



**PROTEZIONE CIVILE**  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009 n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

Regione Puglia

Comune di Isole Tremiti (FG)



Regione



Ing. Tiziana Bisantino (R.U.P.)



Soggetto realizzatore  
ASSET Regione Puglia:



AGENZIA REGIONALE STRATEGICA PER LO  
SVILUPPO ECOSOSTENIBILE DEL TERRITORIO

Tecnici:

(Ingegneri): M. Luisi (R.U.P.);  
G. Vessia (C.T.S.);  
D. Bruno; D. Milella

(Geologi): D. Attolico; N.G. Florio;  
L. Grosso; A. Valerio

Data/Versione

12 - 07 - 2023 /RI\_001



Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica



## Sommario

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
1.1 FINALITÀ DEGLI STUDI.....	3
1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA COMUNALE.....	4
1.3 DEFINIZIONE DEI DOCUMENTI DI BASE UTILIZZATI NELLO STUDIO.....	7
1.4 AREE DA SOTTOPORRE AGLI STUDI DI MS.....	8
<b>2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>9</b>
2.1 SISMICITÀ STORICA DELL'AREA DI STUDIO.....	9
2.2 SISMICITÀ RECENTE DELL'AREA DI STUDIO.....	14
2.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	16
<b>3.ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>21</b>
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	21
3.1.1 <i>Evoluzione geologica dell'area di indagine</i> .....	24
3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	27
3.3 SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DI LETTERATURA.....	30
3.3.1 <i>Unità Cenozoiche</i> .....	33
3.3.2 <i>Depositi Quaternari</i> .....	34
3.4 AGGIORNAMENTO STRATIGRAFICO MEDIANTE RILEVAMENTO GEOLOGICO DI SUPERFICIE.....	36
3.4.1 <i>Descrizione della nuova carta geologica</i> .....	59
3.4.2 <i>Nuove sezioni geologiche</i> .....	67
3.4.3 <i>Condizioni idrogeologiche locali</i> .....	71
3.5 ELEMENTI TETTONICI.....	72
3.6 CONSIDERAZIONI FINALI SULL'ARCHITETTURA STRATIGRAFICA E SULL'ASSETTO MORFOLOGICO E STRUTTURALE.....	73
<b>4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....</b>	<b>77</b>
4.1 DATI GEOTECNICI PREGRESSI.....	77
4.2 RILIEVI GEOMECCANICI E GEOSTRUTTURALI PREGRESSI.....	78
4.3 DATI GEOFISICI PREGRESSI.....	84
4.4 INDAGINI GEOFISICHE DI NUOVA ESECUZIONE.....	92
<b>5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS.....</b>	<b>95</b>

5.1 UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE: DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE .....	95
5.1.1 <i>Geotecnica di laboratorio</i> .....	95
5.1.2 <i>Considerazioni sulla suscettibilità alla liquefazione delle unità litotecniche</i> .....	107
5.2 SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE .....	110
<b>6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE .....</b>	<b>115</b>
<b>7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....</b>	<b>116</b>
7.1 INQUADRAMENTO AI FENOMENI DELLE FRANE SISMO-INDOTTE .....	116
7.2 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE PROVE HVSR.....	124
<b>8. ELABORATI CARTOGRAFICI .....</b>	<b>130</b>
8.1 CARTA DELLE INDAGINI.....	130
8.2 CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA .....	132
8.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (CARTA DELLE MOPS).....	134
8.4 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI.....	139
<b>9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI .....</b>	<b>143</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>146</b>

*ALLEGATO 1 - CARTA DELLE INDAGINI (SCALA 1:5000)*

*ALLEGATO 2 - CARTA GEOLOGICO – TECNICA (SCALA 1:5000)*

*ALLEGATO 3 - SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE (1:1000)*

*ALLEGATO 4 - CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA “MOPS” (1:5000)*

## INTRODUZIONE

### *1.1 Finalità degli studi*

A seguito dell'evento sismico del 06.04.2009 la Presidenza del Consiglio dei Ministri, in attuazione dell'*art.11 del D.L. del 28/04/2009 n°39* (conosciuto come *Decreto Abruzzo*) ha emanato l'Ordinanza n° 3907 del 13.11.2010 (O.P.C.M. 3907/2010), con la quale si è avviato un programma pluriennale (2010-2016) in materia di prevenzione del rischio sismico.

Ai sensi dell'articolo 11 del suddetto D.L. 39/2009, la Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento di Protezione Civile, ha provveduto all'emanazione e alla pubblicazione dell'O.P.C.M. n. 3907/2010 (per il 2010), O.P.C.M. n. 4007/2012 (per il 2011), O.C.D.P.C. n. 52/2013 (per il 2012), O.C.D.P.C. n. 171/2014 (per il 2013), O.C.D.P.C. n. 293/2015 (per il 2014), O.C.D.P.C. n. 344/2016 (per il 2015) e O.C.D.P.C. n. 532/2018 (per il 2016), e con successivi decreti del Capo Dipartimento sono state trasferite le risorse economiche alle Regioni.

Tra le attività promosse e finanziate dall'O.P.C.M. 4007/2012, rientrano gli *studi di Microzonazione Sismica (MZS)* da effettuarsi sul territorio regionale secondo procedure e modalità stabilite dalla citata Ordinanza e dalla Regione Puglia nonché dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (I.C.M.S.) (Gruppo di lavoro, 2008).

La Regione Puglia ha individuato, con deliberazioni di Giunta n. 2407/2011 e n. 1728/2012, l'ex Autorità di Bacino della Puglia quale soggetto attuatore delle attività relative alle O.P.C.M. 3907/2010 e 4007/2012. In seguito, con deliberazione di Giunta n. 1331/2019 si è stabilito che le attività funzionali al completamento e/o alla definizione dei succitati studi dovevano essere realizzate a cura e sotto la responsabilità della competente struttura di Protezione Civile regionale, con il coinvolgimento delle amministrazioni comunali e il supporto dei centri di competenza pubblici quali università e/o centri di ricerca.

