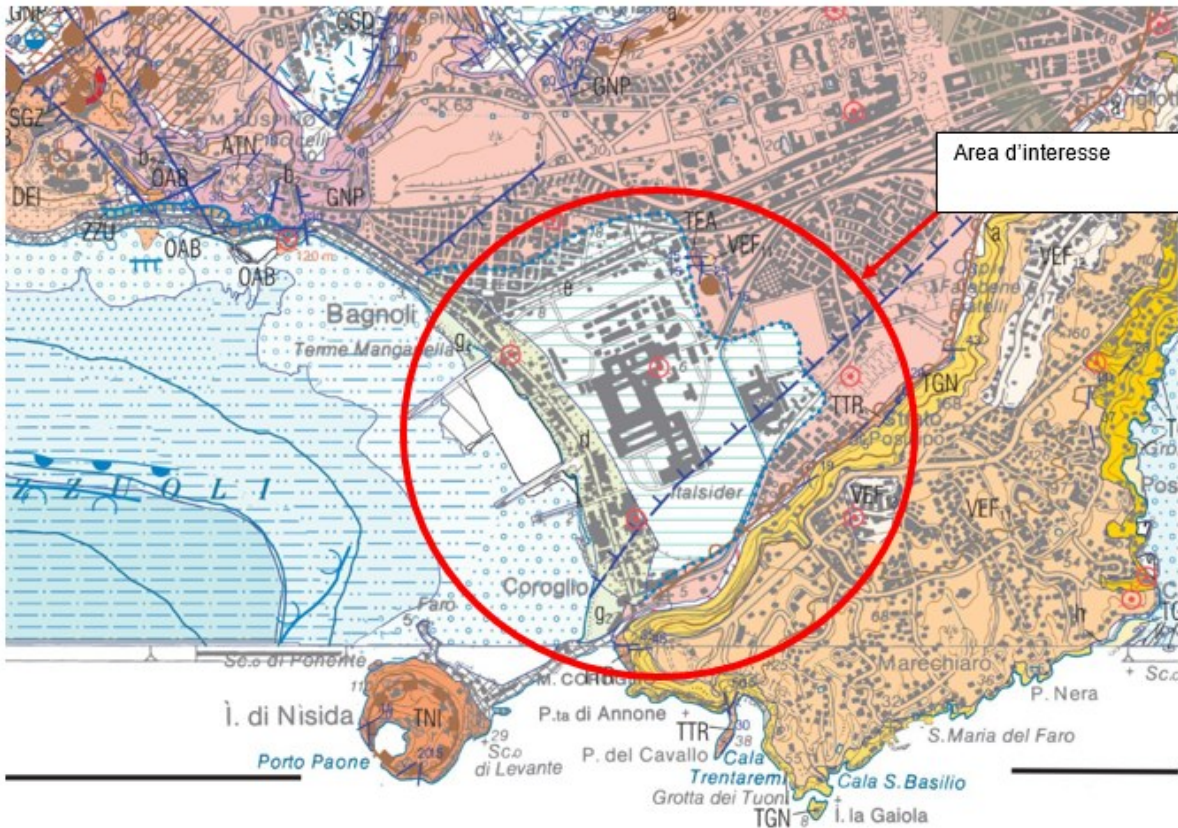


Figura 5-1: stralcio del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 con relativa legenda

Fonte: Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

L'attività vulcanica di Astroni viene evidenziata all'interno del Foglio 446-447 (Napoli) della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 come litosoma di Astroni (ATN). Trattasi di una sequenza complessa costituita da depositi piroclastici separati da sottili paleosuoli o superfici erosionali. I depositi sono costituiti prevalentemente da livelli di ceneri a differenti granulometrie e subordinati livelli grossolani. I livelli cineritici sono di colore grigio generalmente ricchi di lapilli e spesso coesivi.

Dopo questa fase si alternarono i numerosi eventi di trasgressione e regressione marina che diedero origine ai depositi che occupano attualmente la gran parte dell'area ex Italsider, trattasi di sabbie e limi di ambiente litorale attuale e recente. Si tratta di depositi generalmente poco addensati, sovente rimaneggiati e localmente coalescenti con depositi antropici costituiti da scorie di lavorazione. Sono anche presenti depositi di origine palustre a granulometria prevalentemente limosa con livelli torbosi.

La depressione risulta colmata con prodotti di diversi ambienti deposizionali e diverse dinamiche sedimentologiche (oscillazioni del livello medio mare, alluvioni, lagune, paludi, eruzioni vulcaniche, etc.) che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica di questo settore di territorio.

L'area della colmata nello specifico è caratterizzata in massima parte da terreno di riporto antropico che costituisce una coltre di spessore variabile.

I detriti accumulati, costituiti da materiale assai eterogeneo per natura, dimensioni e grado di compattazione, formano i terreni di riporto, cioè terreni la cui messa in posto è stata determinata dall'uomo. Nei depositi antropici si può trovare di tutto: materiale naturale in ogni granulometria ed origine, scarti di cava, manufatti e frammenti di laterizi, prodotti residuali dell'attività industriale, costituito da loppe di altoforno, scorie di acciaieria, pezzame lateritico frammenti a terreni vulcanici rimaneggiati, stratificati e distribuiti con spessori diversi in funzione della trasformazione, nel corso dei decenni, dei processi industriali, poggiati su un sub-strato formato in prevalenza da depositi limo-palustri e dunari.

Pertanto, caratterizzare un deposito antropico è un processo piuttosto complesso, poiché composto la tessitura è caotica.

6 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Il territorio in cui risulta ubicata l'ex area industriale di Bagnoli ha risentito dell'intensa attività vulcanica e tettonica (bradisismo) degli ultimi millenni, alternata alle oscillazioni del livello del mare, che hanno contribuito nel tempo al riempimento della depressione tettonica di Bagnoli, con depositi caratterizzati da una forte disomogeneità sia in senso verticale che orizzontale.

Processi di urbanizzazione ed industrializzazione hanno portato ad una completa trasformazione morfologica del territorio e di conseguenza del "naturale" substrato geologico; infatti, si rinvergono, sia in affioramento che in profondità, depositi di riempimento e di colmata costituiti da terreno di riporto formato anche da una componente di materiale litoide di provenienza industriale frammisto a prodotti cineritici rimaneggiati che hanno ricoperto in modo disuniforme l'intera piana a costituire un nuovo orizzonte litologico

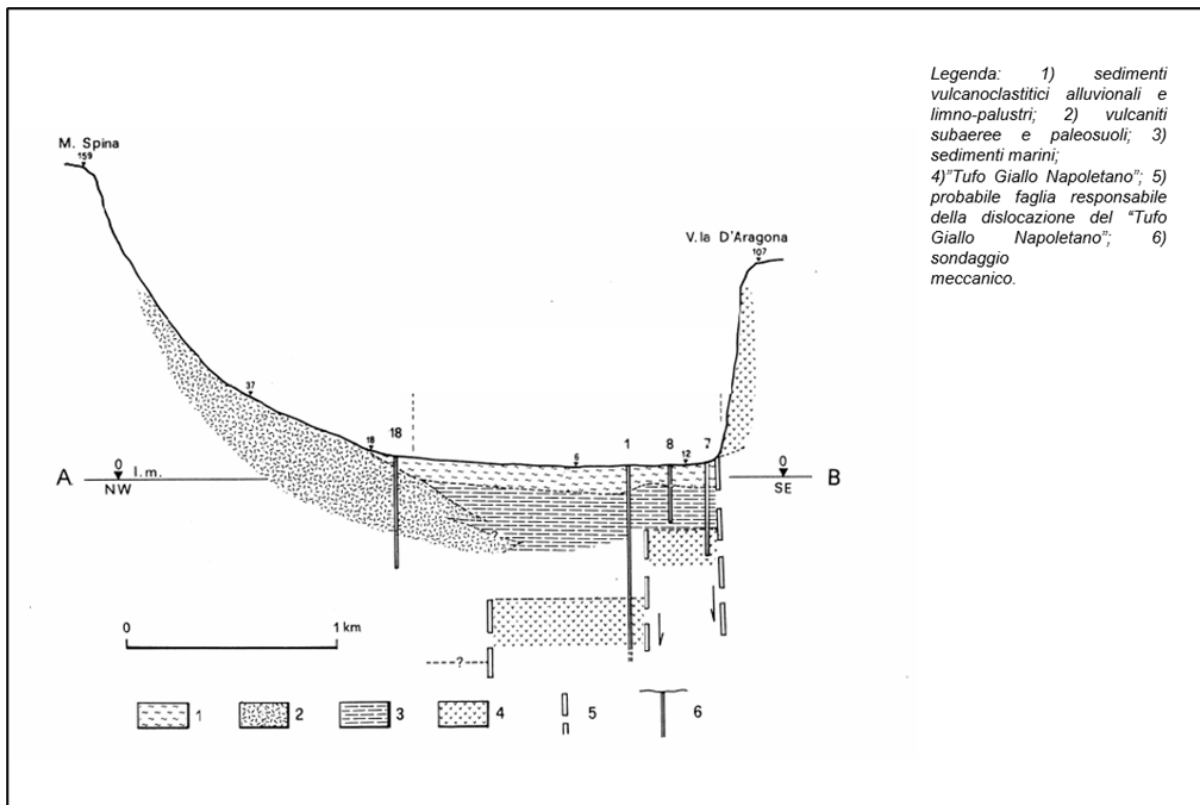


Figura 6-1: Sezione geologica schematica della "Depressione di Bagnoli-Fuorigrotta" (semplificata).

Fonte: P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica

Le stratigrafie dei sondaggi analizzate, che si spingono oltre la coltre dei terreni di riporto, evidenziano le circostanze sopra descritte, infatti, si rinvergono a diverse profondità sedimenti di origine marina, paleosuoli e sedimenti fini depositi in ambienti a bassa energia di carattere lagunare o palustre (torbe, limi).

Nei depositi antropici si rileva una notevole eterogeneità di materiali; in particolare, si distinguono: materiale naturale in ogni granulometria ed origine, scarti di cava, manufatti e frammenti di laterizi, prodotti residuali dell'attività industriale, costituito da loppe di altoforno, scorie di acciaieria, pezzame lateritico frammisti a terreni vulcanici rimaneggiati, stratificati e distribuiti con spessori diversi in funzione della trasformazione, nel corso dei decenni, dei processi industriali, poggiati su un sub-strato formato in prevalenza da depositi limno-palustri e dunari.

In studi precedenti, si è cercato di definire la distribuzione areale del terreno di riporto, quantificandone anche lo spessore. Per far questo sono stati elaborati i dati provenienti da esame n. 346 stratigrafie di sondaggi geognostici provenienti da diverse campagne d'indagine realizzate nel tempo.

Questo studio ha permesso di definire la sequenza stratigrafica di seguito descritta dall'alto verso il basso:

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

- ✓ Deposito di colmata: Costituisce il materiale di riporto antropico e piroclastiti rimaneggiate di spessore variabile da 2 a 9 metri.
- ✓ Prodotti del Vulcano Astroni (3700 anni b.p.) – piroclastite cineritica fine, di colore grigio, inglobante lapilli pomicei centimetrici; dal punto di vista granulometrico ascrivibile a sabbia da media a finissima. Spessore variabile da 4 a 10 m;
- ✓ Prodotti dei Vulcani Agnano-Montespina (4500 anni b.p.) – depositi pomiceo-cineritici e colate piroclastiche, intercalate a banchi coriacei saldati. Nelle parti distali si rinvencono depositi pomicei di ricaduta di colore rosato; sono presenti lapilli pomicei e litici centimetrici. Granulometricamente ascrivibile ad una sabbia molto grossolana e media. Spessore variabile da 7 a 10 m;
- ✓ Prodotti del Vulcano Santa Teresa – Ceneri costituite da scorie scure anche di 4-5 cm, immerse in matrice sabbiosa pomicea. Ascrivibile granulometricamente ad una sabbia grossolana e media. Spessore variabile da 10 a 20 metri.
- ✓ Sabbie fossilifere – sabbie a granulometria media grossolana con resti fossili di origine marina. Alla base si rinviene un deposito grossolano di spiaggia.
- ✓ Cineriti – cinerite di colore grigio-verde con rari inclusi pomici e frammenti litici. Ascrivibile granulometricamente ad una sabbia fine-silt. Spessore investigativo variabile da 6 a 13 m.

I 66 sondaggi realizzati nell'ambito dell'Appalto Specifico n.2 del Contratto Quadro per le perforazioni e le indagini di laboratorio del SIN Bagnoli-Coroglio per la caratterizzazione stratigrafica ed ambientale della Colmata e riportati all'interno della Relazione geologica, idrogeologica e sismica redatta per il PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA - BONIFICA E RISANAMENTO AMBIENTALE per INVITALIA evidenziano che lo spessore della coltre dei riporti, insistente su un'area in pianta di 202734 m², oscilla da un minimo di 1.50 m ad un massimo di 8.80 m, con una media pari a 4.82 m.

Da un calcolo grossolano, considerando l'area in pianta moltiplicata per lo spessore medio, è quindi possibile individuare un volume indicativo dei terreni di riporto in Colmata pari a circa 976810 m³.

Nella seguente figura viene rappresentata l'ubicazione dei n.66 sondaggi eseguiti in colmata per l'Appalto Specifico n.2.



Figura 6-2: Ubicazione sondaggi ambientali –Appalto Specifico n.2 – Contratto Quadro Indagini di laboratorio e perforazioni (Invitalia S.p.a. 2018)

Fonte: P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica

L'implementazione geostatistica dei dati a disposizione ha permesso di individuare le quote del tetto della colmata (superficie topografica) e quota del letto della colmata (bottom dei terreni di riporto). Si riportano di seguito le immagini che rappresentano le due configurazioni.

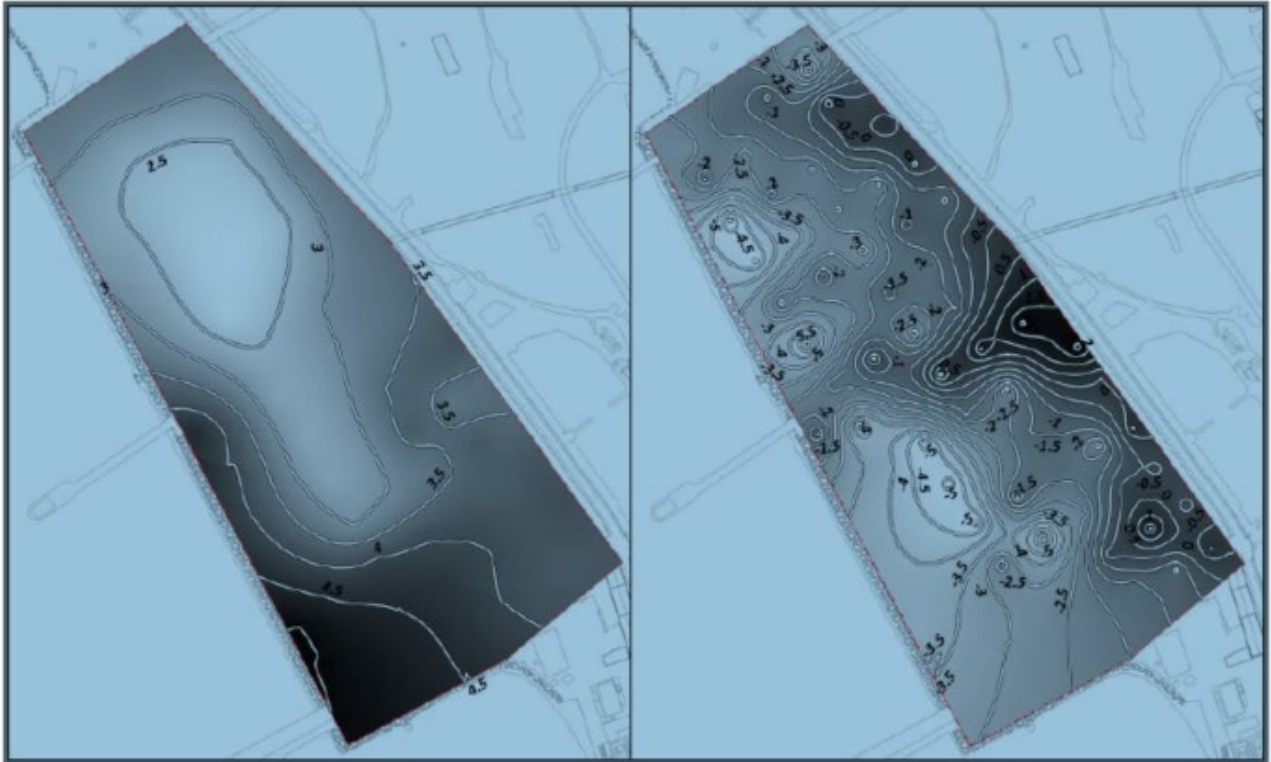


Figura 6-3: A sinistra le curve di livello del top e a destra quelle del bottom (m s.l.m.) dei terreni di riporto costituenti la colmata

Fonte: P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica

Da una interpretazione delle curve di livello che rappresentano il bottom dei terreni costituenti il riempimento della colmata, si può ragionevolmente dire che la quota identificata come zero, espressa in m sul livello del mare, potrebbe essere grossolanamente interpretata come la linea di costa preesistente la colmata.

Dal punto di vista stratigrafico, la colmata risulta quindi costituita da due differenti strati il primo costituito dal riporto antropico e lo strato di base invece rappresenta il sedimento naturale. Nello specifico all'interno del primo strato si trova un telo di HDPE che suddivide il corpo vero e proprio della colmata e gli ultimi accumuli di riporti. Il corpo della colmata è costituito da terreno di riporto formato principalmente da sabbia limosa o da sabbia debolmente limosa/limo sabbiosa tra debolmente ghiaiosa e ghiaiosa con clasti eterogenei ed eterometrici. Lo strato di base, rappresentante il sedimento naturale, è costituito principalmente sabbia medio fine, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia limosa.

Lo spessore medio dei riporti è di circa 4,82 m con massimi di 8,80 (dato scaturito dai sondaggi dell'Appalto Specifico n.2); tale livello giace su sabbie ascrivibile all'antica spiaggia o fondali.

La sequenza stratigrafica dei terreni presenti nell'area in esame può essere ricostruita attraverso le stratigrafie di sondaggio relative alla campagna di indagini di Luglio 2019 (Appalto specifico n.5 – Indagini geotecniche finalizzate alla determinazione dei parametri fisico meccanici dei terreni nell'ambito dell'Accordo Quadro avente ad oggetto servizi di analisi di laboratorio, indagini e sondaggi nel Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli – Coroglio), anche se, per quanto riguarda la colmata e gli arenili le indagini disponibili sono scarse.

I terreni della colmata, quindi possono essere discretizzati attraverso una campagna di 24 prove SPT, che sostanzialmente hanno permesso di riconoscere solo due principali litologie, come descritto dalla relazione nel

progetto di Fattibilità Tecnico Economica, ovvero il terreno di riporto antropico e le antiche sabbie marine di origine vulcanica. Dai dati relativi alle prove sugli arenili nord e sud e con i dati delle elaborazioni eseguite su materiali simili nell'area di terra, si ricava il seguente modello geologico per la colmata:

Tabella 6.1: Stratigrafia di riferimento colmata

Strato	Profondità [m]	Litologia
1	0-5/9	Riporto
2	>5/9	Sabbia grossolana - addensata

Di seguito si riporta la ricostruzione della superficie topografica del substrato nei pressi della colmata attraverso l'interpretazione dei sondaggi realizzati. La traccia mostra con triangolo nero il principio della sezione e con freccia la fine. Tutte le sezioni devono essere interpretate con il principio (triangolo nero) a sinistra e la fine (freccia) a destra.

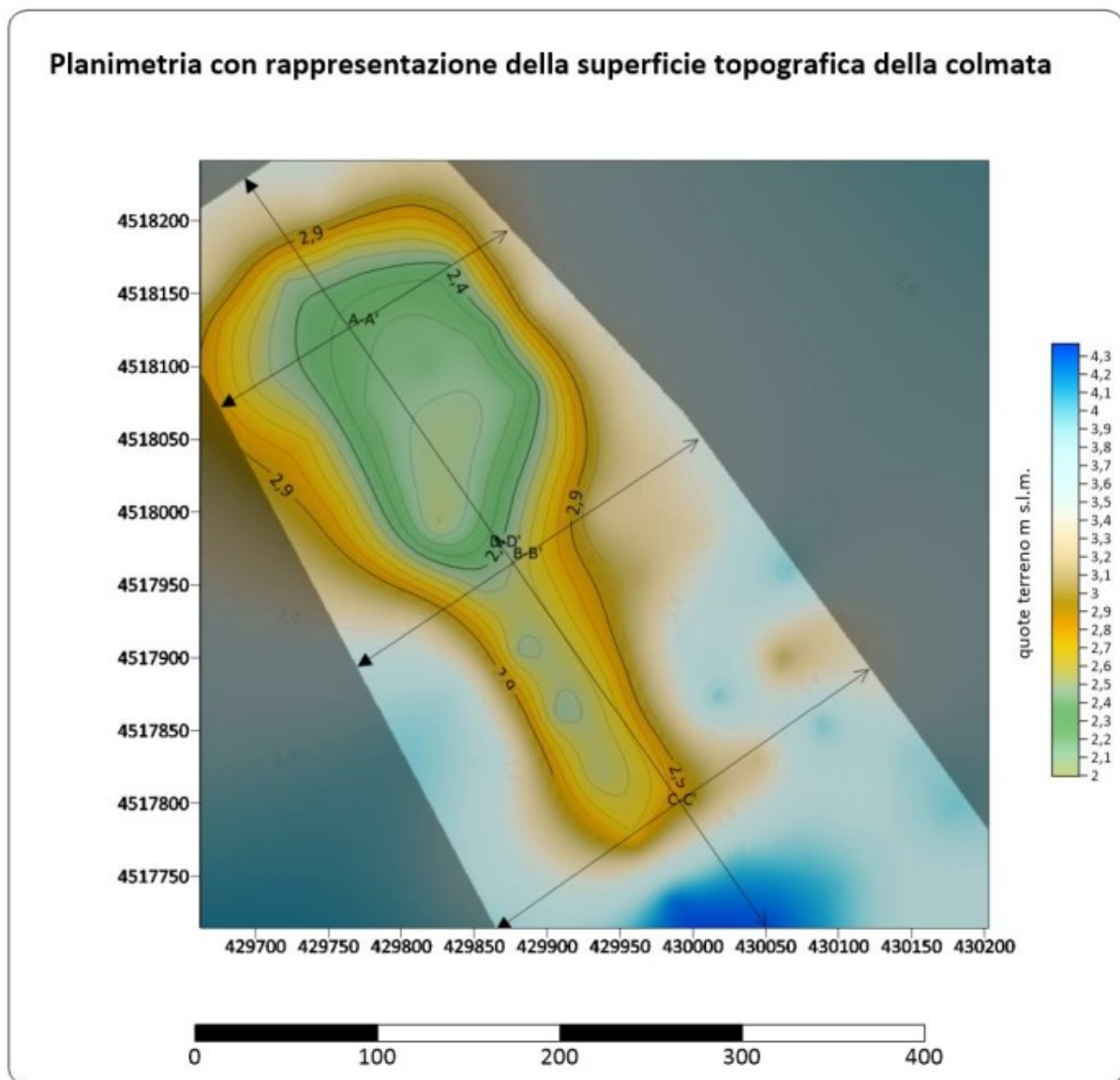


Figura 6-4: Planimetria con tracce delle sezioni stratigrafiche

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Nella pagina seguente sono illustrate le sezioni stratigrafiche che mostrano l'andamento dei riporti al di sopra del substrato geologico costituito prevalentemente da sabbie.

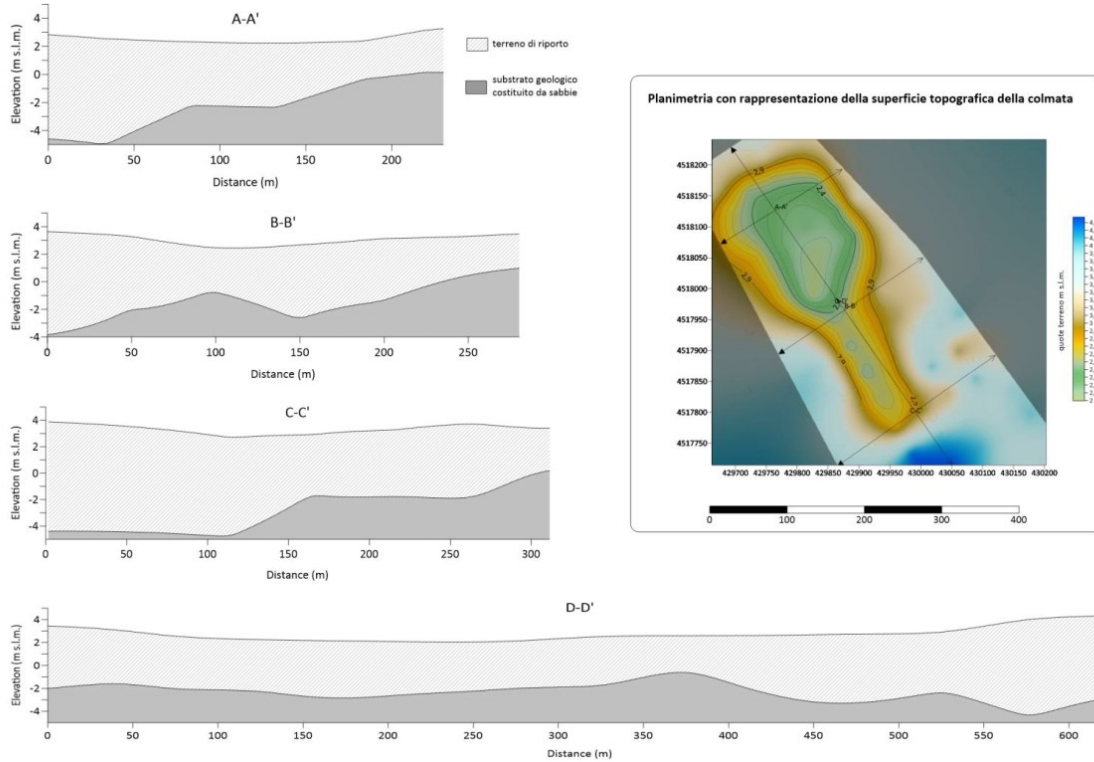


Figura 6-5: Planimetria con tracce e sezioni stratigrafiche

Gli arenili nord e sud sono caratterizzati dall'assenza di riporti mentre il substrato è lo stesso dell'area della colmata. Si può assegnare quindi la presenza di sabbia grossolana – addensata a partire dal p.c.

7 SISMICITA'

La sismicità dei Campi Flegrei è intrinsecamente collegata alla dinamica dell'attività vulcanica e al fenomeno del bradisismo, movimento lento del suolo che si manifesta con un abbassamento del suolo alternato a periodi di sollevamento.

La sismicità di questa fascia costiera tirrenica è di intensità minore rispetto a quella localizzata in catena appenninica. Quest'area vulcanica è infatti caratterizzata da una sismicità che si è mantenuta su livelli di energia relativamente bassi, con magnitudo che raramente hanno superato $M = 3.0$. Mentre il meccanismo prevalente di fagliazione è per entrambe le zone quello normale l'intervallo di profondità è significativamente diverso, in area flegrea i terremoti sono localizzati più in superficie rispetto ai terremoti appenninici, per lo più tra 1 e 5km.

L'inizio della descrizione della sismicità dei Campi Flegrei risale all'eruzione del Monte Nuovo del 1538 che, secondo documenti storici, sarebbe stata preceduta da terremoti. Dopo alcuni secoli di subsidenza successive a quest'ultima eruzione, la caldera dei Campi Flegrei mostra una ripresa della fase di sollevamento.

Negli ultimi decenni si sono verificate tre importanti fasi di sollevamento, 1950-1952, 1969-1972, 1982-1984, accompagnati anche da attività sismica.

Nel 1970-1972 la sismicità è di moderata intensità con alcune centinaia di eventi vulcano-tettonici con Magnitudo < 2 . La crisi sismica più importante è quella verificatasi tra il 1982-1984 quando in occasione di un sollevamento complessivo di 179cm sono stati registrati più di 16000 terremoti vulcano-tettonici con magnitudo massima $M_I = 4.2$; la sequenza sismica che caratterizza questo periodo è la più rilevante registrata nell'area in termini di numero ed energia degli eventi.

Dopo questo secondo episodio, il bradisismo ha invertito la tendenza con un lento abbassamento del suolo, interrotto da brevi e poco intensi momenti di sollevamento, generalmente accompagnati da attività sismica di bassa energia, che si originano a piccola profondità (1-2km). Questi brevi eventi di sollevamento dal 2000 sono diventati più persistenti ed intensi e connessi con sciami sismici di bassa energia, principalmente caratterizzati da eventi vulcano-tettonici in alcuni casi anche da attività sismica a bassa frequenza.

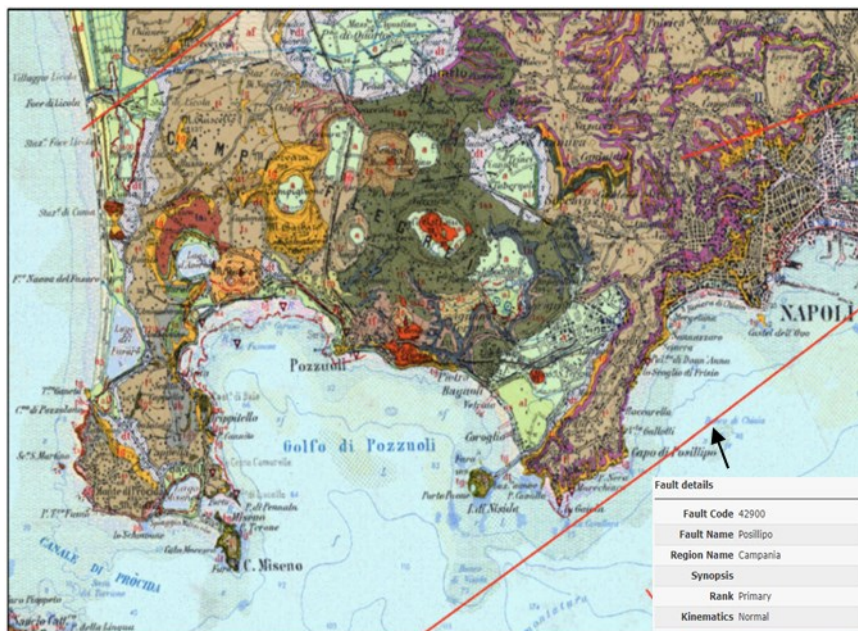
L'attività sismica a bassa frequenza è stata ampiamente osservata in relazione alle attività magmatiche e idrotermali in aree vulcaniche ed è stata riconosciuta come un fenomeno precursore per l'attività eruttiva. Questi eventi sono particolarmente importanti nella quantificazione dei processi vulcanici ed idrotermali, poiché consentono di ricostruire le proprietà del sistema sorgente di questi eventi e quindi lo stato di criticità del sistema vulcanico.

In definitiva, negli ultimi trent'anni nei Campi Flegrei i segnali sismici che vengono rilevati sono essenzialmente costituiti da eventi vulcano tettonici e in misura minore da eventi a bassa frequenza. Queste caratteristiche della sismicità tendono ad evidenziare come ai Campi Flegrei gioca un ruolo fondamentale la dinamica del sistema idrotermale. Infatti, essa definisce l'interazione dei fluidi con le rocce circostanti nella generazione dei segnali sismici sia di tipo LP, dovuti alle variazioni della pressione di poro per la migrazione di fluidi attraverso le fratture, sia di tipo VT, a causa della riduzione della resistenza al taglio delle rocce a seguito della diffusione di fluidi nelle rocce.

Le faglie attive e capaci, definite come attive le strutture tettoniche che si sono mosse nel recente passato geologico e che potenzialmente sono in grado di riattivarsi in un arco temporale di interesse e come capaci quelle faglie attive che ha un significativo potenziale di deformazione in corrispondenza o in prossimità della superficie. Secondo il database *Ithaca* di Ispra – Portale del Servizio Geologico d'Italia – l'area del SIN Bagnoli-Coroglio è prossima alla faglia denominata Posillipo.

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023



Fault description			
GENERAL IDENTIFICATION			
Fault Code	42900		
Fault Name	Posillipo		
Region Name	Campania		
Tectonic Environment	ND		
System Name	Posillipo		
Synopsis			
Rank	Primary		
GEOMETRY AND KINEMATICS			
Segmentation	Single Segment		
Average Strike (°)	50		
Dip (°)	Undefined		
Dip Direction	SE		
Fault Length (km)	35.1		
Mapping Scale	1:		
Fault Depth (m)			
Kinematics	Normal		
ACTIVITY			
Surface Evidence	ND		
Last Activity	Pleistocene generic		
SLIP PARAMETERS			
Recurrence Interval (yr)			
Slip Rate (mm/yr)	7.00		
Max Credible Rupture Length (km)			
Max Credible Slip (m)	11,000.00		
Time Since Last Event (yr)			
Max Known Magnitude (Mw)			
Max Known Intensity (MCS)			
Known Seismic Events			
FINAL REMARKS			
Capability Consensus	Low reliability		
Study Quality	FAIR		
Notes			
Fault Trace Reference			
Last Update			
REFERENCES			
Authors	Title	Reference	Year
Ascone A. & Cinque A. (a cura di) [1999] Progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili" - Faglie attive in Italia Meridionale - U.R. Università di Napoli G.N.D.T. Internet site 1999			

Figura 7.1: In alto: stralcio della Carta delle faglie attive e capaci Ithaca, su base della carta geologica in scala 1:100000 – Golfo di Pozzuoli – Faglia Posillipo. In basso: Caratteristiche geometriche e referenze della Faglia Posillipo.

Fonte: ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia – ITHACA Catalogo delle faglie attive e capaci.

L'INGV attraverso l'Osservatorio Vesuviano monitora una serie di stazioni sismiche l'attività sismica dei Campi Flegrei. Nell'ultimo anno ci sono state bene 143 scosse con magnitudo compresa tra 1 e 3 e tutti con profondità superficiali, sempre entro i primi 5 m di profondità. In particolare, il 5 Maggio del 2023 si è verificato un sisma di magnitudo 3.0 che insieme all'evento del 26 Aprile 2020 di magnitudo 3.1 (il principale evento di uno sciame sismico costituito da 24 scosse verificatesi nella notte del 26 Aprile 2020) corrispondono ai valori massimi registrati negli ultimi 15 anni. Tale attività conferma che il bradisismo dell'area di Pozzuoli non si ferma (figura seguente).

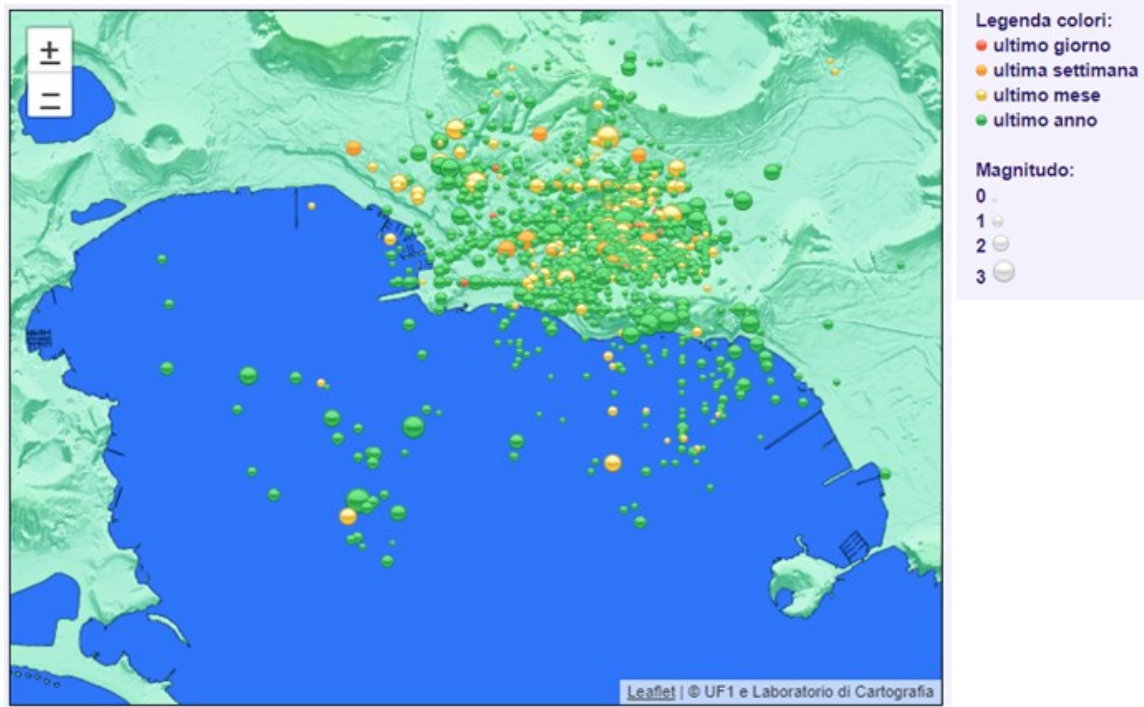


Figura 7.2: Distribuzione degli eventi sismici relative all'ultimo anno registrati dalla rete di stazioni sismiche dell'Osservatorio Vesuviano

Fonte: <http://sismolab.ov.ingv.it/sismo/index.php?PAGE=SISMO/last&area=Flegrei/>
Database Sismologico INGV-OV

Con l'entrata in vigore delle NTC 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008) la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio sito specifico, partendo dalla pericolosità sismica di base del territorio nazionale. Il SIN Bagnoli-Coroglio ricade in un'area con pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (PGA) di 0.150-0.175 g ed è prossima ad aree con pericolosità sismica inferiore (figura seguente).

La magnitudo attesa per il sito, riferita alla pericolosità sismica di base, in termini di disaggregazione sismica del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ha valori medi pari a $M=5$ per una distanza dalla sorgente sismogenetica compresa tra 0 e 10 Km. Secondo la zonazione sismogenetica ZS9 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il sito di Bagnoli ricade nella zona 928 Ischia-Vesuvio.

La strategia progettuale, in riferimento al calcolo delle azioni sismiche previste dalle NTC18, è quella di considerare le opere definite in classe d'uso II con vita nominale variabile da $V_n=50$. Infatti, ricordiamo che le opere di bonifica dal punto di vista ingegneristico riguarderanno scavi che in alcuni casi verranno consolidati.

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

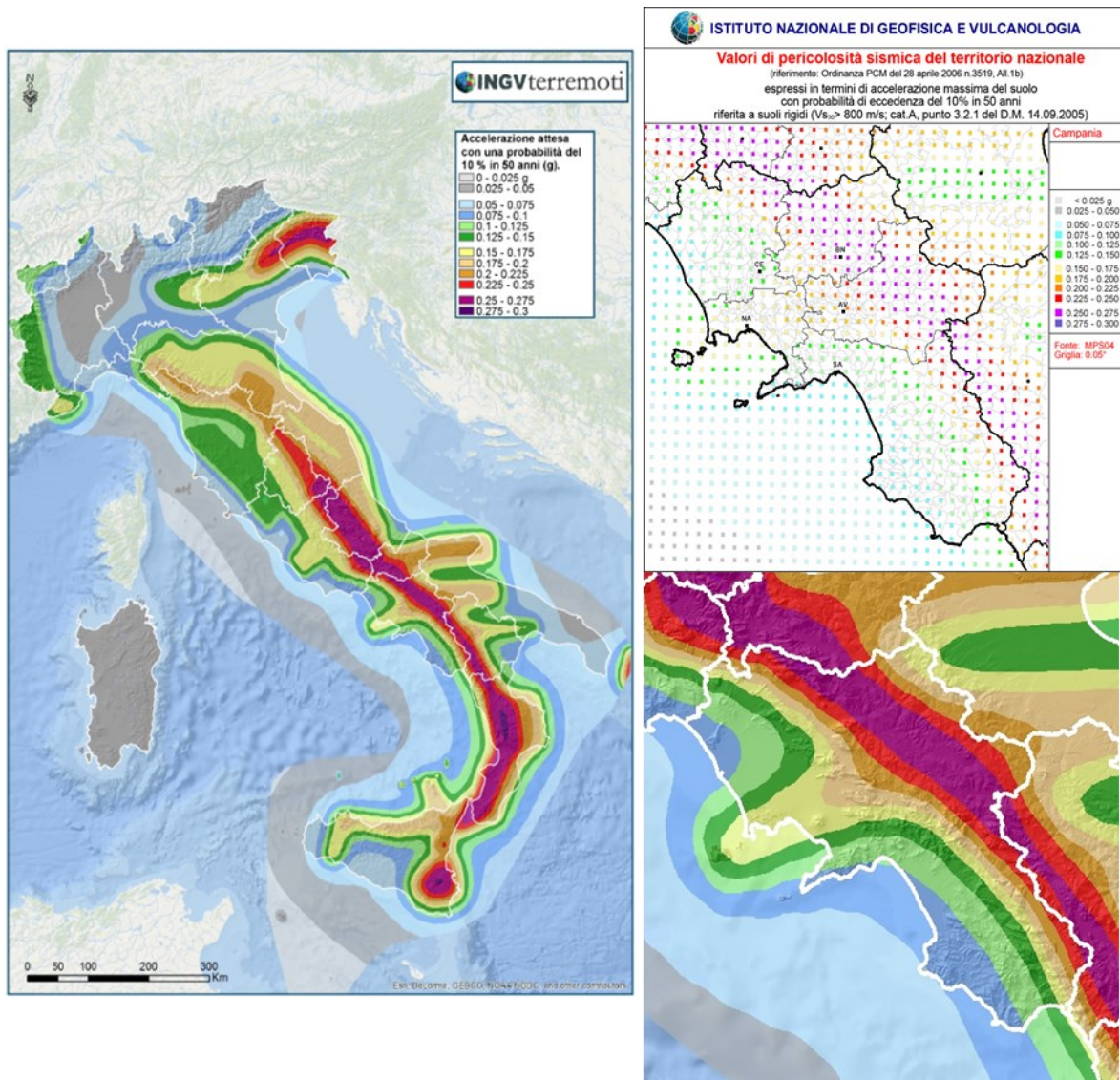


Figura 7.3: Pericolosità sismica di base del territorio nazionale. In alto a dx particolare della regione Campania, in basso a dx particolare della regione Campania secondo la discretizzazione del territorio.