La Protezione Civile della Regione Puglia, nel quadro degli indirizzi espressi dalla Giunta Regionale con D.G.R. 1331/2019, ha avviato gli studi di Microzonazione Sismica in collaborazione con l'Agenzia Regionale Strategica per lo Sviluppo Ecosostenibile del Territorio **ASSET**, **il coinvolgimento scientifico di UniBa e CNR/Irpi, l'ANCI Puglia e gli Ordini professionali**. Sono state quindi stipulate delle convenzioni per assicurare il più ampio coordinamento delle attività di Microzonazione Sismica e l'analisi delle condizioni limite dell'emergenza, nel quadro delle rispettive competenze. Lavori per i quali l'ASSET ha assunto tecnici esperti, geologi e ingegneri.



L'ASSET, quindi, si è impegnata ad eseguire gli studi di Microzonazione Sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza a supporto tecnico-ingegneristico dei comuni al di sotto dei 2500 abitanti.

Al fine di giungere alla redazione della *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di livello 1*, "MOPS", così come previsto al punto 1.6.3.1 degli I.C.M.S., sono stati raccolti i dati disponibili presso i comuni, e frutto di studi pregressi condotti dal Cnr-Irpi, dall'UniBa e dal Politecnico di Bari, di tipo geologico, geomorfologico, idrogeologico e pianificatorio, che hanno consentito di avere un quadro conoscitivo generale del territorio comunale delle isole Tremiti. Lo studio di MZS, redatto secondo i criteri stabiliti nel testo "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - Parti I, II e III" (a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri-Dipartimento della Protezione Civile) e utilizzando gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica in versione 4.2, ha come finalità quella di razionalizzare la conoscenza sulle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo, la progettazione e la pianificazione del territorio urbanizzato.

## ***1.2 Descrizione generale dell'area comunale***

L'arcipelago delle isole Tremiti si trova in provincia di Foggia (FG), di fronte alla costa settentrionale del Gargano, ed è costituito dalle isole di San Nicola, San Domino, Capraia e Pianosa per uno sviluppo complessivo di poco superiore a 3 km<sup>2</sup> (Figura 1). Nello specifico, fronteggia i comuni pugliesi di Chieuti, Serracapriola, Lesina, San Nicandro Garganico, Cagnano Varano, Ischitella e Rodi Garganico (Figura 2).

L'arcipelago ha 479 abitanti residenti (ISTAT, 2023), tuttavia nei mesi estivi tale numero si moltiplica a seguito della vocazione principalmente turistica del luogo: nel 2021, ad esempio, in estate sono stati contati 17 458 arrivi sulle isole.



**Figura 1. Inquadramento regionale dell'area comunale oggetto di studio (evidenziata in giallo).**



**Figura 2. Ubicazione geografica e area comunale (in giallo).**

Dal punto di vista paesaggistico (cfr. PPTR Regione Puglia), il territorio comunale ricade nell'ambito del Gargano, essendo una prosecuzione della dorsale calcarea garganica. Questa continuità geologica determina anche una continuità dei caratteri paesaggistici strettamente correlati alle componenti geomorfologiche. Nel paesaggio insulare si ritrovano, pertanto, i caratteri tipici dell'ambito: le falesie della costa alta, movimentate anche dalla presenza di numerose grotte; il dominio delle pinete; il carattere compatto e accentrato dell'insediamento. San Domino, rocciosa e ammantata da una pineta, è l'isola più grande e popolata dotata dell'unica spiaggia sabbiosa dell'arcipelago (Cala delle Arene). Seguono, in ordine di dimensione, l'isola di San Nicola, un tavolato roccioso dove è concentrato il patrimonio storico-culturale, e la Capraia, completamente disabitata. Pianosa, anch'essa completamente disabitata, è distante una ventina di chilometri via mare dalle altre isole. Secondo il 15esimo Censimento generale della popolazione e delle abitazioni redatto dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), pubblicato nel 2012 con dati del 2011, il Comune di Isole Tremiti è identificato univocamente nell'ambito del territorio nazionale con il codice 71-026 (cod. Provincia-cod. Comune). Come si evince in Figura 3, la quasi totalità degli abitanti risiede in una piccola porzione di territorio, denominata "centro abitato", distribuito tra le isole di San Domino e San Nicola.



**Figura 3. Distribuzione della popolazione residente all'interno del comune oggetto di studio (ISTAT, 2012).**

L'abitato è collegato con territorio continentale sia via nave, principalmente con partenza da Termoli (CB) e Vieste (FG), sia in elicottero con partenza da Foggia.

### ***1.3 Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio***

Il presente studio raccoglie ed analizza dati pregressi acquisiti di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, lito-stratigrafico, sismico relativi all'area da studiare ai fini della Microzonazione Sismica, ricadenti nel territorio comunale delle isole Tremiti. Le informazioni raccolte all'interno dell'area di studio sono state verificate ed integrate con informazioni di nuova acquisizione che, per la fase di Microzonazione Sismica di I livello, derivano da un rilevamento geologico di superficie condotto sull'area di interesse, nonché da indagini geofisiche di nuova acquisizione: nello specifico, sono state eseguite complessivamente 37 indagini di rumore sismico ambientale (misure HVSR) svolte in 19 punti di misura, finalizzate alla definizione della frequenza di sito.

In merito ai dati pregressi, ricerche cartografiche e bibliografiche preliminari hanno consentito di recuperare numerosi studi tecnici, disponibili presso archivi pubblici e privati, in parte anche consultabili on-line su siti web istituzionali. Ci si è avvalsi della collaborazione dell'Ufficio Tecnico del Comune e di vari Enti o istituzioni provinciali, regionali e nazionali.