Fonte: INGV

7.1 ZONA SISMICA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Campania n. 5447 del 7.11.2002, il territorio di Napoli è classificato in zona sismica 2.

Zona sismica 2	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.
---------------------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a_g]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g	0,35 g	740
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g	2.367
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g	3.014
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g	1.788

(*): I territori di alcuni comuni ricadono in zone sismiche diverse (ad es. il [comune di Pescorocchiano](#)).

Figura 7.4: zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006.

Fonte: OPCM n 3519/2006

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

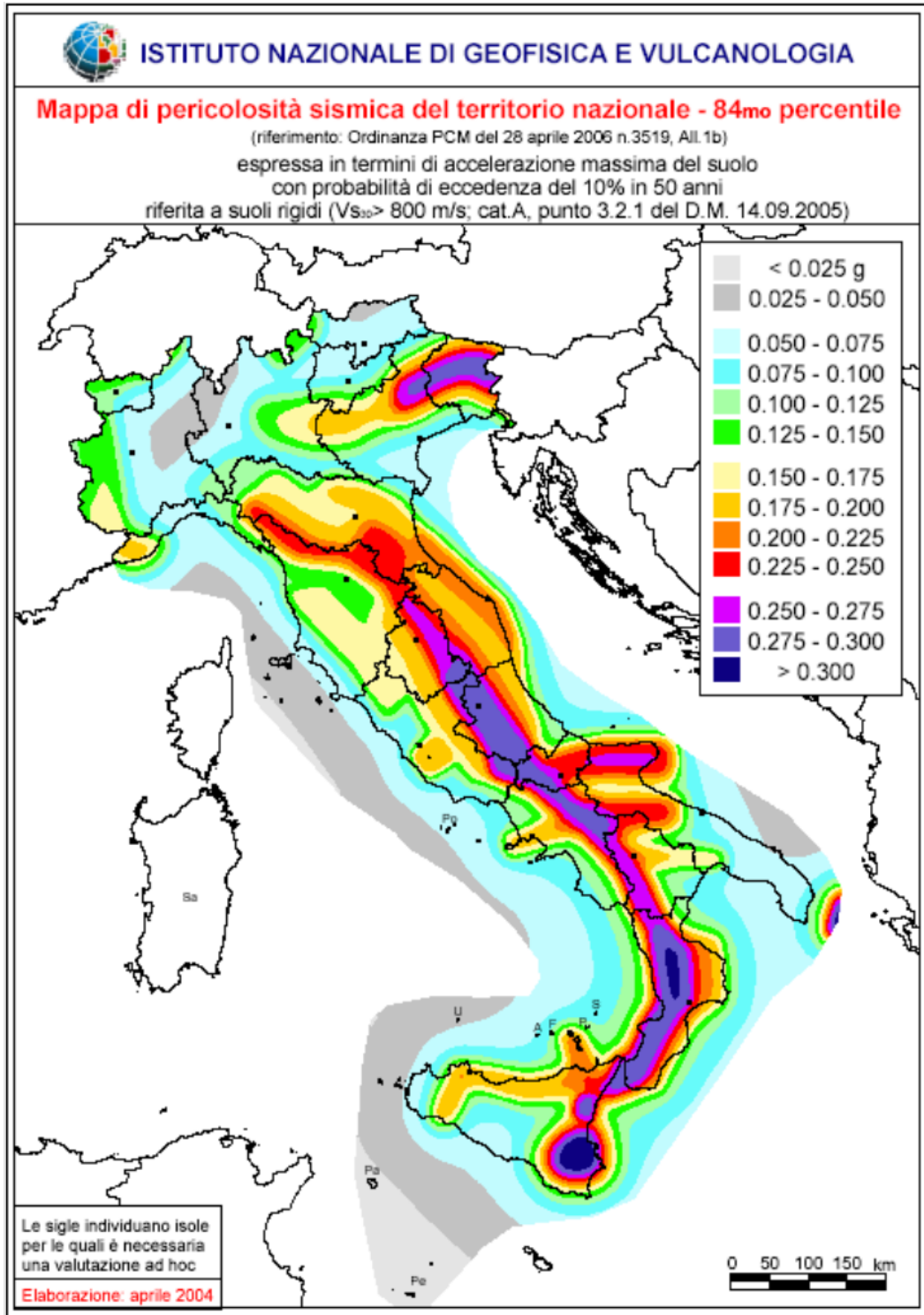


Figura 7.5: All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Fonte: INGV

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Si riporta le informazioni sismiche di un punto interno ad un quadrato in cui sono definite informazioni di pericolosità nella vicinanza dell'area colmata di Bagnoli.

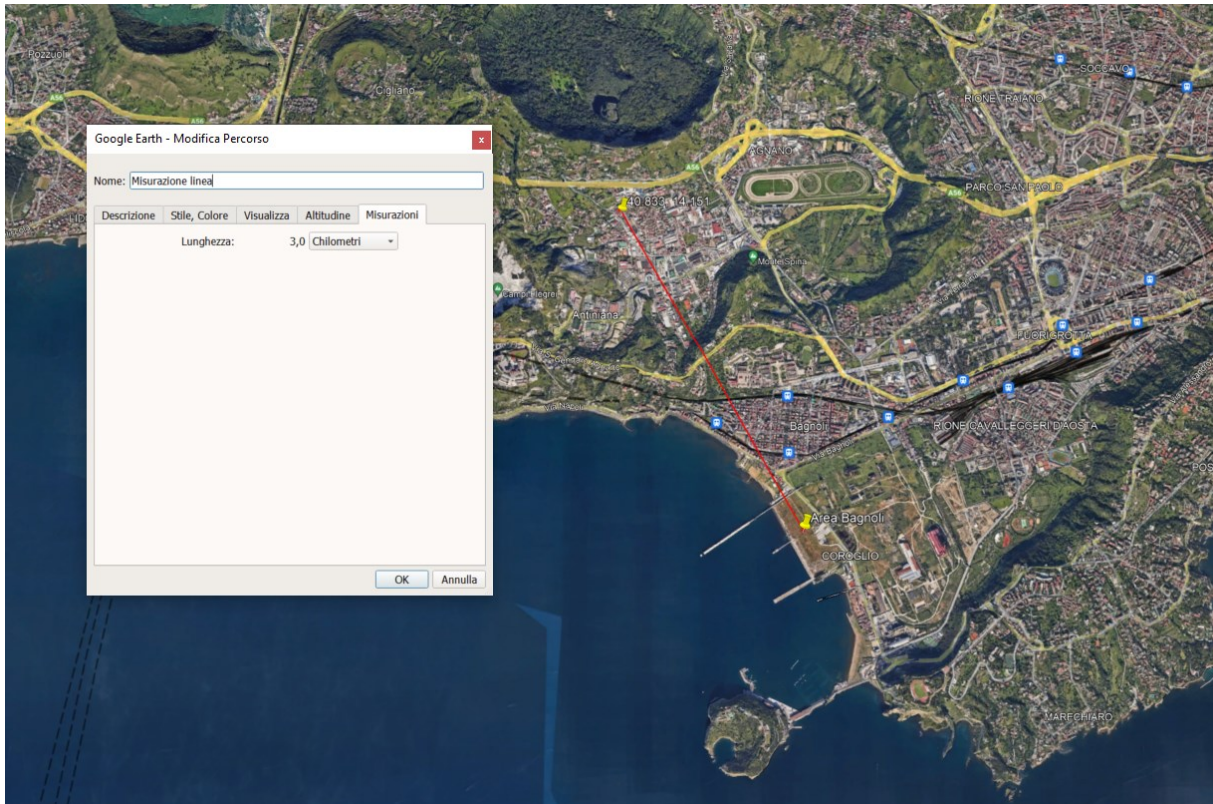


Figura 7.6: INGV: Misurazione linea tra un punto del quadrato di definizione della pericolosità sismica e l'area della colmata di Bagnoli – Comune di Napoli

Fonte: Google earth

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Informazioni sul nodo con ID: 33199 - Latitudine: 40.833 - Longitudine: 14.151

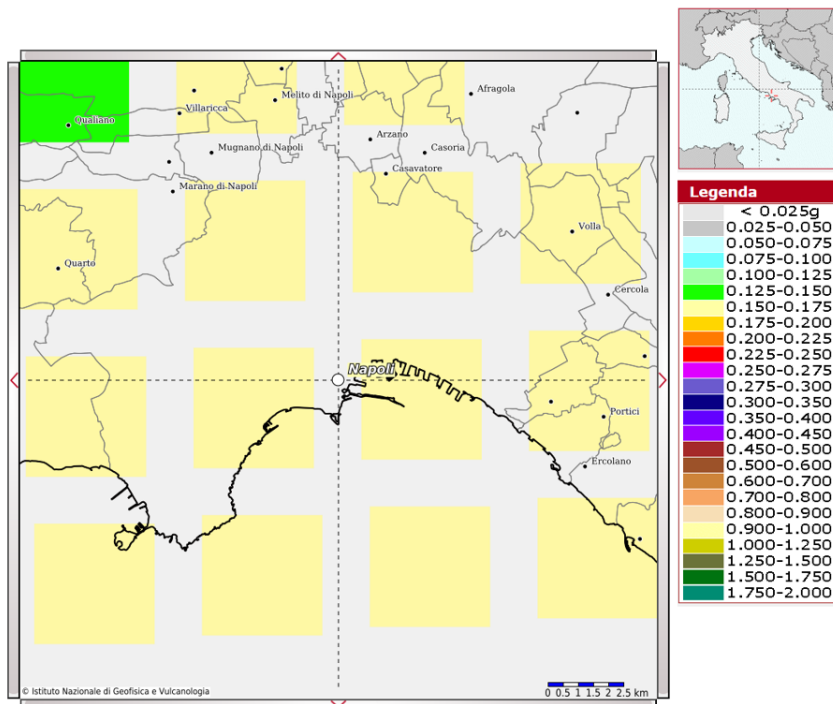
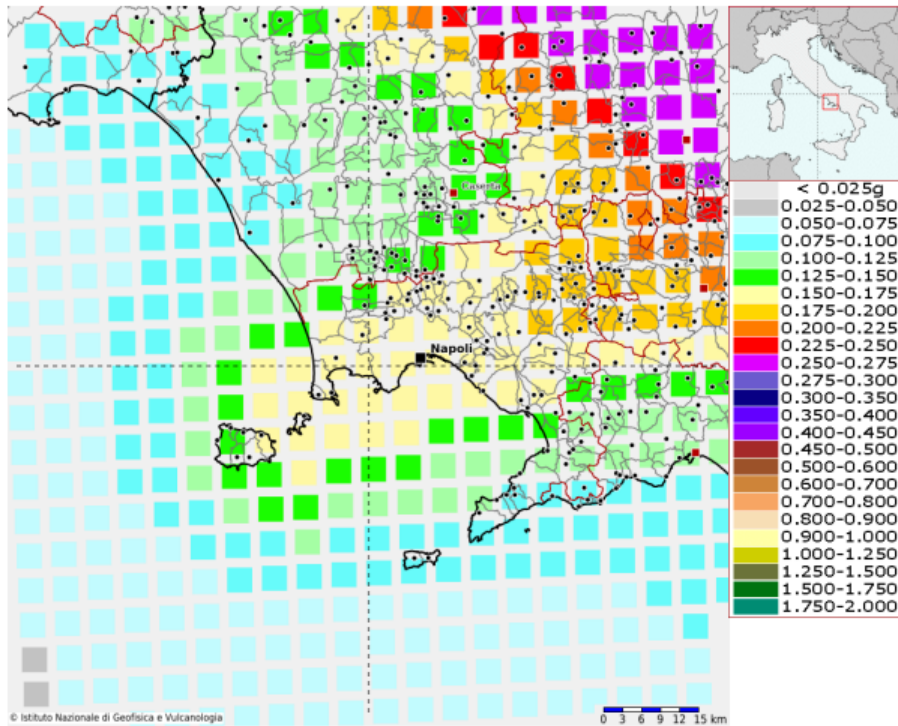


Figura 7.7: INGV: Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale in cui è segnata l'area in oggetto con un cerchio rosso – Comune di Napoli

Fonte: INGV

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

In base all'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, sono state definite sulla base di più approfonditi studi, le zone di pericolosità sismica per il territorio nazionale ed è stata definita la mappa di pericolosità sismica MPSO4, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s e $TR = 475$ anni).

Si riporta di seguito la carta delle zone sismogenetiche ZS9 dell'Italia

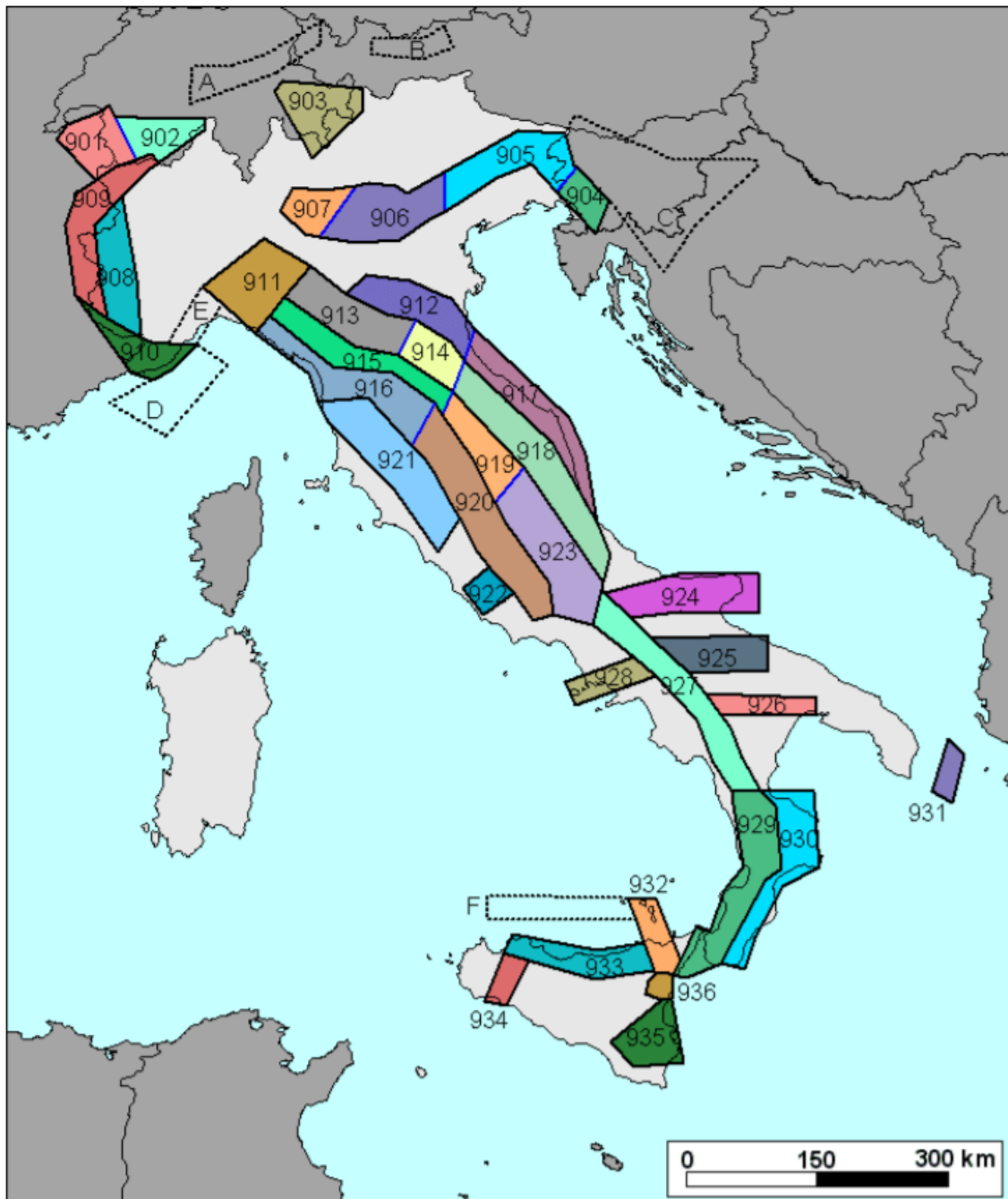


Figura 7.8: Zonazione sismogenetica ZS9

Fonte: INGV

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

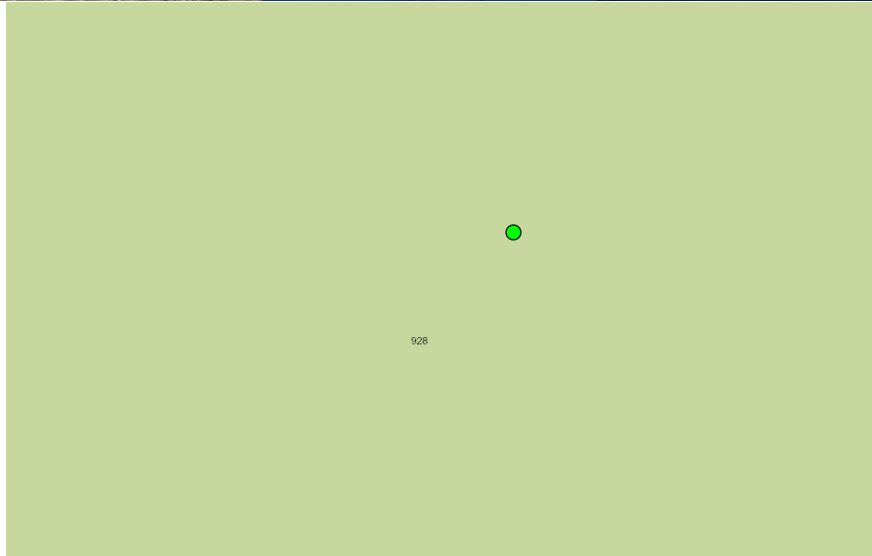
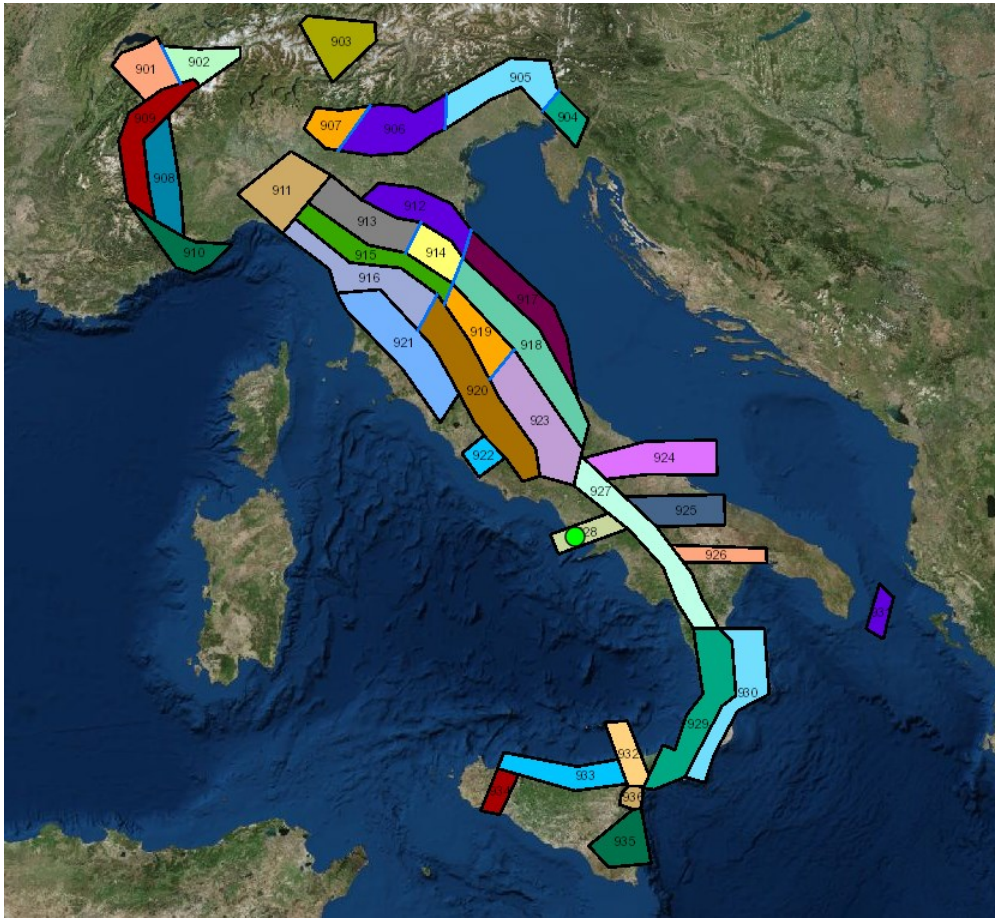


Figura 7.9: Zonazione sismogenetica ZS9, dove l'area d'interesse è evidenziata da un cerchio verde

Fonte: http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=Zone_sismogenetiche_ZS9

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Come è possibile vedere alla figura precedente, l'area oggetto d'interesse ricade all'interno della **zona 928** della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al. 2008), utilizzata per la compilazione della mappa di pericolosità sismica MPS04.

Si riporta di seguito la tabella di vulcanismo recente che riporta le zone con la magnitudo rispettiva proveniente dalla zona sismogenetica ZS9.

Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7 *
905	181	110	32	4.8	5-8	8 *
906	41	34	13	4.7	5-8	8 *
907	33	19	7	4.2	5-8	8 *
908	495	128	25	3.7	8-12	10
909	263	94	9	4.1	8-12	10
910	80	24	2	3.4	8-12	10
911	126	91	18	4.1	8-12	8
912	180	141	54	4.6	5-8	7
913	767	362	100	4.8	12-20	13
914	878	542	131	4.5	12-20	13
915	614	346	65	4.2	8-12	8
916	140	83	16	4.6	5-8	6 *
917	103	71	22	4.9	5-8	7
918	455	179	26	4.2	12-20	13
919	3001	1545	421	5.0	8-12	8
920	296	201	39	4.6	5-8	6 *
921	97	63	9	4.0	1-5	4 #
922	355	146	29	3.9	1-5	4 #
923	1195	663	139	5.4	8-12	9
924	442	308	65	4.4	12-20	13
925	41	24	5	3.9	12-20	13
926	85	55	15	5.0	12-20	13
927	1507	654	139	5.0	8-12	10
928	15	9	1	3.9	1-5	3 #
929	522	294	73	3.9	8-12	10
930	193	128	41	4.3	8-12	10
931	2	2	2	3.7	8-12	10 *
932	277	194	55	4.3	12-20	13
933	413	162	44	4.4	8-12	10
934	8	6	3	3.7	8-12	10
935	45	34	6	3.7	12-20	13
936	374	283	67	4.3	1-5	3 #

Figura 7.10: Simboli #: Valore fissato (zona di vulcanismo recente). *:" Giudizio Esperto"

Fonte: INGV

La tabella precedente ci riporta che la magnitudo massima dell'area oggetto di studio è pari a 3,9 nell'intervallo di 1-5 Km(zona 928).

Le figure seguenti mostrano la disaggregazione per l'area oggetto di studio della stima di PGA con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è una elaborazione

che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica di un certo sito: le sorgenti vengono discretizzate per intervalli di spazio e magnitudo:

Grafico di disaggregazione:

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

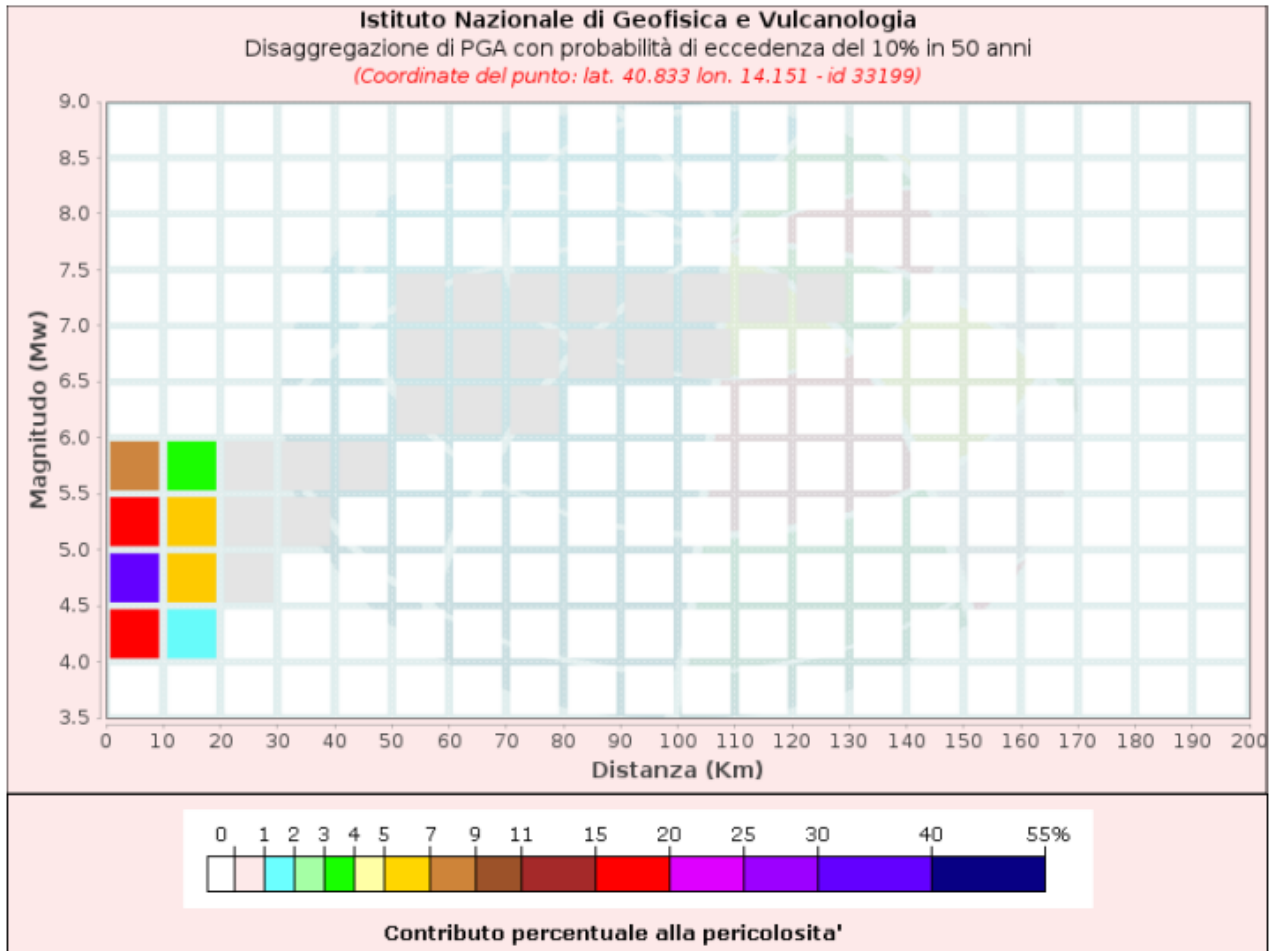


Figura 7.11: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Fonte: INGV

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza in Km	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	17.8000	33.8000	19.6000	7.5100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.6100	5.5800	6.0400	3.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0928	0.5090	0.5250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0084	0.0416	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0876	0.4040	0.5350	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0302	0.4010	0.6450	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.2100	0.4790	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0643	0.2550	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0095	0.0854	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0266	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.98 ; distanza = 8.54 ; epsilon = 0.957

Figura 7.12: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Fonte: INGV

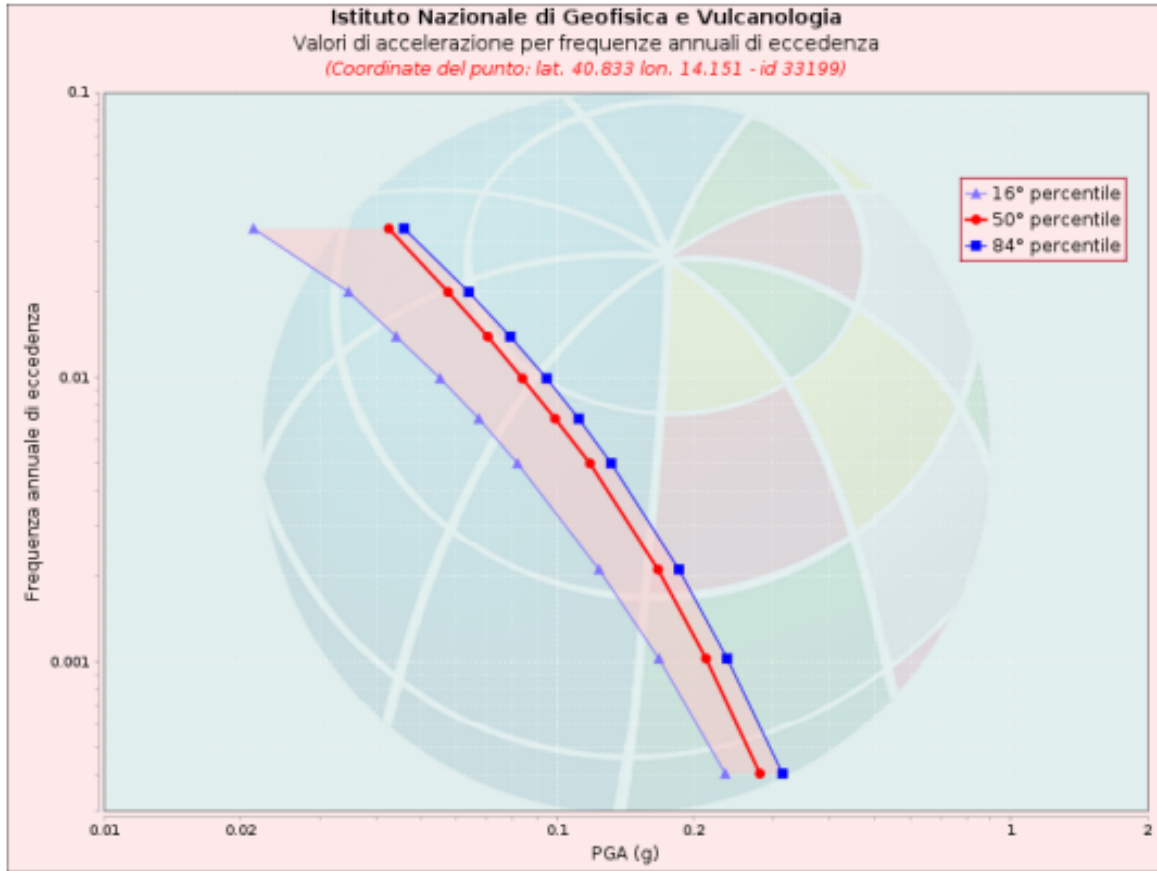
Per i calcoli sismici si può prendere in considerazione la magnitudo calcolata dalla disaggregazione e quindi pari a 4,98, in modo di mettersi nella condizione più gravosa.

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023



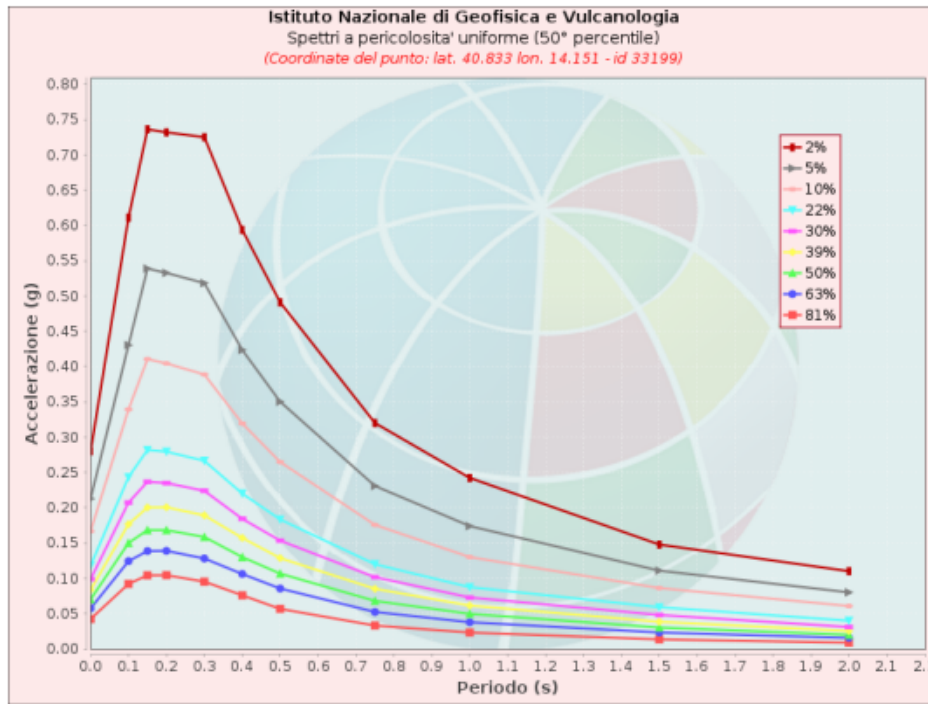
Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.235	0.280	0.314
0.0010	0.168	0.213	0.237
0.0021	0.124	0.167	0.186
0.0050	0.082	0.118	0.132
0.0071	0.067	0.099	0.112
0.0099	0.055	0.084	0.095
0.0139	0.044	0.070	0.079
0.0199	0.035	0.057	0.064
0.0332	0.021	0.043	0.046

Figura 7.13: Curve di pericolosità
 Fonte: INGV

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.280	0.611	0.736	0.732	0.725	0.594	0.491	0.320	0.242	0.148	0.110
5%	0.213	0.430	0.539	0.533	0.518	0.424	0.350	0.231	0.174	0.111	0.080
10%	0.167	0.339	0.411	0.404	0.389	0.319	0.265	0.176	0.130	0.086	0.061
22%	0.118	0.243	0.282	0.279	0.267	0.220	0.183	0.120	0.088	0.059	0.040
30%	0.099	0.207	0.237	0.235	0.224	0.184	0.154	0.102	0.073	0.048	0.031
39%	0.084	0.177	0.200	0.201	0.189	0.157	0.129	0.085	0.062	0.039	0.025
50%	0.070	0.150	0.168	0.168	0.159	0.130	0.107	0.068	0.050	0.030	0.020
63%	0.057	0.124	0.139	0.139	0.128	0.106	0.086	0.052	0.038	0.023	0.016
81%	0.043	0.092	0.104	0.104	0.095	0.076	0.057	0.033	0.023	0.014	0.009

Figura 7.14: Spettri a pericolosità uniforme

Fonte: INGV

7.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE

L'attuale classificazione del territorio campano entrata in vigore a seguito della Delibera della Giunta della Regione Campania n. 5447 del 07/11/2002, si basa su 3 Zone Sismiche. Nessuna delle tre classi sismiche presenta una suddivisione in sottozone. L'intero territorio della Regione Campania risulta quindi classificato entro le classi di sismicità della Classificazione sismica della Regione Campania.

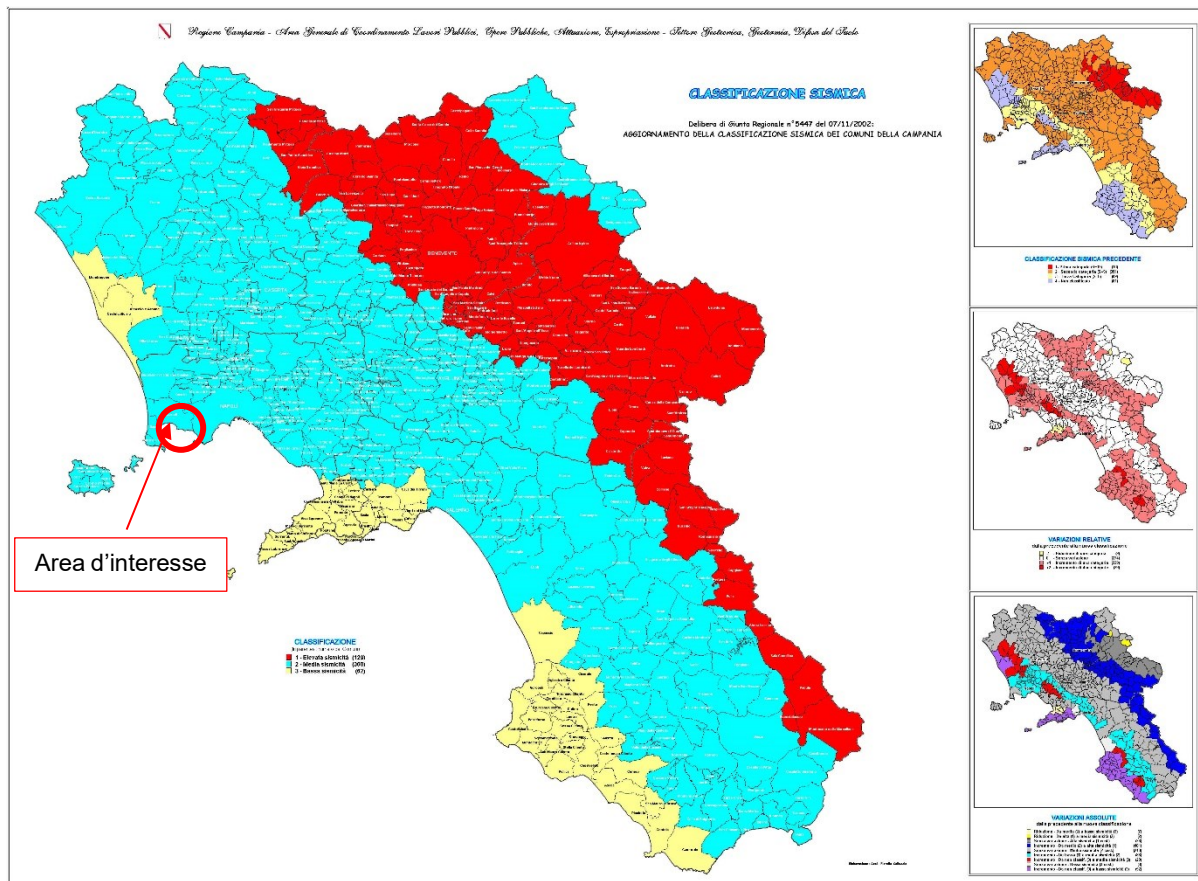


Figura 7.15: Classificazione sismica della Regione Campania. Fonte: Regione Campania
Fonte: Regione Campania

Per quanto riguarda il territorio del Comune di Napoli, questo è stato classificato secondo la zona sismica 2.

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, che riclassifica l'intero territorio Nazionale.

La Regione Campania non ha ancora recepito e aggiornato la classificazione sismica regionale in attuazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003.

7.3 CPTI15 – DBMI15 V 4.0

La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11 (Rovida et al., 2011), il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa a tutto il 2020
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15 versione 4.0; Locati et al., 2022), significativamente aggiornato
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati
- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente)
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

Il catalogo copre l'intero territorio italiano con porzioni delle aree e dei mari confinanti (Figura 1), e contiene 4894 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. Il catalogo, quindi, considera e armonizza il più possibile dati di base di diverso tipo e provenienza.