A tal proposito, è da notare che non è stato possibile reperire tutto il materiale pregresso prodotto di cui si è avuta conoscenza, il più delle volte a causa di una non precisa archiviazione e completezza della documentazione richiesta. Quanto reperito è stato copiato o digitalizzato per il successivo lavoro di lettura critica ed estrazione di informazioni utili agli scopi della Microzonazione Sismica (indagini geognostiche dirette ed indirette, prove e certificati di laboratorio, ricostruzioni stratigrafiche, ecc.).

Si è scelto di non considerare quelle informazioni che non garantivano sufficiente affidabilità per mancanza di certificazione, parzialità dell'informazione (mancanza di ubicazione, assenza di documentazione grafica o fotografica, scarsa leggibilità del dato, carenza del grado di dettaglio necessario).

Il punto di partenza per la redazione delle cartografie tematiche richieste dagli studi di microzonazione sismica è stata la cartografia geologica disponibile sia in prodotti cartografici ufficiali a carattere regionale (stralcio del Foglio 156 "San Marco in Lamis" della Carta Geologica d'Italia, scala 1: 100.000), che in studi tecnici a carattere più locale.

La documentazione reperita e consultata è dettagliatamente riportata in specifici paragrafi (par. 4.1 e par. 4.2), come anche i link e i riferimenti agli Enti, Istituzioni e siti web consultati (cfr. Bibliografia).

#### ***1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS***

All'interno del limite comunale, l'area oggetto di studio finalizzata alla redazione di cartografie geologiche di dettaglio (1:5000) è stata definita in collaborazione con la Sezione Protezione Civile della Regione Puglia, a sua volta supportata dal CNR-Irpi di Bari ed il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università di Bari (UniBa). Tale perimetrazione ha tenuto conto delle caratteristiche peculiari del territorio dal punto di vista urbanistico, topografico e geomorfologico, in ottemperanza alle Linee Guida Nazionali (2020).

Come si dirà più specificatamente nel par. 3.2, l'estensione dell'area oggetto di rilevamento geologico ha permesso di comprendere, nella loro estensione massima, i diversi cinematismi di instabilità di versante che coinvolgono il centro abitato e le principali vie di accessibilità al Comune. Data la dimensione esigua delle isole, sono state considerate come aree di studio le uniche due isole abitate, nella loro totalità, per una superficie complessiva pari a circa 2,5 km<sup>2</sup>. I rilievi e le indagini di rumore ambientale sono stati svolti dai tecnici di ASSET Regione Puglia, nel mese di maggio 2023. Entrambe le attività sono state coadiuvate dal supporto tecnico-scientifico di CNR/Irpi e UniBa.

## **2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO**

### ***2.1 Sismicità storica dell'area di studio***

La distribuzione della sismicità storica italiana degli ultimi mille anni è consultabile liberamente tramite il Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI11 realizzato nell'ambito delle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro tra il Dipartimento di Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia 2012-2021 (a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi, 2011), e attraverso il “web service” dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/>.

Il Gargano, che nella classificazione di rischio sismico è compreso nella zona 2 (rischio medio-alto), è una terra che annovera nella sua storia una serie di terremoti abbastanza violenti.

Le isole Tremiti sono caratterizzate da una sismicità storica caratterizzata da alcuni eventi di magnitudo importanti, che negli ultimi anni ha visto il verificarsi di terremoti con magnitudo compresa fra 4 e 5. Lo stesso nome delle isole Tremiti, secondo quanto ha riportato il latino Tacito, deriva da “Tremerum o Tremorum”, cioè “terremoto”, forse in riferimento a un antico sisma che sconvolse quel territorio.

La sismicità storica è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11.

In Figura 4 è rappresentata graficamente la storia sismica delle isole Tremiti nell'intervallo temporale dall'anno 1000 e il 2006.

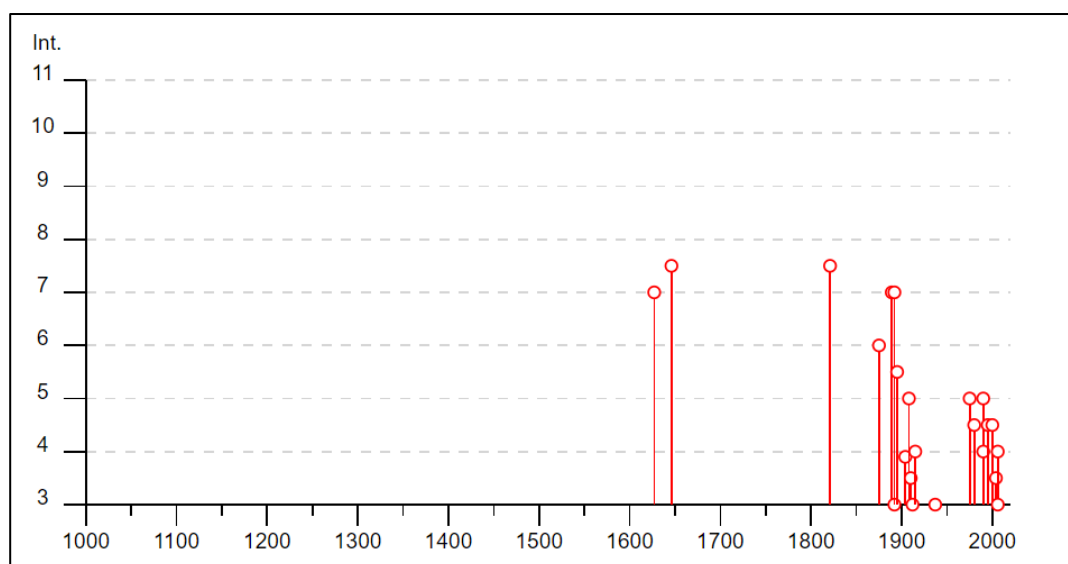


Figura 4. Sismicità storica nel comune oggetto di studio, dall'anno 1000 al 2006 (DBMI04, [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/))

Gli episodi più significativi sono quelli del 1627, del 1646 e 1732, del 1821, del 1889 e del 1892, che hanno prodotto effetti pari o superiori al VII grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg).