La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (M_w) e in tutti i casi è riportata la relativa incertezza. Tutti i dati e i metodi utilizzati sono accuratamente esplicitati nel catalogo per garantire la massima trasparenza possibile nelle procedure di compilazione. Al pari di CPTI11, il catalogo non è stato declusterato e contiene quindi tutti i foreshocks e le repliche disponibili e conosciuti all'interno delle soglie di magnitudo e intensità considerate.

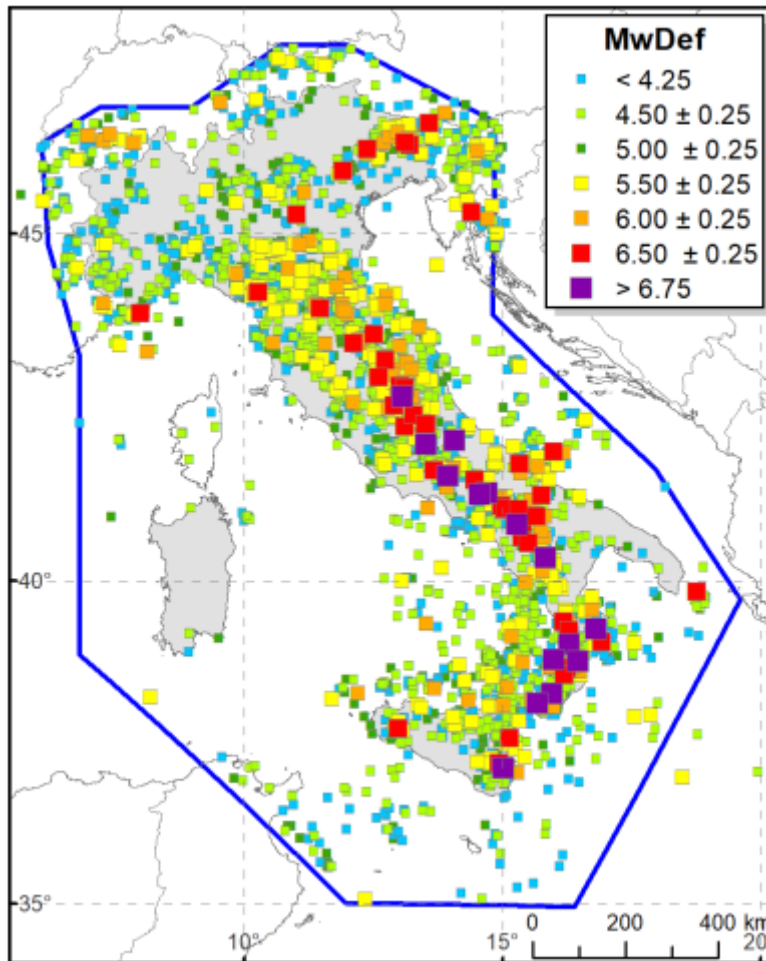


Figura 7.16: Distribuzione geografica degli epicentri dei terremoti contenuti in CPTI15 per classi di Mw e limite della copertura spaziale (poligono blu)

Fonte: CPTI15 – DBMI15

Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a Mw 4.0 o superiore. Alcuni terremoti con Mw < 4.0 sono inclusi nel catalogo per le seguenti ragioni:

- per i terremoti dell'area vulcanica dell'Etna, la soglia di magnitudo è Mw 3.0 ma restano inclusi tutti i terremoti con intensità massima e/o epicentrale 5;
- per i terremoti nell'area vulcanica dei Campi Flegrei la soglia di magnitudo è Mw 3.1, corrispondente a intensità epicentrale 5 secondo le conversioni utilizzate;
- i terremoti contenuti in CPTI11 sono stati tutti, tranne alcuni dell'area etnea e gli eventi dimostrati falsi (vedi Appendice 4), mantenuti nella nuova versione del catalogo, anche se i nuovi dati o le nuove calibrazioni (o entrambi) hanno portato a stime di Mw < 4.0 .

L'attuale versione del catalogo CPTI15 v4.0 consiste i) nell'estensione della copertura temporale della precedente versione 3.0 dalla fine 2019 al 31 dicembre 2020 e ii) nell'aggiornamento dei parametri di alcuni terremoti nel periodo settembre 2018 – dicembre 2019 conseguente alla pubblicazione e inserimento del Bollettino Rivisto dell'ISC (International Seismological Centre) per quel periodo.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web.

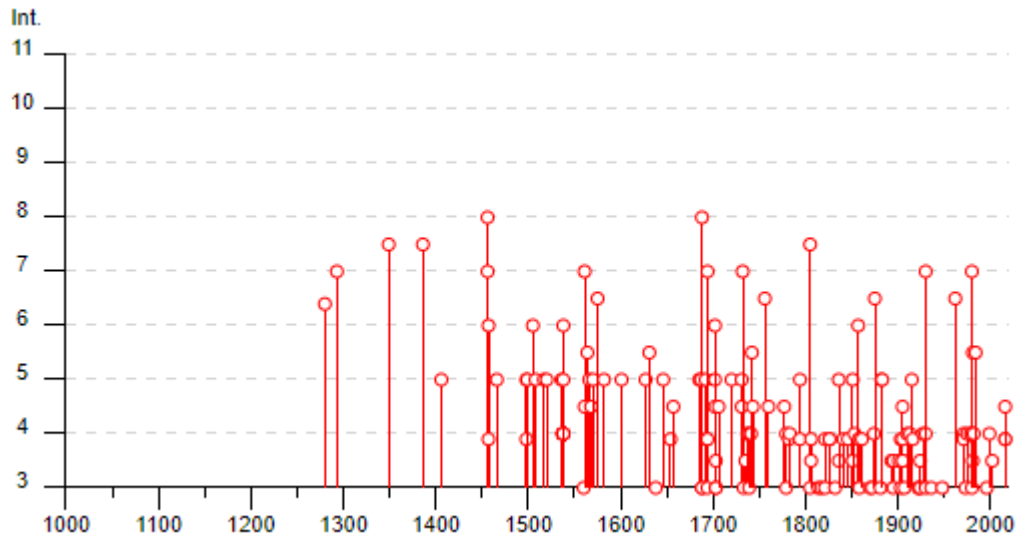
CPTI15 è consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/>.

CPTI15 è un prodotto scientifico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) la cui realizzazione ha richiesto anni di lavoro e raccoglie il frutto della ricerca di diversi autori di diversi enti. CPTI15 può essere utilizzato per scopi scientifici, a condizione che la fonte sia sempre citata.

Di seguito viene riportata la mappa del catalogo CPTI15 desunta dal sito https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/

Napoli

PlaceID	IT_60182
Coordinate (lat, lon)	40.849, 14.250
Comune (ISTAT 2015)	Napoli
Provincia	Napoli
Regione	Campania
Numero di eventi riportati	183



RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Effetti	In occasione del terremoto del										
	Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
D	1280							Napoli	1		
7	1293	09	04					Sannio-Matese	6	8-9	5.80
7-8	1349	09	09					Lazio-Molise	24	10	6.80
7-8	1386	03	17					Napoli	1	7-8	3.75
5	1406	09	16					Napoli	1	5	3.12
8	1456	12	05					Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
7	1456	12	30	08	20			Appennino centro-meridionale	2		
6	1457	01	08					Napoli	1	6	3.37
F	1457	02	10					Capua	2	5-6	4.40
5	1466	01	15	02	25			Irpinia-Basilicata	31	8-9	5.98
5	1498	10	07					Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6	3.25
F	1498	10	20					Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	7	3.63
5	1499	03	18	01	45			Napoli	1	5	3.12
6	1505	05	18	08	55			Campi Flegrei (Agnano)	3	7-8	3.75
5	1508	07	19	08	55			Napoli	1	5	3.12
5	1517	03	29	19				Irpinia	3	7-8	5.33
5	1520	01	28	23	50			Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7	3.50
5	1536	08	07					Napoli	1	5	3.12
4	1537	02	14					Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7	3.50
6	1538	04	20					Campi Flegrei	1	5-6	3.25
4	1538	09	20					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	22					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	23					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	24					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	25					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	26					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	27					Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6	3.25
4	1538	09	28	06	00			Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6	3.25
4	1538	09	28	17	30			Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6	3.25
4	1538	09	29	11	00			Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6	3.25
5	1538	09	29	18	30			Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	8	3.88
3	1560	05	11	04	40			Costa pugliese centrale	7	8	5.66

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

7		1561 07 31 20 10	Penisola sorrentina	5	8	5.56
4-5		1561 08 19 15 50	Vallo di Diano	32	10	6.72
5-6		1564 07	Campi Flegrei	2	5	3.12
5		1566 05 06 22 45	Campi Flegrei	2	5	3.12
4-5		1568 12 27	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6	3.37
5		1570 04 30 23 06	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7	3.50
6-7		1575 06 05 20 30	Napoli	2	5-6	3.25
5		1582 06 05 07 08	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	8	3.88
5		1601 08 10	Napoli	1	5	3.12
5		1627 07 30 10 50	Capitanata	64	10	6.66
5-6		1631 12	Area Vesuviana	2	5-6	3.25
3		1638 03 27 15 05	Calabria centrale	213	11	7.09
5		1646 05 31	Gargano	35	10	6.72
F		1654 07 24 00 25	Sorano	44	9-10	6.33
4-5		1657 01 29 02	Capitanata	12	8-9	5.96
5		1685 05	Penisola Sorrentina	5	5-6	4.73
5		1687 04 25 00 30	Penisola Sorrentina	2	6	4.63
8		1688 06 05 15 30	Sannio	215	11	7.06
3		1688 07 23	Capitanata	3	7-8	5.33
3		1688 08 14	Beneventano	3	6-7	4.86
5		1692 03 04 22 20	Irpinia	9	8	5.88
F		1693 01 08	Pollino	16	7	5.27
7		1694 09 08 11 40	Irpinia-Basilicata	251	10	6.73
F		1694 10 07 15	Penisola sorrentina	9	5-6	4.71
3		1694 10 09	Avellino	2	5-6	4.40
5		1702 03 14 04 30	Sannio-Irpinia	4	6-7	4.86
6		1702 03 14 05	Sannio-Irpinia	37	10	6.56
4-5		1702 04 02 06 20	Sannio-Irpinia	4	6-7	4.86
3-4		1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92
3		1703 01 16 13 30	Appennino laziale-abruzzese	22		
3		1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6.67
4-5		1706 11 03 13	Maiella	99	10-11	6.84
5		1720 08 28	Cassinese	2	5-6	4.35
5		1731 03 20 03	Tavoliere delle Puglie	49	9	6.33
4-5		1731 10 17 11	Tavoliere delle Puglie	6	6-7	4.86
7		1732 11 29 07 40	Irpinia	183	10-11	6.75
3		1733 05 15 00 30	Puglia	3		

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

3-4	🔗 1735 01 26	Casertano	3	5	4.16
4	🔗 1737 03 31 17 20	Monti di Avella	3	7	5.10
3	🔗 1739 02 12 21 30	Tavoliere delle Puglie	5	5-6	4.40
4	🔗 1739 02 27 04 20	Benevento	3	5-6	4.40
4	🔗 1741 08 06 13 30	Irpinia	8	7-8	5.44
5-6	🔗 1742 08 17	Napoli	1	5-6	3.25
4-5	🔗 1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9	6.68
6-7	🔗 1756 10 22 14	Napoletano	5	6-7	3.50
4-5	🔗 1760 12 23	Area vesuviana	7	6-7	3.50
4-5	🔗 1777 06 06 16 15	Tirreno meridionale	9		
4	🔗 1779 10 01 00 45	Napoletano	3	6	3.37
3	🔗 1779 12 12	Napoletano	5	6	3.37
F	🔗 1782 01 11	Benevento	2	5	4.16
NF	🔗 1783 02 05 12	Calabria meridionale	356	11	7.10
4	🔗 1783 03 28 18 55	Calabria centrale	323	11	7.03
5	🔗 1794 06 12 22 30	Irpinia	16	7	5.26
F	🔗 1794 06 15	Area vesuviana	3	4	2.87
7-8	🔗 1805 07 26 21	Molise	220	10	6.68
3	🔗 1805 10 13 22	Pianura Campana	3	7	5.10
F	🔗 1806 07 21 09	Cassinese	5	5-6	4.40
3-4	🔗 1806 08 26 07 35	Colli Albani	35	8	5.61
3	🔗 1814 11 25	Beneventano	2	5-6	4.40
3	🔗 1817 04 17	Potentino	7	4-5	3.97
F	🔗 1821 08 02	Calabria centrale	3	7	5.10
3	🔗 1821 11 22 01 15	Costa molisana	9	7-8	5.59
F	🔗 1826 02 01 16	Potentino	18	8	5.74
F	🔗 1826 10 26 18	Salento	7	6-7	5.22
NF	🔗 1828 02 02 09 15	Isola d'Ischia	10	8-9	4.01
3	🔗 1832 03 08 18 30	Crotonese	99	10	6.65
3-4	🔗 1836 04 25 00 20	Calabria settentrionale	44	9	6.18
5	🔗 1836 11 20 07 30	Appennino lucano	17	8	5.86
F	🔗 1841 02 21	Gargano	13	6-7	5.17
F	🔗 1846 08 08	Potentino	13	6-7	5.18
5	🔗 1851 08 14 13 20	Vulture	103	10	6.52
3-4	🔗 1851 08 14 14 40	Vulture	10	7-8	5.48
4	🔗 1853 04 09 12 45	Irpinia	47	8	5.60
2	🔗 1854 02 12 17 50	Cosentino	89	10	6.34
6	🔗 1857 12 16 21 15	Basilicata	340	11	7.12

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

F	🔗	1858 03 07 14	Campania meridionale	9	7-8	5.39
F	🔗	1858 03 07 19	Vibonati	3	4	3.70
3	🔗	1858 05 24 09 20	Tavoliere delle Puglie	13	4-5	4.35
F	🔗	1861 12 09	Torre del Greco	3	5-6	3.25
2	🔗	1867 08 15 23 30	Isola d'Ischia	2	4-5	2.99
3	🔗	1870 10 04 16 55	Cosentino	54	9-10	6.24
3	🔗	1872 10 08 13 25	Cosentino	6	5	4.72
2	🔗	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
2-3	🔗	1873 07 12 06 06	Val Comino	61	7-8	5.38
4	🔗	1874 12 06 15 50	Val Comino	43	7-8	5.48
NF	🔗	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
6-7	🔗	1875 12 06	Gargano	97	8	5.86
NF	🔗	1880 07 24 05 40	Isola di Ventotene	5	6	4.63
NF	🔗	1881 03 04 12 15	Isola d'Ischia	17	9	4.14
3	🔗	1881 09 10 07	Chietino	43	7-8	5.41
5	🔗	1882 06 06 05 40	Isernino	50	7	5.20
5	🔗	1883 07 28 20 25	Isola d'Ischia	27	9-10	4.26
2	🔗	1885 09 17 09 35	Benevento	22	5	4.26
2	🔗	1885 12 26 02	Molise	28	5-6	4.66
NF	🔗	1887 12 03 03 45	Calabria settentrionale	142	8	5.55
2	🔗	1889 12 08	Gargano	122	7	5.47
3-4	🔗	1893 01 25	Vallo di Diano	134	7	5.15
3-4	🔗	1895 02 01 07 24 3	Monti del Partenio	40	5	4.29
3	🔗	1895 08 09 17 38 2	Adriatico centrale	103	6	5.11
3-4	🔗	1901 07 31 10 38 3	Sorano	76	7	5.16
F	🔗	1903 05 04 03 44	Valle Caudina	78	7	4.69
3	🔗	1903 12 07 05 58	Beneventano	9	4-5	4.14
4-5	🔗	1905 03 14 19 16	Avellinese	94	6-7	4.90
F	🔗	1905 08 25 20 41	Valle Peligna	29	6	5.15
3-4	🔗	1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11	6.95
3-4	🔗	1905 11 26	Irpinia	122	7-8	5.18
3	🔗	1907 12 18 19 21	Monti Picentini	35	5-6	4.52
2	🔗	1908 12 28 04 20 2	Stretto di Messina	772	11	7.10
4	🔗	1910 06 07 02 04	Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
4	🔗	1913 10 04 18 26	Molise	205	7-8	5.35
5	🔗	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08
NF	🔗	1915 09 23 18 07	Marsica	18	6	5.07






RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

NF	🔗	1915 09 23 18 07	Marsica	18	6 5.07
F	🔗	1916 07 03 23 21	Isola di Stromboli	18	5-6 4.66
2-3	🔗	1919 10 22 06 10	Anzio	142	6-7 5.22
3	🔗	1922 12 29 12 22 0	Val Roveto	119	6-7 5.24
3	🔗	1923 11 08 12 28	Appennino campano-lucano	28	6 4.73
3	🔗	1924 03 26 20 50	Sannio	12	4 4.06
3-4	🔗	1924 05 09 05 48	Irpinia	8	4 4.71
2	🔗	1925 09 24 13 33 4	Molise occidentale	50	7 5.26
4	🔗	1927 05 25 02 50	Sannio	54	6 4.98
NF	🔗	1927 12 26 15 06 1	Colli Albani	38	7 4.89
4	🔗	1930 04 27 01 46	Salernitano	26	7 4.98
7	🔗	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10 6.67
3	🔗	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8 5.83
3	🔗	1936 04 03 18 42	Valle Caudina	10	5-6 4.25
3	🔗	1948 08 18 21 12 2	Gargano	58	7-8 5.55
2	🔗	1956 09 22 03 19 3	Gargano	57	6 4.64
6-7	🔗	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9 6.15
NF	🔗	1967 12 09 03 09 5	Adriatico centrale	22	4.36
4	🔗	1971 05 06 03 45 0	Irpinia	68	6 4.83
F	🔗	1971 11 29 18 49 3	Alta Val d'Agri	17	5 4.50
3	🔗	1973 08 08 14 36 2	Appennino campano-lucano	29	5-6 4.75
4	🔗	1975 06 19 10 11	Gargano	61	6 5.02
2	🔗	1977 07 24 09 55 2	Irpinia	85	5-6 4.37
2	🔗	1978 02 08 04 10 2	Irpinia	100	5-6 4.44
4	🔗	1979 09 19 21 35 3	Valnerina	694	8-9 5.83
3	🔗	1980 06 14 20 56 5	Marsica	69	5-6 4.96
7	🔗	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
4	🔗	1980 12 03 23 54 2	Irpinia-Basilicata	11	6 4.83
3-4	🔗	1981 01 09 00 12 4	Irpinia-Basilicata	6	5-6 4.36
5-6	🔗	1981 02 14 17 27 4	Monti di Avella	85	7-8 4.88
4	🔗	1982 03 21 09 44 0	Golfo di Policastro	125	7-8 5.23
NF	🔗	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7 5.62
5-6	🔗	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8 5.86
3	🔗	1996 04 03 13 04 3	Irpinia	557	6 4.90
4	🔗	1999 10 09 05 41 0	Area vesuviana	38	5 3.24

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

3-4		2002 11 01 15 09 0 Molise	638	7 5.72
2		2003 06 01 15 45 1 Molise	501	5 4.44
F		2016 08 24 01 36 3 Monti della Laga	221	10 6.18
F		2016 10 26 19 18 0 Valnerina	77	6.07
4-5		2016 10 30 06 40 1 Valnerina	379	6.61

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Capodimonte	1	2
Miano	2	4
Soccavo	1	5
Fuorigrotta	7	5
Secondigliano	3	5
Barra	1	5
Chiaiano	1	6
San Pietro a Patierno	1	6
Casavatore	1	6
Pianura	1	6
Agnano	1	6
Casoria	9	7
Marano di Napoli	6	7
Mugnano di Napoli	7	7
San Giorgio a Cremano	7	8
Calvizzano	2	8
Melito di Napoli	4	8
Volla	2	8
Portici	25	8
Cercola	5	9
Villaricca	4	9
Quarto	3	9
Afragola	6	9
Ercolano	14	9
Casandrino	1	10
Giugliano in Campania	7	10
Grumo Nevano	7	10

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

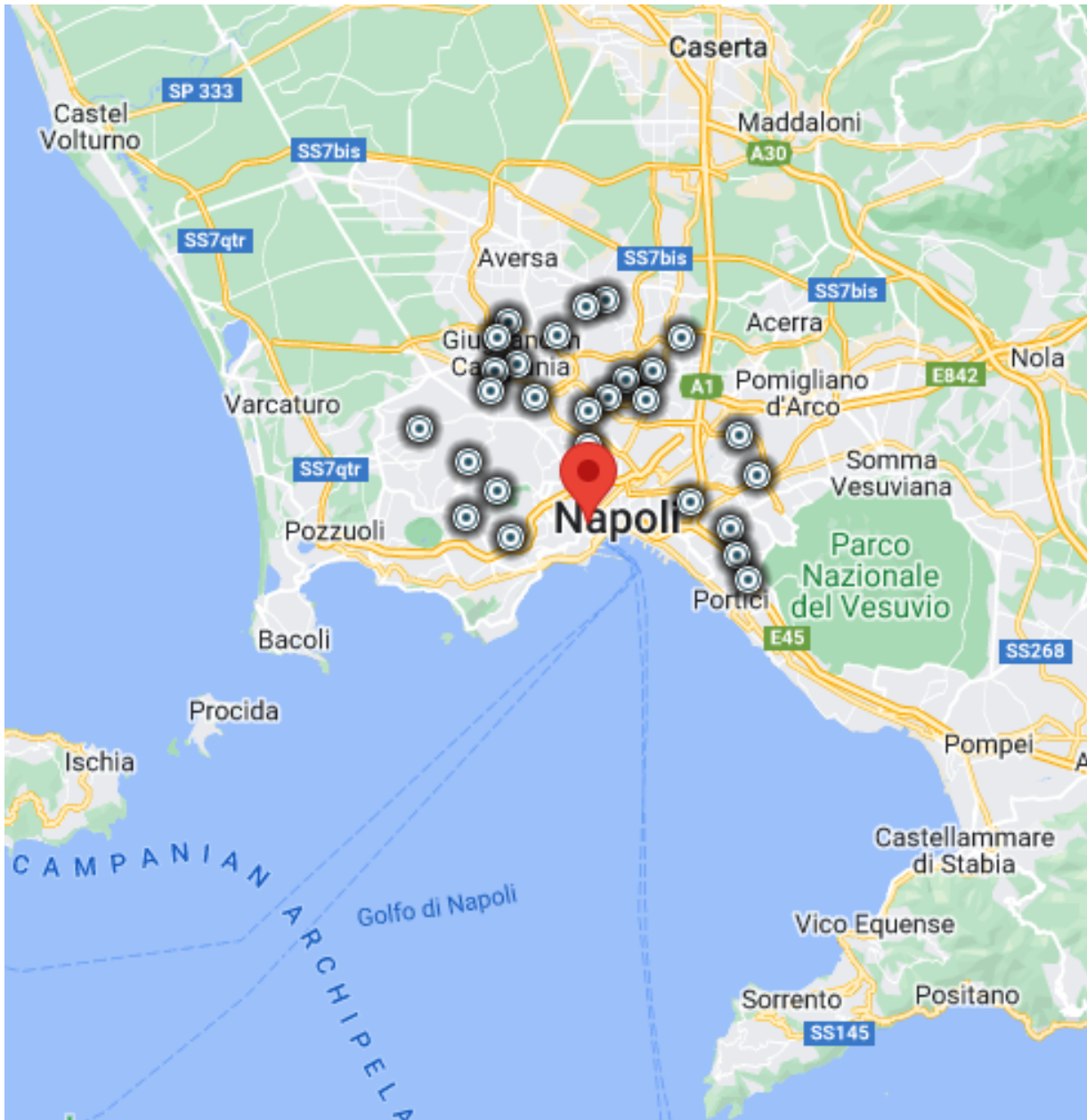


Figura 7.17: CPTI15-DBMI1- Area di Bagnoli (Comune di Napoli)

Fonte: CPTI15 – DBMI15

7.4 INDAGINI GEOFISICHE

Si riassumono di seguito maniera riassuntiva le indagini geofisiche eseguite nell'area di studio. Per una trattazione più esaustiva si faccia riferimento alla relazione geologica P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00.

Sono state eseguite n. 18 prospezioni sismiche di superficie realizzate con la tecnica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) con la finalità di definire il profilo Vs dei siti indagati. Indagini di tipo MASW sono state svolte anche nell'ambito del progetto di bonifica dell'area ex Eternit.

Di seguito il riassunto in formato tabellare dei risultati in termini di parametro Vs30 e Vseq delle prospezioni eseguite nell'ambito dell'A.S.5.

Tabella 7.1: Tabella riassuntiva dei risultati delle prove MASW

Den. profilo	Vs30 (m/sec)	Vseq (m/sec)	Classe di Suolo	Coordinate geografiche estremi			
				Nord	Est	Nord	Est
MASW1	216	216	C	4518491	429935	4518438	429943
MASW2	218	218	C	4518557	430198	4518575	430244
MASW3	258	258	C	4518572	430519	4518545	430560
MASW4	239	239	C	4518351	430775	4518341	430722
MASW5	262	262	C	4518141	430882	4518101	430848
MASW6	307	307	C	4517880	430913	4517834	430933
MASW7	286	286	C	4517478	430992	4517531	431019
MASW8	318	318	C	4517260	430892	4517303	430907
MASW9	443	349	C	4517423	430560	4517471	430543
MASW10	311	311	C	4517764	430197	4517826	430175
MASW11	327	327	C	4517964	430104	4517996	430143
MASW12	242	242	C	4518131	429966	4518173	429931
MASW13	319	319	C	4517049	430401	4517092	430384
MASW14	256	256	C	4518142	431720	4518193	431716
MASW15	241	241	C	4517954	431594	4517953	431542
MASW16	291	291	C	4517724	431337	4517766	431365
MASW17	312	312	C	4518500	430998	4518553	431021
MASW18	547	332	C	4518527	430923	4518594	430911

Fonte: P22041-D-00-GE-RS-REL-01-00: Relazione geologica

7.5 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.11 (fig. definite in base ai valori della velocità equivalente Vs_{eq} corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente Vs_{eq} è definita dal parametro VS₃₀, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente Vs_{eq} è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i -esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800$ m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dai pregressi stendimenti sismici con metodologie M.A.S.W eseguite in corrispondenza dell'area di indagine.

Per la classificazione del suolo si è ritenuto più attendibile adottare le risultanze provenienti dalle prove MASW eseguite in sito per cui il terreno è pertanto classificabile in **categoria C**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/se 360 m/s*".

Tabella 7.2: Tabella 3.2. Il "Categoria di sottosuolo" – D.M. 17.10.2018

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Fonte: D.M. 17.10.2018

7.6 CATEGORIA TOPOGRAFICA

Secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (categorie topografiche da NTC2018):

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

Tabella 7.3:Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Fonte: D.M. 17.10.2018

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La categoria topografica del sito d'interesse è T1.

7.7 PARAMETRI SISMICI

7.7.1 Vita nominale, classe d'uso e period di riferimento

Nel DM 17 gennaio 2018-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tabella 7.4: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Fonte: D.M 13/01/2018

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $CU = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $CU = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $CU = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $CU = 2.0$;

7.7.2 Stato limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento PVR, ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/TR$ (TR = periodo di ritorno).

Tabella 7.5: Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	PVR = 81%
Stato limite di esercizio: danno	SLD	PVR = 63%
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	PVR = 10%
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	PVR = 5%

Fonte: D.M 13/01/2018

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione:

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

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è VR = 50 anni, il tempo di ritorno TR sarà:

Tabella 7.6: Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	TR = 30
Stato limite di esercizio: danno	SLD	TR = 50
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	TR = 475
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	TR = 975

Fonte: D.M 13/01/2018

7.7.3 Definizione della pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (ag) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC 2018:

- ag = accelerazione orizzontale massima;
- Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

ag, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

Fo e TC* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'Allegato B delle NTC 2018, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Tabella 7.7: Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC2018, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Fonte: NTC 2018

Questi ID e relative coordinate fanno riferimento ad un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC 2018:

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

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag, Fo, TC*) corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato, mentre p1, 2 è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno TR1, 2.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p 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 l'espressione dell'Allegato A alle NTC 2018:

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

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , F_0 , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

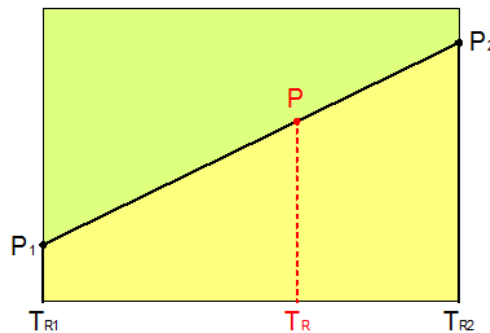


Figura 7.18: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.

Fonte: NTC 2018

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura seguente.

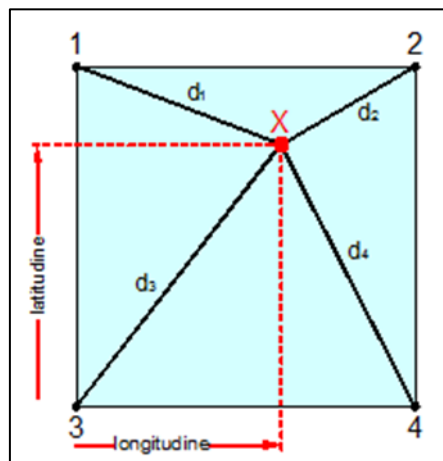


Figura 7.19: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018

Fonte: NTC 2018

Pertanto, per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC 2018, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

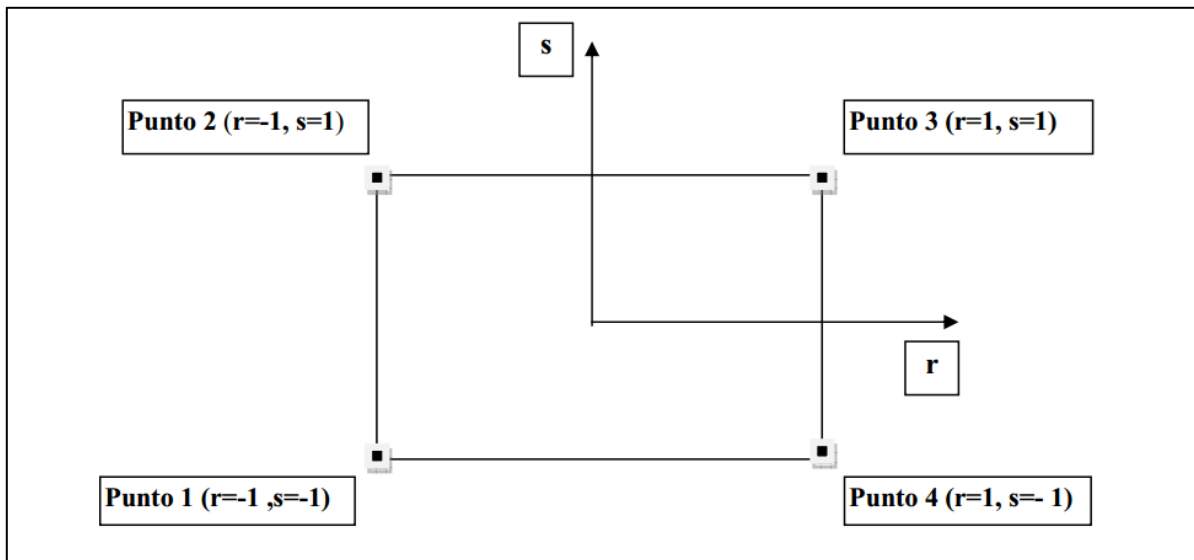


Figura 7.20: Applicazione dell'interpolazione bilineare

Fonte: NTC 2018

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1 - r) \cdot (1 - s) / 4$$

$$h_2 = (1 - r) \cdot (1 + s) / 4$$

$$h_3 = (1 + r) \cdot (1 + s) / 4$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri ag , F_0 , T_c^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4]$$

Dove p rappresenta il parametro cercato

7.7.4 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. 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 delle NTC 2018).

7.7.4.1 Coefficienti sismici

tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

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

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni

7.7.4.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Con

- β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito
- g : accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 7.8: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Fonte: D.M 13/01/2018

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E), e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$T1: S_T = 1.0; T2: S_T = 1.20; T3: S_T = 1.20; T4: S_T = 1.40.$$

7.7.4.3 Pericolosità sismica

Vita nominale (V_n):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (C_u):	1
Periodo di riferimento (V_r):	50 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (T_r) SLC:	975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	40,8094368 [°]
Longitudine (WGS84):	14,1684446 [°]
Latitudine (ED50):	40,8104362 [°]
Longitudine (ED50):	14,1693192 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame.

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	33199	40,833070	14,151030	2950,04
2	33200	40,832670	14,217080	4718,52
3	33422	40,782680	14,216480	5028,49
4	33421	40,783080	14,150470	3430,75

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,043	2,359	0,283
SLD	50	0,057	2,320	0,311
	72	0,070	2,316	0,318
	101	0,084	2,316	0,325
	140	0,099	2,310	0,326
	201	0,118	2,298	0,329
SLV	475	0,167	2,348	0,331
SLC	975	0,213	2,414	0,334
	2475	0,280	2,550	0,336

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,349	0,283
SLD	50	0,059	2,326	0,311
	72	0,072	2,317	0,319
	101	0,085	2,316	0,326
	140	0,101	2,313	0,328
	201	0,120	2,304	0,331
SLV	475	0,168	2,359	0,334
SLC	975	0,214	2,427	0,337
	2475	0,281	2,560	0,338

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,042	2,359	0,283
SLD	50	0,057	2,320	0,312
	72	0,070	2,319	0,319
	101	0,083	2,319	0,326
	140	0,098	2,313	0,327
	201	0,117	2,300	0,329
SLV	475	0,166	2,349	0,331
SLC	975	0,212	2,413	0,334
	2475	0,279	2,547	0,335

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,367	0,282
SLD	50	0,057	2,312	0,310
	72	0,069	2,312	0,317
	101	0,083	2,313	0,323
	140	0,098	2,305	0,324
	201	0,118	2,290	0,326
SLV	475	0,167	2,336	0,328
SLC	975	0,213	2,402	0,330
	2475	0,280	2,539	0,333

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,042	2,359	0,282
SLD	50	0,057	2,319	0,311
SLV	475	0,167	2,347	0,331
SLC	975	0,213	2,413	0,333

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,017	0,059	0,083
kv	0,006	0,009	0,029	0,041
amax [m/s ²]	0,624	0,845	2,391	2,904
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Fronti di scavo e rilevati

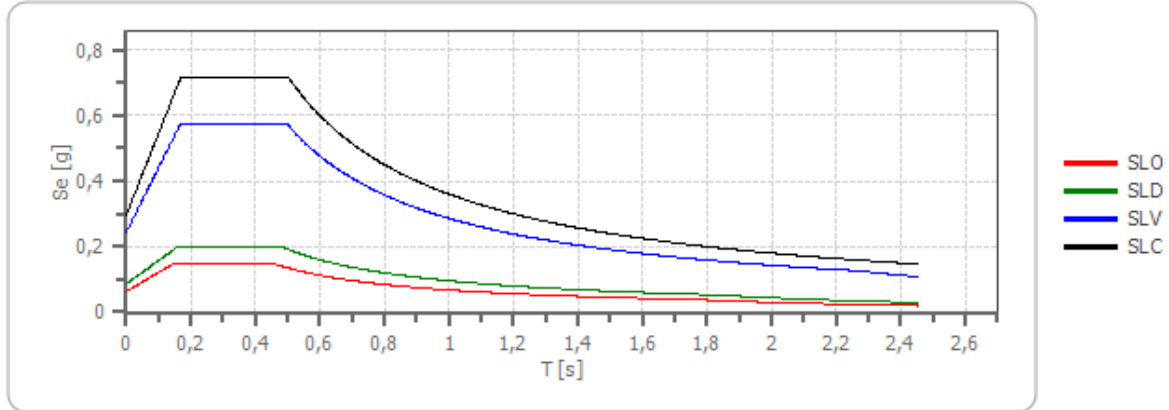
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,040	0,093	--
kv	--	0,020	0,046	--
amax [m/s ²]	0,624	0,845	2,391	2,904
Beta	--	0,470	0,380	--

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,042	2,359	0,282	1,500	1,590	1,000	1,500	1,000	0,150	0,449	1,770	0,064	0,150
SLD	1,0	0,057	2,319	0,311	1,500	1,540	1,000	1,500	1,000	0,160	0,479	1,830	0,086	0,200
SLV	1,0	0,167	2,347	0,331	1,460	1,510	1,000	1,460	1,000	0,167	0,500	2,268	0,244	0,572
SLC	1,0	0,213	2,413	0,333	1,390	1,510	1,000	1,390	1,000	0,168	0,503	2,452	0,296	0,715

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

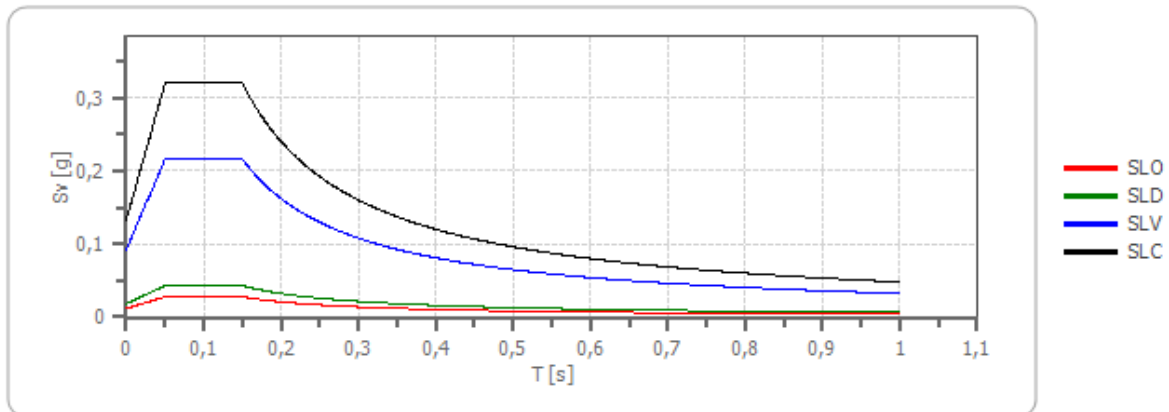
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$:

1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,042	2,359	0,282	1	1,590	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,028
SLD	1,0	0,057	2,319	0,311	1	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,019	0,043
SLV	1,0	0,167	2,347	0,331	1	1,510	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,092	0,216
SLC	1,0	0,213	2,413	0,333	1	1,510	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,133	0,320

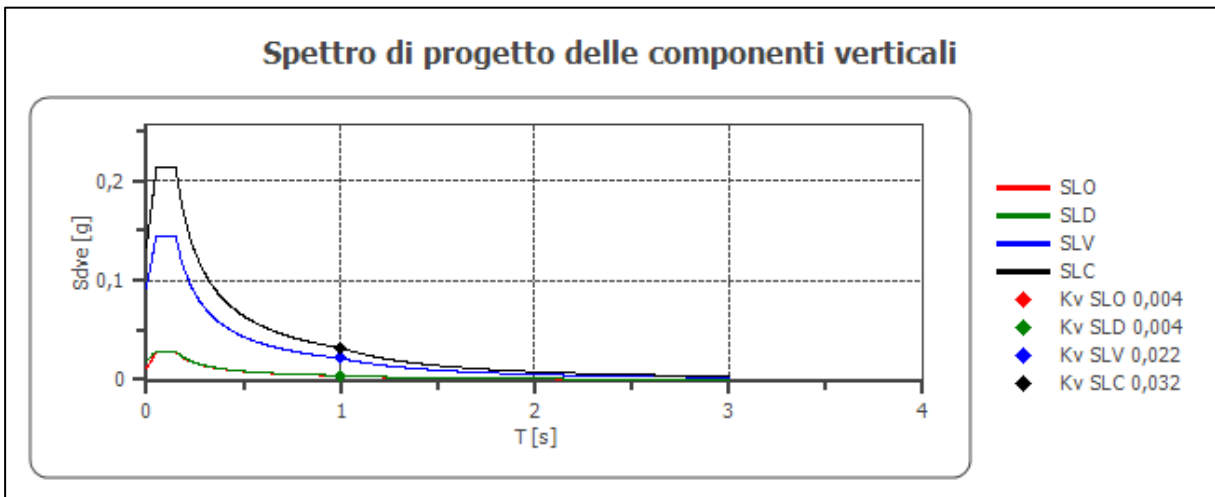
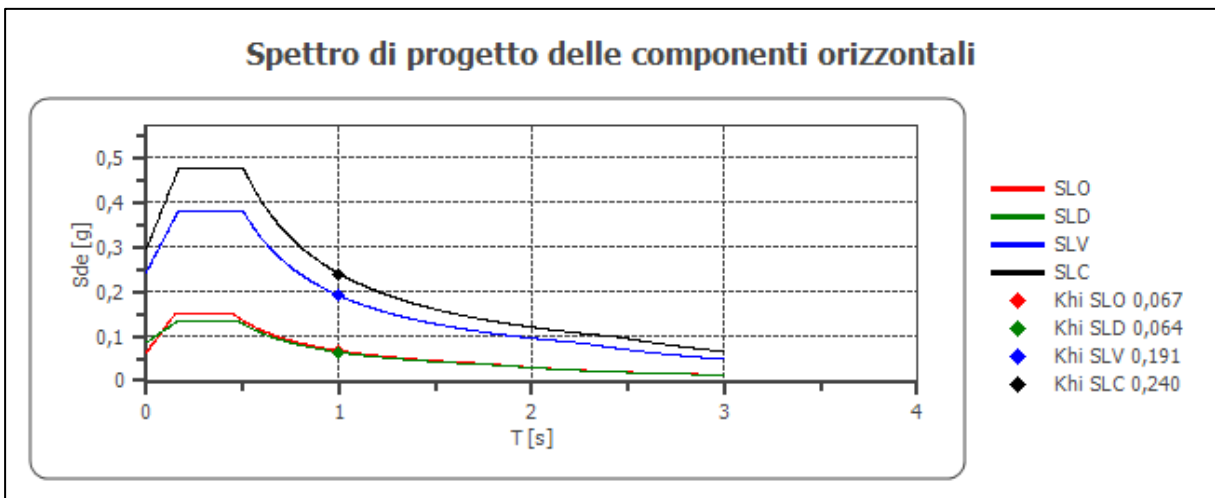
RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q :	1,50
Fattore di struttura spettro verticale q :	1,50
Periodo fondamentale T :	1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0,067	0,064	0,191	0,240
$k_{v} = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0,004	0,004	0,022	0,032



RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,0	0,042	2,359	0,282	1,500	1,590	1,000	1,500	1,000	0,150	0,449	1,770	0,064	0,150
SLO verticale	1,0	0,042	2,359	0,282	1,500	1,590	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,028
SLD orizzontale	1,0	0,057	2,319	0,311	1,500	1,540	1,000	1,500	1,500	0,160	0,479	1,830	0,086	0,133
SLD verticale	1,0	0,057	2,319	0,311	1,500	1,540	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,019	0,029
SLV orizzontale	1,0	0,167	2,347	0,331	1,460	1,510	1,000	1,460	1,500	0,167	0,500	2,268	0,244	0,381
SLV verticale	1,0	0,167	2,347	0,331	1,460	1,510	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,092	0,144
SLC orizzontale	1,0	0,213	2,413	0,333	1,390	1,510	1,000	1,390	1,500	0,168	0,503	2,452	0,296	0,476
SLC verticale	1,0	0,213	2,413	0,333	1,390	1,510	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,133	0,214

8 LIQUEFAZIONE

Secondo le norme NTC 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa nel caso si verifichino una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8.2
5. nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 8.1
6. nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

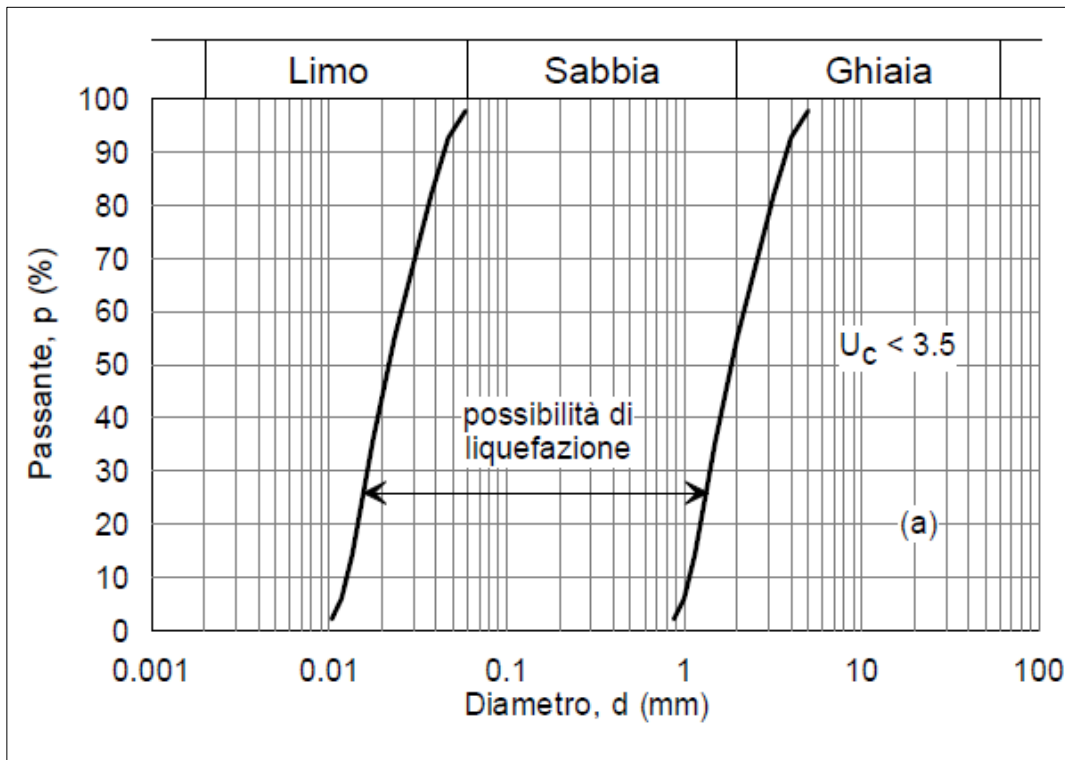


Figura 8.1: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione

Fonte: NTC 2018

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

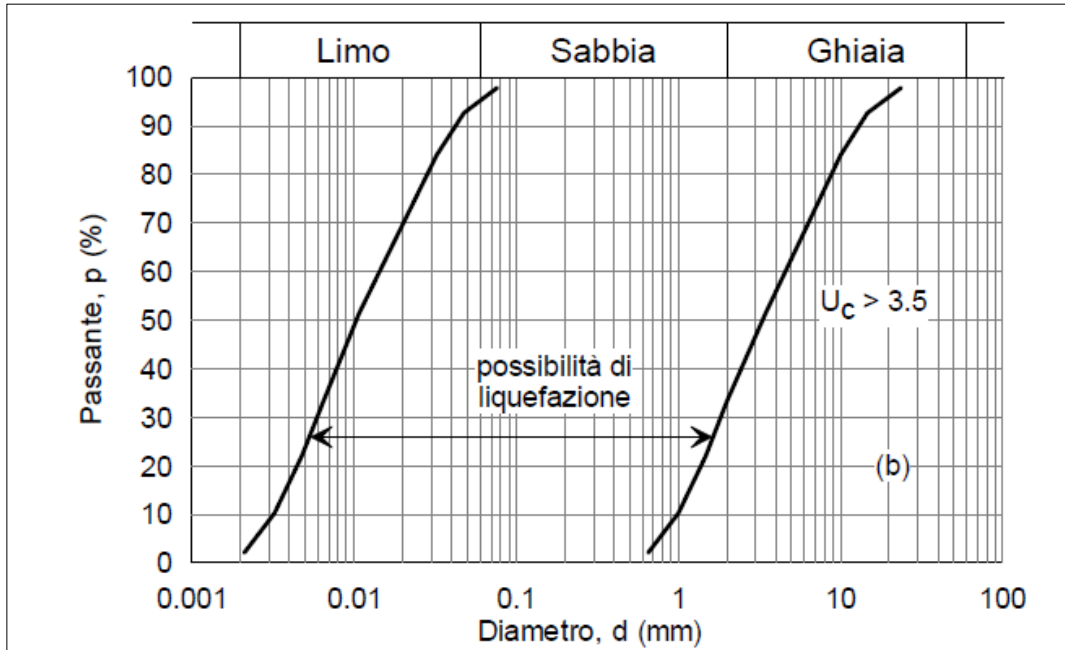


Figura 8.2: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione

Fonte: NTC 2018

Le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano essere maggiori di 0,1g, perciò risulta necessaria la verifica a liquefazione.

8.1 VERIFICA DI LIQUEFAZIONE

La verifica consiste nella stima alle varie profondità di un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto fra la resistenza alla liquefazione del terreno (CRR) e lo sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma (CSR).

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Le verifiche possono essere di tipo puntuale (singoli livelli) o globale (sull'intera colonna stratigrafica). Il parametro CRR può essere ottenuto attraverso correlazioni semi-empiriche con prove in sito (prove penetrometriche statiche, dinamiche (SPT) o mediante misura delle velocità delle onde S. La grandezza CSR è funzione dell'accelerazione sismica orizzontale max in superficie e della magnitudo. Le NTC 2018 non indicano un valore specifico di F_s di riferimento, lasciando al progettista la scelta e la motivazione del margine di sicurezza.

L'Eurocodice 8 suggerisce, nel caso di impiego di correlazioni semi-empiriche, che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto superi l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.

$$CSR \geq 0.80 CRR$$

Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite paria $F_s = CRR/CSR = 1.25$.

In accordo con l'Eurocodice 8, per considerare i depositi non liquefacibili, il valore di F_s calcolato deve essere maggiore di 1,25.

Sempre in accordo con la normativa vigente si è adottata una procedura di calcolo semplificata

VALUTAZIONE SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Reference Procedure: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils [2001]

$$\rightarrow FS = CRR / CSR = (CRR_{7.5}/CSR) \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

$$\rightarrow CSR = 0.65 \cdot (a_{max} / g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d \quad (\text{Seed \& Idriss, 1971})$$

$$r_d = 1 - 0.00765 z \quad z \leq 9.15 \text{ m} \quad (\text{Liao \& Whitman, 1986b})$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 z \quad 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = ??? \quad z > 23 \text{ m} \quad (\text{Robertson \& Wide, 1998})$$

$$r_d = (1 - 0.4113 z^{0.5} + 0.04053 z + 0.001753 z^{1.5}) / (1 - 0.4177 z^{0.5} + 0.05729 z - 0.006205 z^{1.5} + 0.00121 z^2) \quad (\text{Blake, 1996})$$

$$\rightarrow CRR_{7.5} = 1 / [34 - (N_1)_{60 cs}] + (N_1)_{60 cs} / 135 + 50 / [10 \cdot (N_1)_{60 cs} + 45]^2 - 1 / 200 \quad \begin{matrix} (N_1)_{60 cs} < 30 \\ (N_1)_{60 cs} \geq 30 \text{ No liquefazione} \end{matrix} \quad (\text{Rauch, 1998})$$

RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

$$\rightarrow CRR_{7,5} = 1/[34 - (N_1)_{60cs}] + (N_1)_{60cs}/135 + 50/[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2 - 1/200$$

 $(N_1)_{60cs} < 30$
 $(N_1)_{60cs} \geq 30$ No liquefazione

(Rauch, 1998)

$$CRR_{7,5} = [a + c \cdot (N_1)_{60cs} + e \cdot (N_1)_{60cs}^2 + g \cdot (N_1)_{60cs}^3] / [1 + b \cdot (N_1)_{60cs} + d \cdot (N_1)_{60cs}^2 + f \cdot (N_1)_{60cs}^3 + h \cdot (N_1)_{60cs}^4]$$

	a =	0,04844	(Blake, 1996)
	b =	-0,1248	
	c =	-0,004721	
	d =	0,009578	
	e =	0,0006136	
	f =	-0,0003285	
	g =	-0,00001673	
	h =	0,000003714	

NB 1 I valori di N_{SPT} vengono corretti in funzione di D_{50} come segue:

$$N_{clean-sand} = N_{SPT} (-0.19 \cdot \ln(D_{50}) + 0.721)$$
(Tokimatsu, 1988)

NB 2 Le espressioni di CRR sono valide per approssimare la curva base delle CLEAN-SAND. In presenza di contenuto di fine FC >5% i valori di $(N_1)_{60}$ vengono corretti

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

	$\alpha = 0$ $\beta = 1$	per FC ≤ 5%	(Seed & Idriss)
	$\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)]$ $\beta = \exp[0.99 + (FC^{1.5}/1000)]$	per 5 < FC < 35%	
	$\alpha = 5$ $\beta = 1.2$	per FC ≥ 35%	

NB 3 Le espressioni di CRR sono valide per terremoti di magnitudo 7.5. In presenza di magnitudo diverse da 7.5 i valori di CRR vengono corretti

$$CRR_{Mw} = MSF \cdot CRR_{7,5}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56}$$
lower bound
(Revised Idriss, 1997)

$$MSF = (M_w / 7.5)^{-2.56}$$
upper bound
(Andrus & Stokoe, 1997)

NB 4 Le espressioni di CRR devono infine essere corrette in relazione allo stato tensionale in sito

$$K_\sigma = (\sigma'_{vo} / 100)^{(1-f)}$$

	f = 0.8	per Dr ≤ 40%	(Hynes & Olsen, 1999)
	f = 0.8 - 0.005 · (Dr - 40)	per 40 < Dr < 80%	
	f = 0.6	per Dr ≥ 80%	

Per la verifica di liquefazione si considerano i numeri di SPT che provengono dai sondaggi SG14, SG15 e SG16 (sondaggi realizzati durante la campagna d'indagine del 2019).

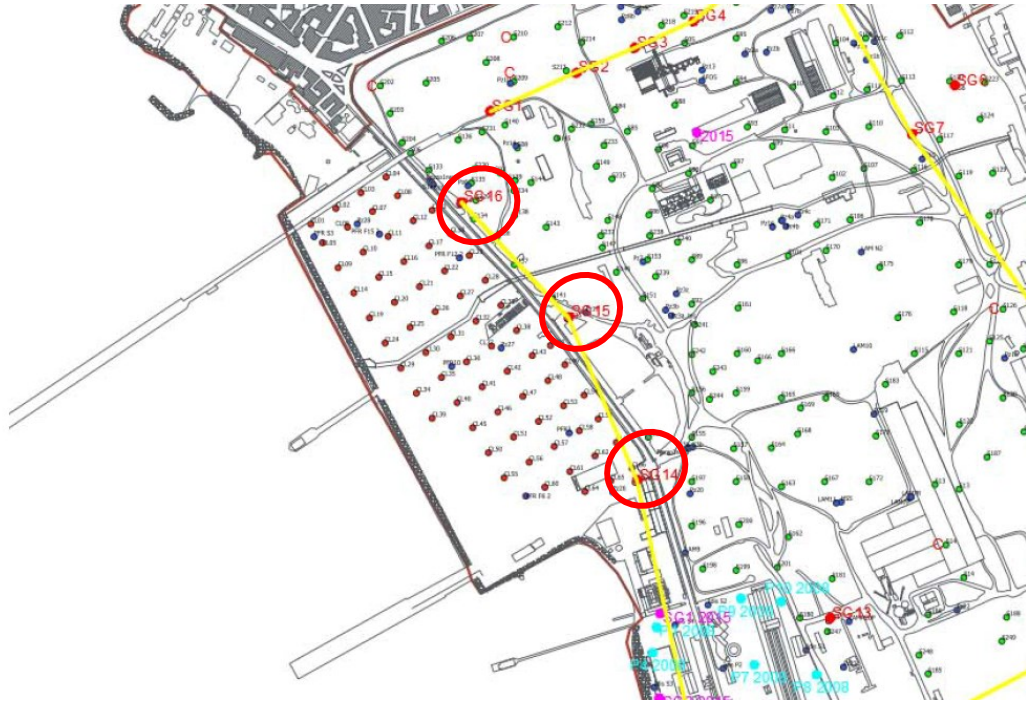
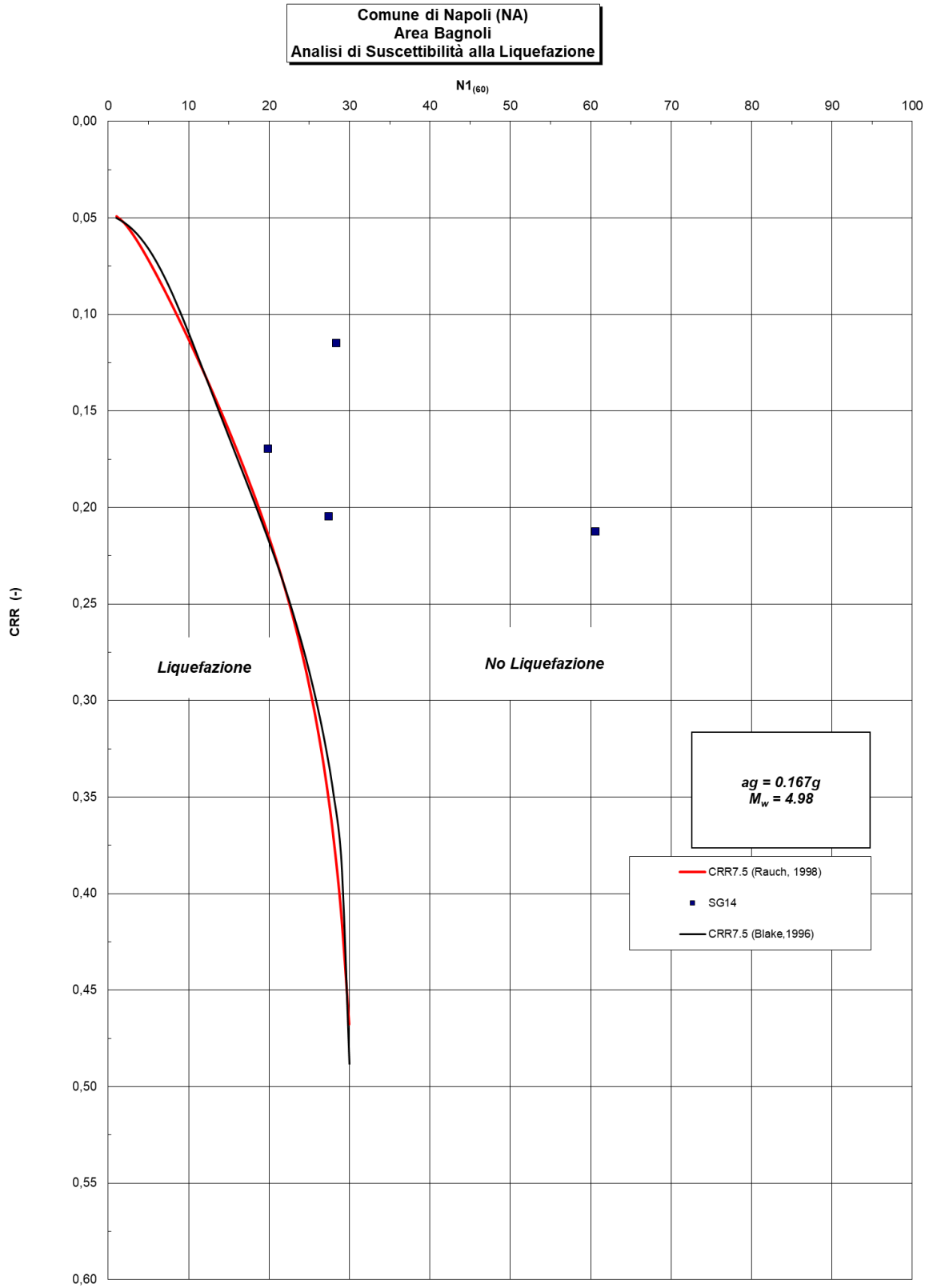


Figura 8.3: Sondaggi SG14, SG15 e SG16 evidenziati in rosso
Fonte: P22041-D-00-GE-RS-REL-04-00: Relazione geotecnica