Nella successiva Figura 5 è rappresentato un elenco, in forma tabellare, dei terremoti aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate, oltre alla stessa intensità al sito ( $I_s$ ), anche l'anno, il mese, il giorno in cui l'evento sismico si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS e la magnitudo momento.

Come si può osservare, sono raffigurati 16 eventi sismici che hanno generato una intensità risentita  $I_s \geq 4$  MCS.

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int. (Is)	Data	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto	Numero di punti / osservazioni macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI11, espressa in scala MCS	Magnitudo momento, da CPTI11
7	<a href="#">1627 07 30 10 50</a>	Capitanata	64	10	6.66
7-8	<a href="#">1646 05 31</a>	Gargano	35	10	6.72
7-8	<a href="#">1821 11 22 01 15</a>	Costa molisana	9	7-8	5.59
6	<a href="#">1875 12 06</a>	Gargano	97	8	5.86
7	<a href="#">1889 12 08</a>	Gargano	122	7	5.47
7	<a href="#">1892 06 06</a>	Isole Tremiti	68	6	4.88
5-6	<a href="#">1895 08 09 17 38 2</a>	Adriatico centrale	103	6	5.11
5	<a href="#">1908 01 08 21 41</a>	Isole Tremiti	3	5	4.16
4	<a href="#">1915 01 13 06 52 4</a>	Marsica	1041	11	7.08
5	<a href="#">1975 06 19 10 11</a>	Gargano	61	6	5.02
4-5	<a href="#">1980 11 23 18 34 5</a>	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
5	<a href="#">1990 02 13 09 15 2</a>	Isole Tremiti	13	4	4.2
4	<a href="#">1990 05 05 07 21 2</a>	Potentino	1375		5.77
4-5	<a href="#">1995 09 30 10 14 3</a>	Gargano	145	6	5.15
4-5	<a href="#">2000 08 30 13 45 1</a>	Isole Tremiti	12		4.23
4	<a href="#">2006 05 29 02 20 0</a>	Gargano	384		4.64

**Figura 5. Sismi e magnitudo risentite nell'area oggetto di studio, riportati in forma tabellare, e località prossime al comune in oggetto con risentimenti macrosismici. Tratto dal catalogo parametrico dei Terremoti Italiani – INGV- CPTI15-DBMI15 ([https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)).**

Tra quelli elencati, il primo evento che ha avuto un risentimento Is pari a 7 MCS alle isole Tremiti è quello occorso il giorno 30 luglio 1627 alle ore 10:50 GMT. La violentissima scossa, di magnitudo 6.7, ha generato uno tsunami che ha colpito la costa medio-adriatica, dall'Abruzzo al Gargano.

Le località più gravemente colpite furono Apricena, Lesina, San Paolo di Civitate, San Severo e Torremaggiore dove la maggior parte degli edifici crollò. Gravissimi e ben documentati i danni alle chiese, ai monasteri e ai fabbricati di proprietà ecclesiastica. Più incerti i dati circa i danni alle abitazioni private, spesso forniti dalle relazioni coeve, che tendono però a raggruppare diverse località e a darne immagini complessive. L'area danneggiata meno gravemente comprende le località costiere del Gargano, fino a Manfredonia a sud e a Termoli, a nord.

Il terremoto fu avvertito a est fino alle isole Tremiti e a ovest in molte località dell'Appennino dauno e della Campania, compresa la città di Napoli (<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?00928IT>).



Circa 19 anni dopo, il 31 maggio 1646 seguì un altro sisma con epicentro localizzato nella foresta Umbra e magnitudo 6.72, il più forte di sempre registrato in Puglia, con  $I_s=7-8$  MCS alle isole Tremiti; la scossa principale avvenne in piena notte (2:00 GMT ca.) ed ebbe effetti distruttivi in diversi paesi del promontorio del Gargano. Le località più colpite furono Carpino, Ischitella, Monte Sant'Angelo, Vico del Gargano e Vieste, dove il terremoto causò il crollo di interi edifici e l'inagibilità quasi totale delle abitazioni. L'area di risentimento comprese Napoli e Bari. Uno sporadico, ma attestato risentimento si ebbe fino a Cremona (<http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/quake.php?00995IT>).

Il 22 novembre 1821 alle ore 01:15 GMT è occorsa una scossa di terremoto risentita alle isole Tremiti con intensità  $I_s$  compresa tra 7 e 8 MCS.

Questo evento è segnalato da una fonte giornalistica coeva [Giornale Costituzionale del Regno delle Due sicilie, 1821.12.08] con una corrispondenza da Napoli in cui sono descritti gli effetti di un forte terremoto avvenuto nelle prime ore del 22 novembre 1821 in area adriatica. Come spesso accade in questa tipologia di fonti (avvisi, gazzette ecc.), una prima traccia dell'evento compare già in un numero precedente che dà notizia di una leggera scossa avvertita a Napoli alle due e un quarto del mattino del 22 novembre [Giornale Costituzionale del Regno delle Due sicilie, 1821.11.22]; nella edizione uscita qualche giorno dopo, arriva poi la precisazione che quella scossa altro non era che il risentimento di un evento più importante e significativo avvenuto in altra parte del regno. In questo caso l'area colpita risulta la fascia costiera a cavallo tra le odierne regioni Puglia e Molise, con risentimenti fino a Teramo e a Foggia, oltre alla già citata Napoli. Complessivamente le scosse avvertite furono 8 e causarono danni gravi alle isole Tremiti e nell'area di Termoli, dove alcuni edifici e fortificazioni crollarono. La verifica delle principali compilazioni sismologiche nazionali e regionali ha evidenziato che questo terremoto figura in gran parte delle principali compilazioni e opere di sismologia storica, compreso Baratta (1901). E' elencato anche in cataloghi novecenteschi come Karnik (1971), Carrozzo et al. (1973) e Postpischl (1985). Quest'ultimo, in particolare, sulla base di Baratta (1901) lo elenca alle ore 1:15 GMT del 22 novembre, con area epicentrale "medio Adriatico" e intensità VII MCS.