- **Numeri di SPT ricavati dal sondaggio SG14**

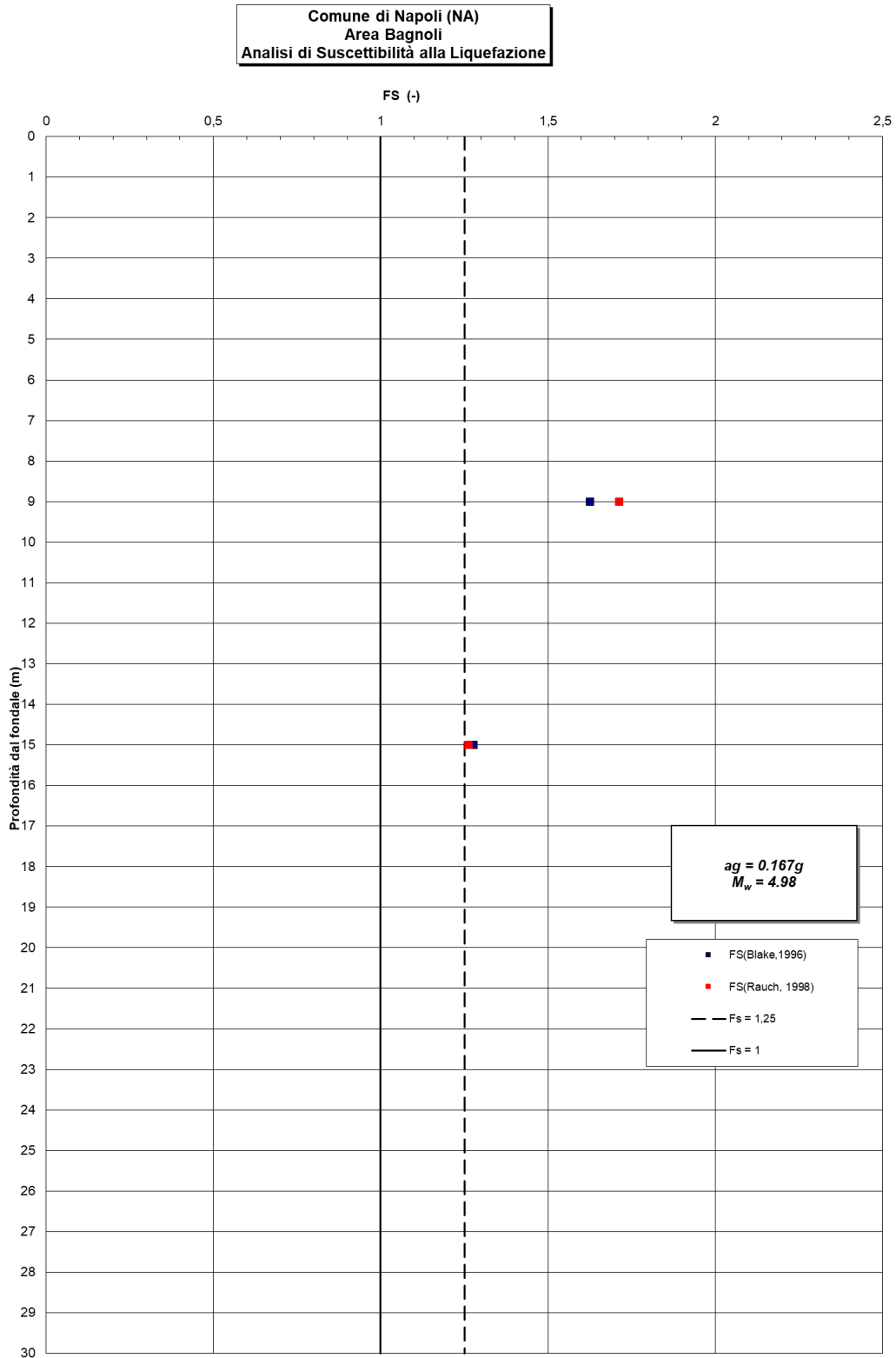
RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

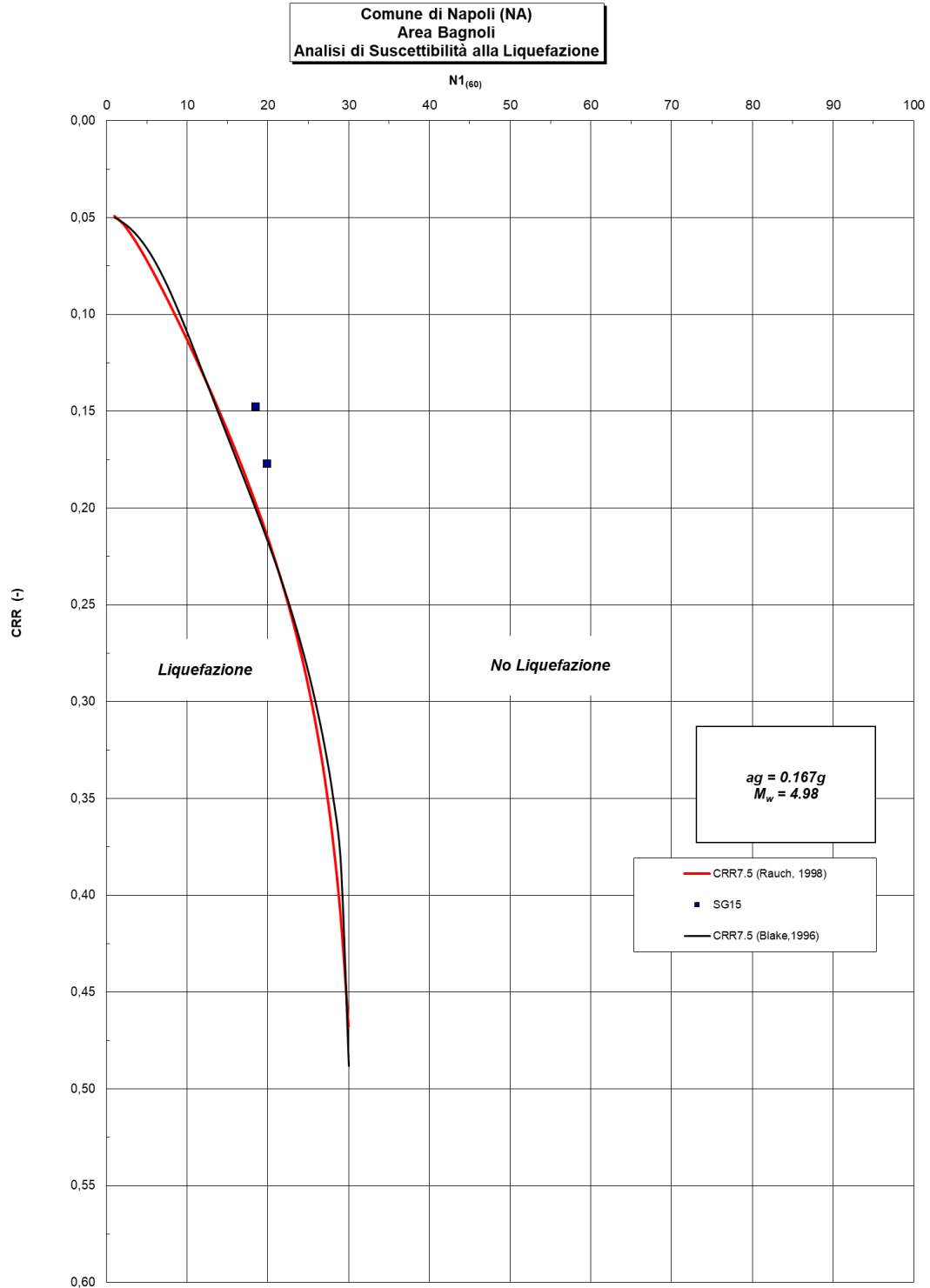


RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

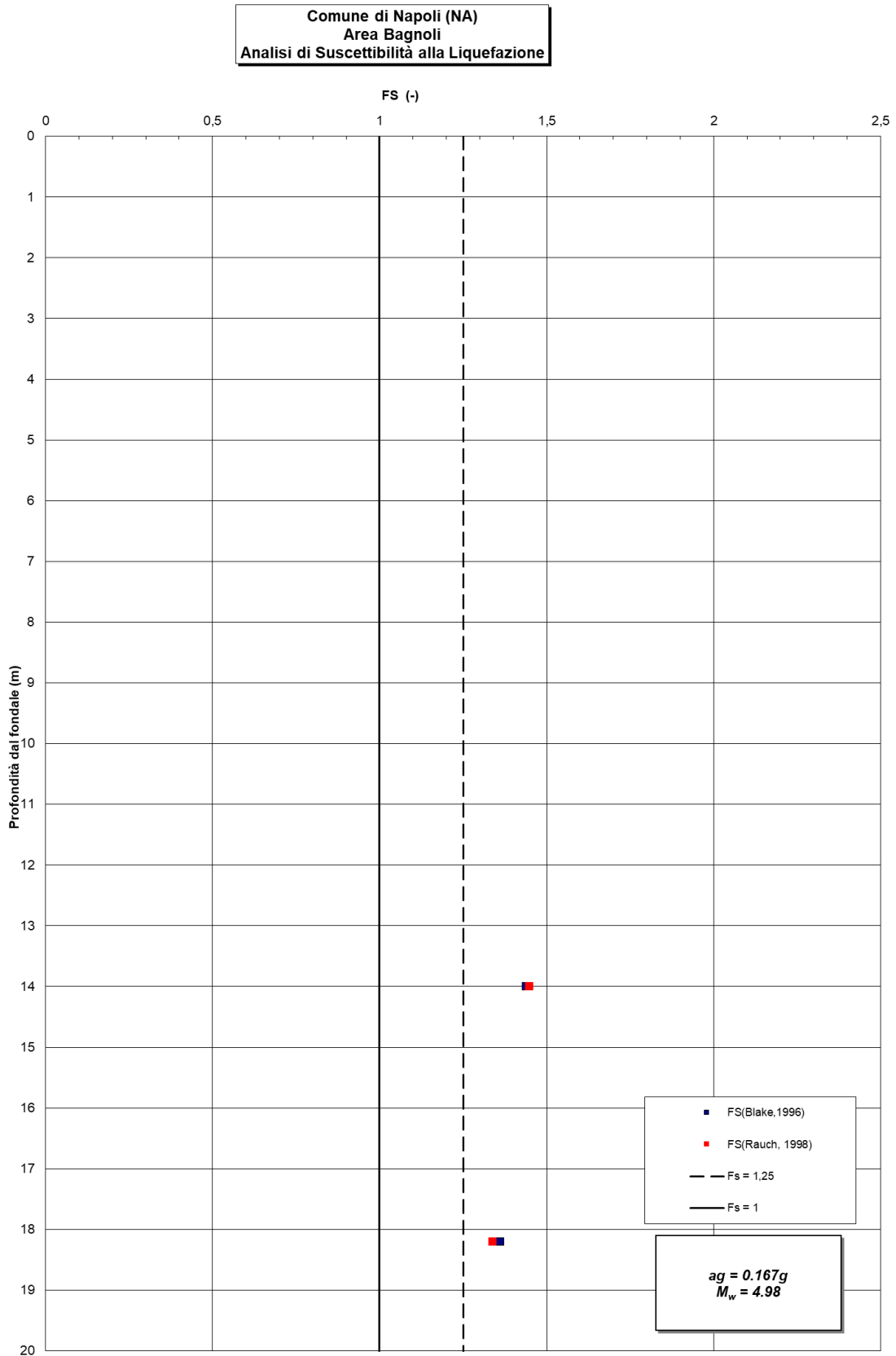


• **Numeri di SPT ricavati dal sondaggio SG15**

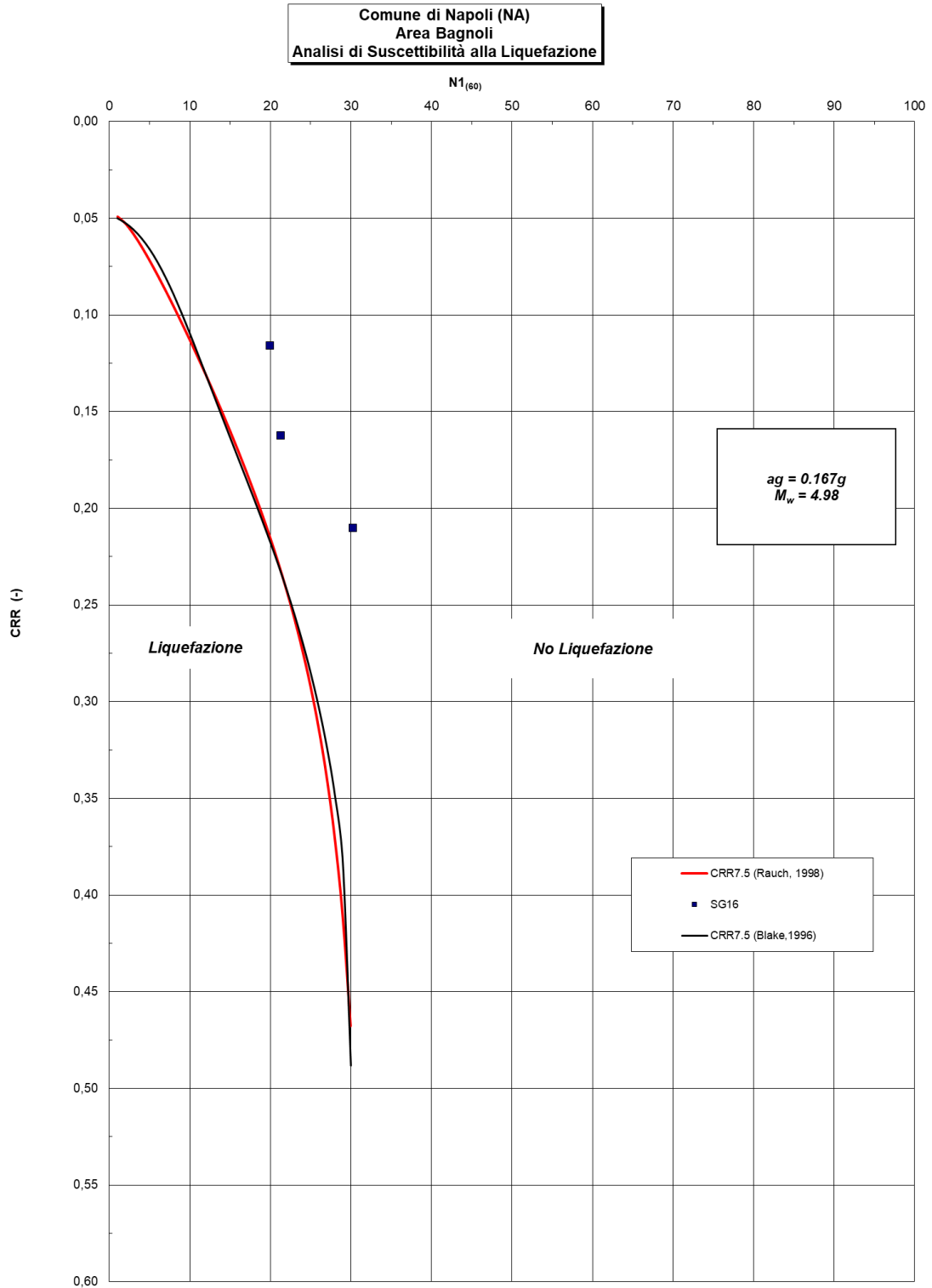


RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023

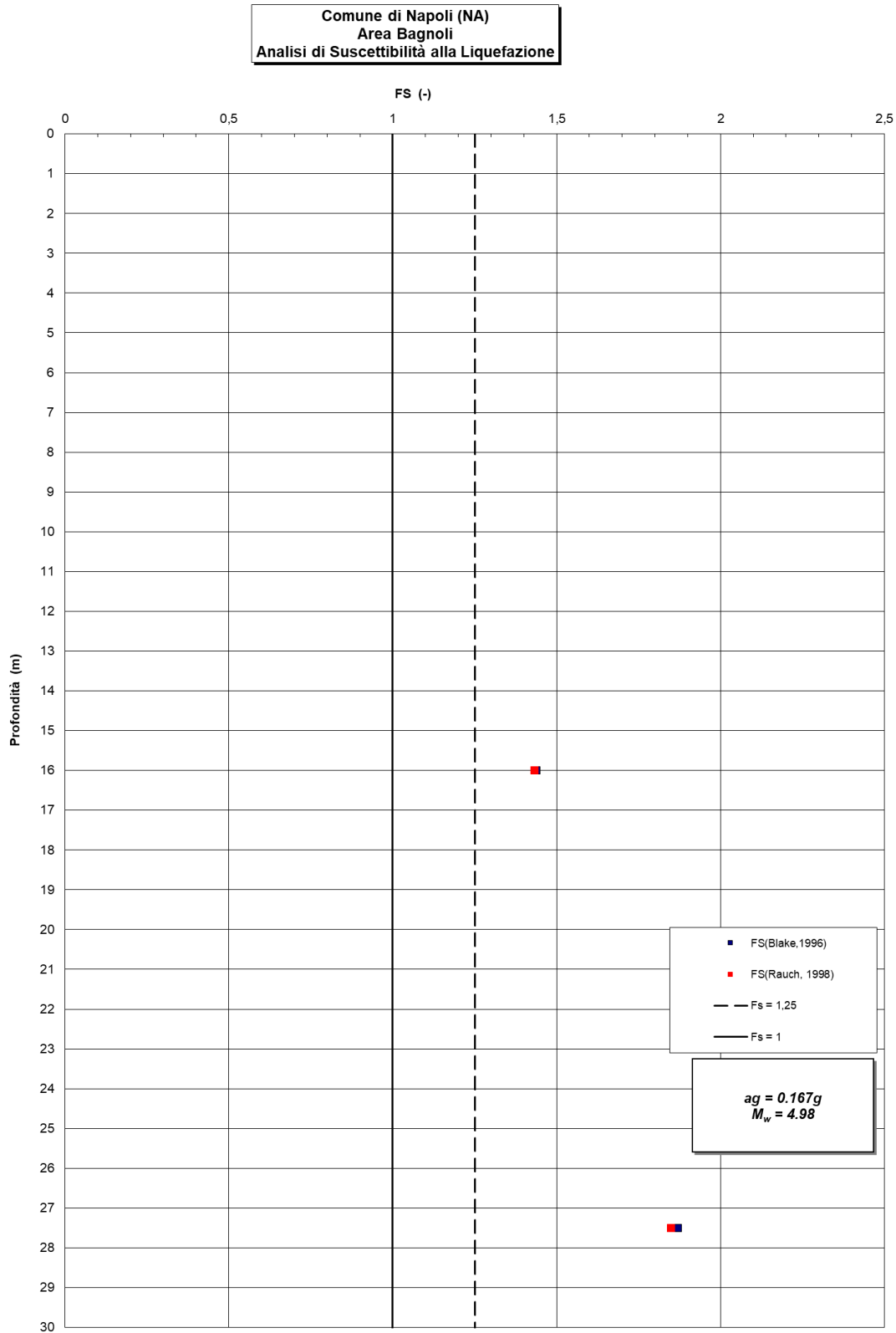


• **Numeri di SPT ricavati dal sondaggio SG16**



RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Codice Elaborato 2021E014-INV-01-D-00-GE-RS-REL-05-00 – Luglio 2023



A seguito delle analisi eseguite in conformità a quanto richiesto dalle NTC 2018, si conclude che l'area della colmata non è liquefacibile.

REFERENCES

- [1] Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Zanferrari A.; 1986: Neotectonic map of Italy. Modello strutturale, scala 1:500.000. CNR, Quaderni de "La Ricerca Scientifica", 114.
- [2] Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P.; 1992: Structural Model of Italy scale 1:500.000. Progetto Finalizzato Geodinamica, CNR-GNDT, Roma.
- [3] Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V.; 1988: Carta Geologica dell'Appennino Meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 41.
- [4] Bruno P.P.G., Rapolla A., Di Fiore V.; 2003: Structural setting of the Bay of Naples (Italy) seismic reflection data: implications for Campanian volcanism. Tectonophysics, 372, 193– 213.
- [5] Cinque A., Ascione A., Caiazzo C.; 2000: Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino meridionale. In: Galadini F. et al., Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica 1996-1999, CNR-GNDT, Roma, pp 203-218.
- [6] CPTI; 2004: Gruppo di lavoro CPTI04, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004, INGV, Bologna.
- [7] CSI; 2003: Catalogo della Sismicità Italiana (anni 1981-2002) dell' INGV- CNT, versione 1.0.
- [8] CSTI; 2005: Gruppo di Lavoro CSTI 2005, Catalogo Strumentale dei Terremoti Italiani dal 1981 al 1996, versione 1.1.
- [9] D'Argenio B., Angelino A., Aiello G., de Alteriis G., Milia A., Sacchi M., Tonielli R., Budillon F., Chiocci F., Conforti A., De Lauro M., Di Martino G., d'Isanto C., Esposito E., Ferraro L., Innangi S., Insinga D., Iorio M., Marsella E., Molisso F., Morra V., Passaro S., Pelosi N., Porfido S., Raspini A., Ruggieri S., Sarnacchiaro G., Terranova C., Vilaro and G., Violante C.; 2004: Digital elevation model of the Naples bay and adjacent areas, eastern Tyrrhenian Sea. In: Pasquaré G., Venturini C., Groppelli G., (eds.) Mapping geology in Italy, Rome APAT, Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, pp.21-28.
- [10] Luiso P.; 2009: Analisi Critica da letteratura sui sistemi di faglie della Piana Campana, in ambiente GIS. Tesi di Laurea in Geologia, Univ. Federico II Napoli.