L'evento è dunque ampiamente noto alla tradizione sismologica italiana come terremoto che ha causato danni significativi lungo la costa adriatica tra il Gargano, il Molise e le isole Tremiti.

Il terremoto causò danni gravi nelle isole Tremiti e lungo la costa adriatica tra il Gargano e il Molise: a Termoli e a Portocannone gli edifici furono gravemente danneggiati e ci furono alcuni

crolli; nelle isole Tremiti crollò gran parte delle mura del castello, mentre a Lesina molti edifici rimasero seriamente lesionati.

Questo terremoto pertanto si delinea come un evento significativo, con probabile epicentro nel mare Adriatico nei pressi delle isole Tremiti o fra queste e la costa, in un'area dove è nota una sismicità strumentale piuttosto frequente, ma di bassa energia (Camassi et al., 2011).

Il giorno 8 dicembre 1889 alle ore 05:08 (GMT) una notevole scossa di terremoto colpì la regione garganica, provocando molte lesioni agli edifici di Apricena, S. Marco in Lamis, S. Giovanni Rotondo, Vico garganico, Torre Mileto e delle isole Tremiti.

Questo evento, assieme al terremoto occorso il 6 dicembre 1875 nella stessa area, è risultato interessante per la complessità dei campi macrosismici e per la notevole estensione delle aree di risentimento in rapporto alle non elevate intensità epicentrali (rispettivamente VII e VIII grado MCS). Infatti, nonostante l'intensità epicentrale non molto elevata, il terremoto fu risentito in gran parte dell'Italia. La carta delle isosisme presentata in Meloni & Molin (1985) e presentata in Figura 6, mostra una complessa area epicentrale, suddivisa in due aree di maggior danneggiamento, entrambe di VII grado. Inoltre, in molte località distribuite in tutto il campo macrosismico, sono state avvertite due scosse, probabilmente per la presenza di due aree epicentrali. Tuttavia, poiché l'area più orientale è quella che più si avvicina al baricentro dell'intero campo macrosismico, l'epicentro può essere posto approssimativamente tra le isole Tremiti e Rodi Garganico.

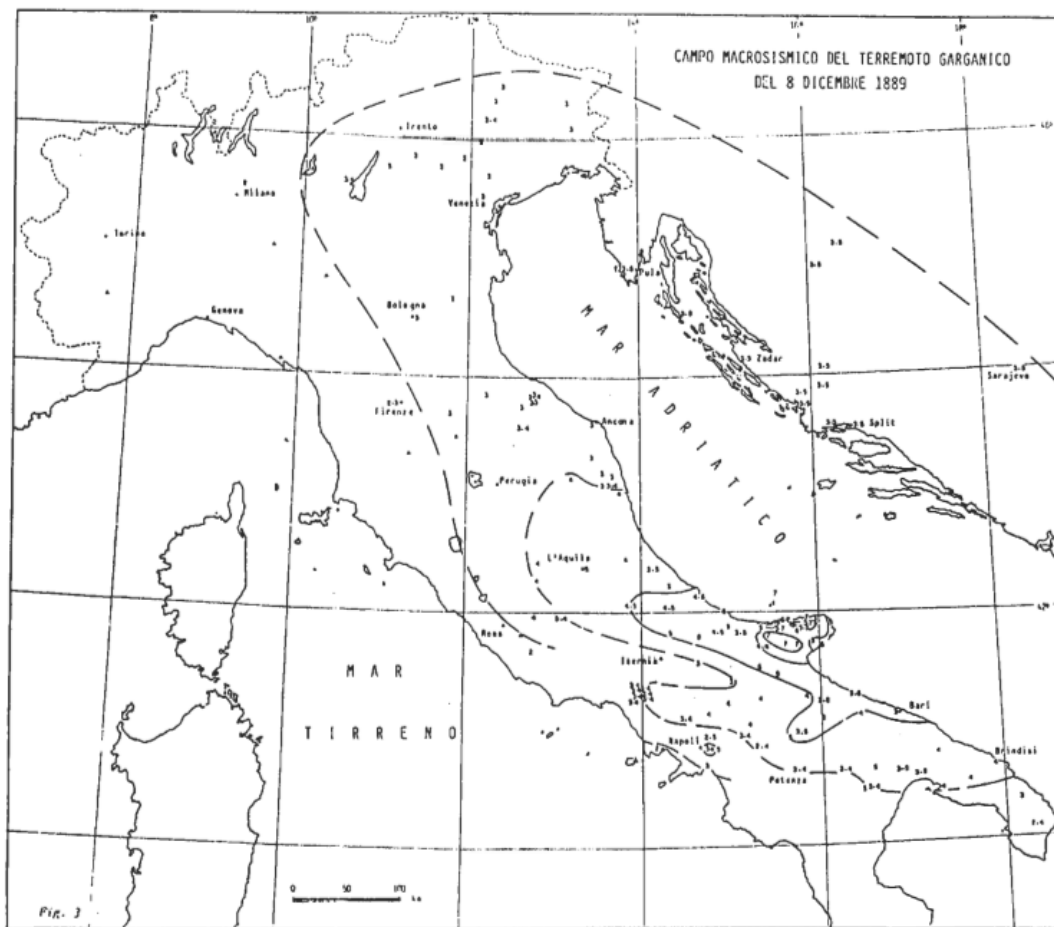


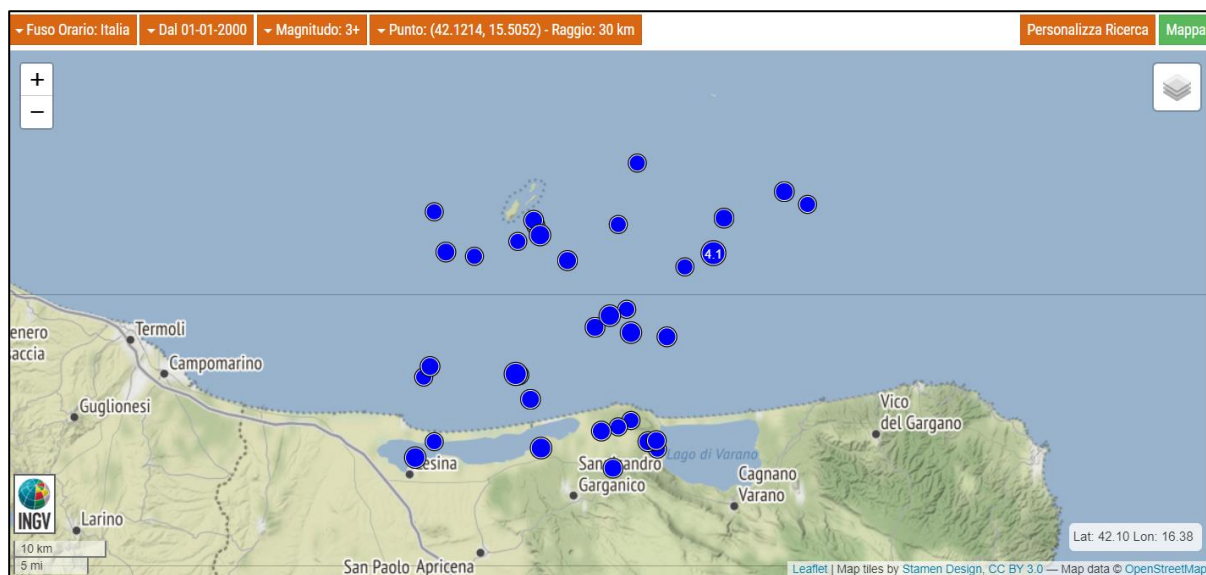
Figura 6. Campo macrosismico del terremoto occorso il giorno 8 dicembre 1889, da Meloni & Molin (1985).

Un ulteriore evento sismico che ha avuto un risentimento  $I_s$  pari a 7 MCS alle isole Tremiti è quello del giorno 6 giugno 1892. Baratta (1901) descrisse tutta la sequenza, di cui questo evento è stato riportato essere la “dodicesima scossa”. La maggiore violenza si manifestò proprio alle Tremiti, dove determinò lesioni in parecchi muri. Fu risentita in quasi tutta la provincia di Foggia, in parte di quelle di Bari e di Campobasso e si estese in qualche punto della Basilicata, del Chietino, dell’Avellinese. La maggior lunghezza dell’area interessata dallo scuotimento sismico si ebbe lungo la costa dell’Adriatico per un tratto di circa 250 Km, in linea retta da Vasto al confine fra le Province di Bari e di Lecce.

## 2.2 Sismicità recente dell’area di studio

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale delle isole Tremiti è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDE Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti aventi una magnitudo minima pari a 3, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2000 e il 21/04/2023, in un raggio di 30 Km dal comune (Figura 7).



**Figura 7. Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 30 Km dalle isole e con magnitudo minima pari a 3.**

I principali eventi sismici registrati dal 2000 ad oggi, con magnitudo minima pari a 4 e in un raggio di 50 Km dal comune investigato, sono riassunti nella tabella rappresentata in Figura 8.

Data e Ora (Italia) 📅 ⚙️	Magnitudo 📊 ⚙️	Zona 📍	Profondità 📏 ⚙️	Latitudine	Longitudine
2015-12-06 17:24:38	Mw 4.4	Adriatico Centrale (MARE)	12	42.40	15.24
2015-12-06 06:28:15	Mw 4.1	Adriatico Centrale (MARE)	19	42.35	15.14
2015-12-06 04:22:49	Mw 4.2	Adriatico Centrale (MARE)	10	42.41	15.20
2006-10-04 19:34:20	Mw 4.1	Costa Garganica (Foggia)	37	42.07	15.75
2006-05-29 04:20:06	Mw 4.5	6 km SE Carpino (FG)	31	41.80	15.90

**Figura 8. Eventi sismici recenti registrati in un raggio di 50 Km dalle isole e con magnitudo minima pari a 4.**

Tra gli eventi elencati, i due più forti nel periodo di tempo dall'anno 2000 all'anno 2023 sono quelli del 29 maggio 2006 e del 6 dicembre 2015.

L'evento sismico del 29 maggio 2006 alle ore 4:20 ha generato molta paura, ma nessun danno. La scossa è stata avvertita chiaramente anche in provincia di Potenza, in particolare nella zona compresa fra Melfi, Lavello e Venosa, ai confini con la Puglia. I centralini dei Vigili del fuoco hanno

ricevuto diverse telefonate di persone che chiedevano informazioni, ma nessuna richiesta di soccorso. Nè vi sono stati edifici danneggiati. I paesi che sono stati direttamente interessati dal sisma sono stati molti dei piccoli comuni della parte centrale del Gargano, anche se il terremoto si è avvertito nettamente in tutta l'area.

Il terremoto avvenuto il 6 dicembre 2015 alle 17:24 è il principale di uno sciame sismico occorso nell'Adriatico centrale, di cui gli altri eventi con magnitudo compresa tra 2 e 3.7. La scossa è stata ben avvertita fra Abruzzo, Molise e Puglia settentrionale, specie lungo le coste fra Pescara, Termoli, Ortona, Rodi garganico, Peschici e Vieste. Netamente avvertito anche sulle isole Tremiti, non ha comportato danni a cose o persone.

### **2.3 Pericolosità sismica di base**

La pericolosità sismica di base dipende dalla frequenza ed energia dei terremoti e dalla distanza dalla sorgente sismica (faglia sismogenetica).

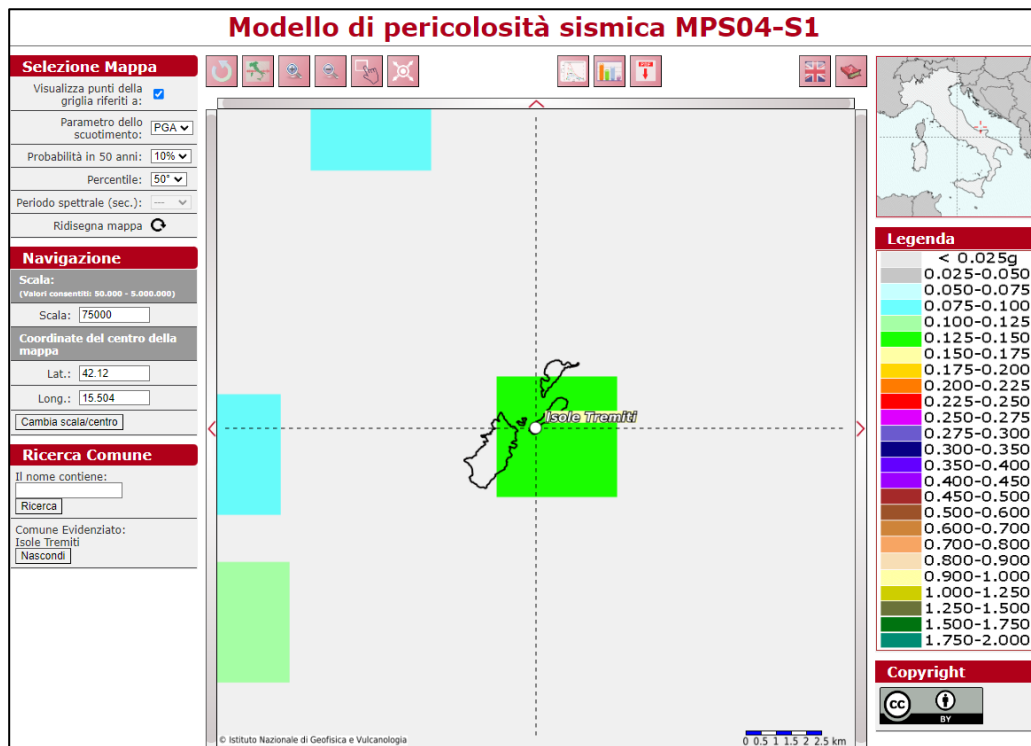
Conoscere le condizioni che definiscono la pericolosità sismica di base è fondamentale per valutare l'entità dei terremoti che si possono verificare. Per ridurre gli effetti del terremoto, il territorio è stato classificato in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e all'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche.

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 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 (<https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica/>).

Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

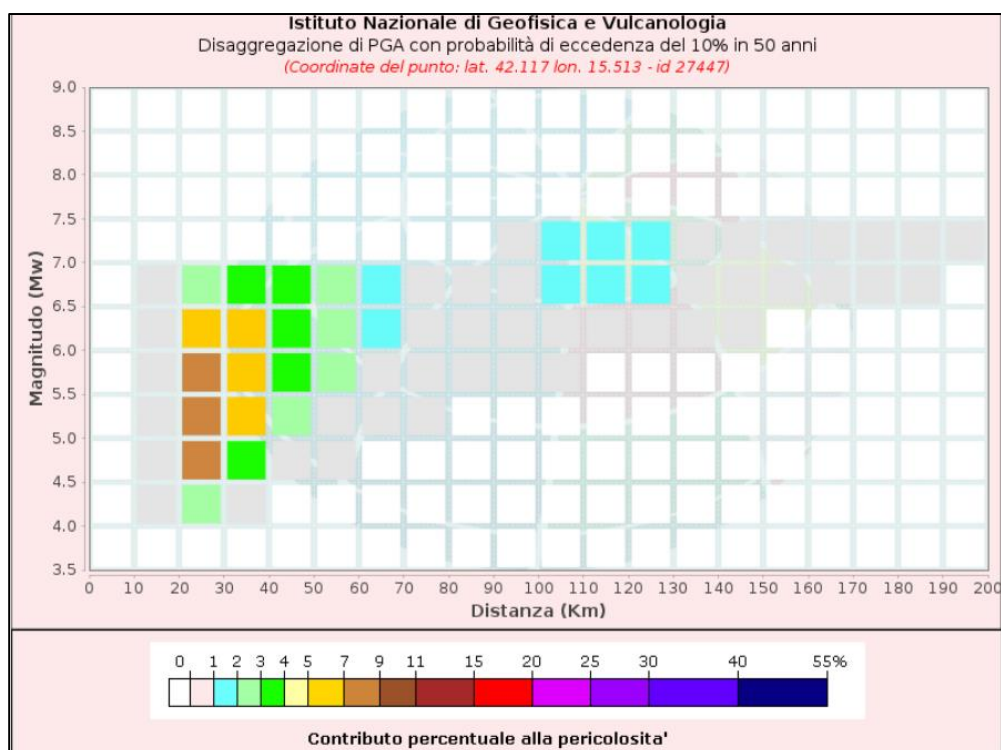
In Figura 9 è rappresentata la mappa del modello di pericolosità sismica per l'Italia, in cui sono state selezionate le isole Tremiti; le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID 27447 (posto al centro della mappa).

I diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A,  $V_{s30} > 800$  m/s) e pianeggiante. Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.



**Figura 9. Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004).**  
Nodo con ID: 27447 - Latitudine: 42.117 - Longitudine: 15.513 (da <https://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

In Figura 10 è rappresentato invece il grafico di disaggregazione, il quale 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.



**Figura 10. Grafico di disaggregazione con contributi percentuali alla stima della pericolosità forniti da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (R), in forma grafica.**

In Figura 11, infine, è stata rappresentata la tabella che riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza	Magnitudo										
in Km	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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.2270	0.6290	0.5800	0.4210	0.2480	0.1210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	2.3000	7.8400	8.8300	7.6100	5.2300	2.9400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.3270	3.0900	5.4000	6.0400	5.1600	3.5100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.4680	2.3800	3.5900	3.7400	3.0200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0063	0.7830	2.0000	2.5400	2.3800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.1250	0.8740	1.3900	1.4900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.2610	0.6100	0.7540	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0529	0.2340	0.3370	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0153	0.2830	0.7000	0.0536	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.4360	1.6400	1.1800	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.2390	1.5200	1.4600	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0787	1.1000	1.2500	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0096	0.5050	0.7040	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.1830	0.3720	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0768	0.2570	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0305	0.1670	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	0.0889	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0530	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0311	0.0000	0.0000	0.0000
Valori Medi: magnitudo = 5.89 ; distanza = 46.3 ; epsilon = 1.57											

**Figura 11. Contributi percentuali alla stima della pericolosità forniti da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (R), in forma tabellare. In basso, i valori medi di M-D ed epsilon.**

Le isole Tremiti sono direttamente attraversate dalla sorgente sismogenetica identificata con il nome “ITCS059 - Tocco Casauria-Tremiti”, come mostrato in Figura 12.



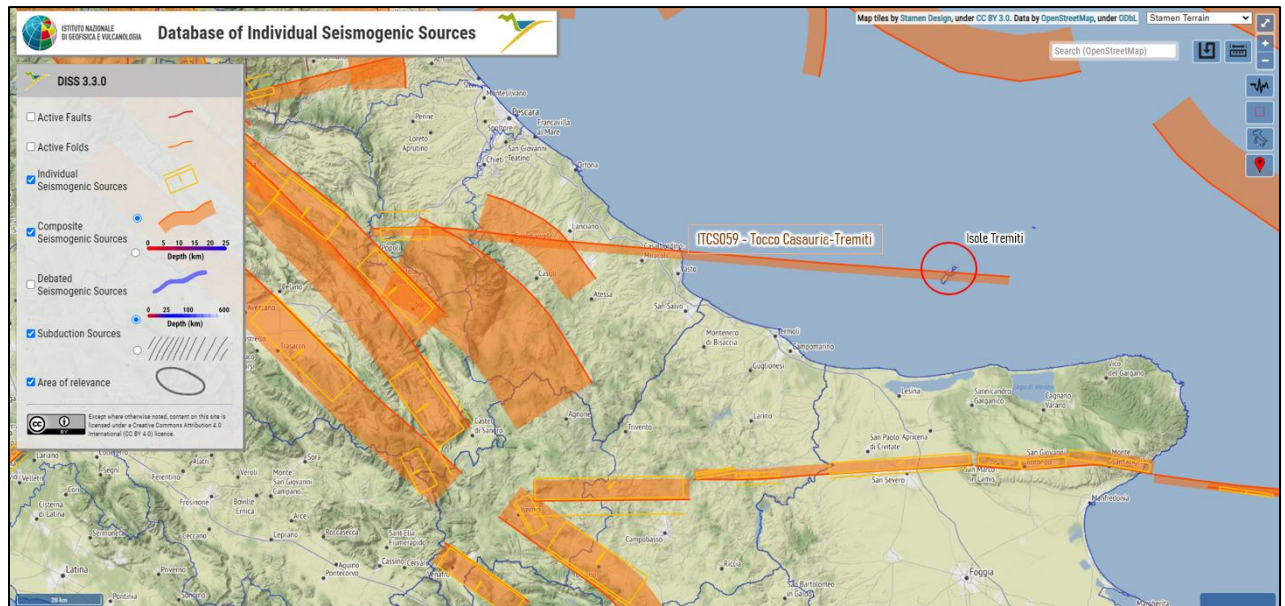


Figura 12. Visualizzazione del database delle sorgenti sismogenetiche, da <https://diss.ingv.it/diss330/diss-map.html#>, modificato.

Questa sorgente composta è un lungo sistema di faglia laterale destra che si estende circa E-O e attraversa la regione Abruzzo, la catena del Gran Sasso- Massiccio della Maiella (a ovest) fino alle isole Tremiti (a est); appartiene al sistema di scorrimento laterale che interessa il promontorio adriatico centro-meridionale.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano scarsa sismicità intermedia in questa regione. Tuttavia, la zona ricade all'interno di una delle aree mesosismiche del catastrofico terremoto multiplo del 5 e 30 dicembre 1456 (Mw 7.0 e 6.6, rispettivamente), che ha colpito gran parte dell'Italia meridionale.

### 3.ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 Inquadramento geologico

In riferimento alla cartografia geologica ufficiale le isole di "San Domino" e di "San Nicola", che costituiscono l'area oggetto di rilevamento, sono parte dell'arcipelago delle "Isole Tremiti", incluse nel Foglio n. 156 "San Marco in Lamis" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e distanti dalla costa più vicina (Torre Mileto) circa 25 chilometri (Figura 13).

Dal punto di vista geologico, le isole Tremiti poggiano su un settore di placca Adriatica che è compreso tra il sistema appenninico e quello dinarico e costituiscono lembi isolati della Piattaforma Apula, situati a nord del Promontorio del Gargano.

Sulle isole affiorano sedimenti marini non in continuità stratigrafica di età compresa fra il Paleocene e il Pliocene medio (Cremonini et al., 1971), i caratteri stratigrafici indicano che la sedimentazione è stata controllata da movimenti verticali dei bacini.

Il foglio geologico nel quale sono collocate rappresenta il settore centro-settentrionale del Gargano, dagli alti di natura carbonatica del promontorio alla costa adriatica con incluso il Lago di Lesina.

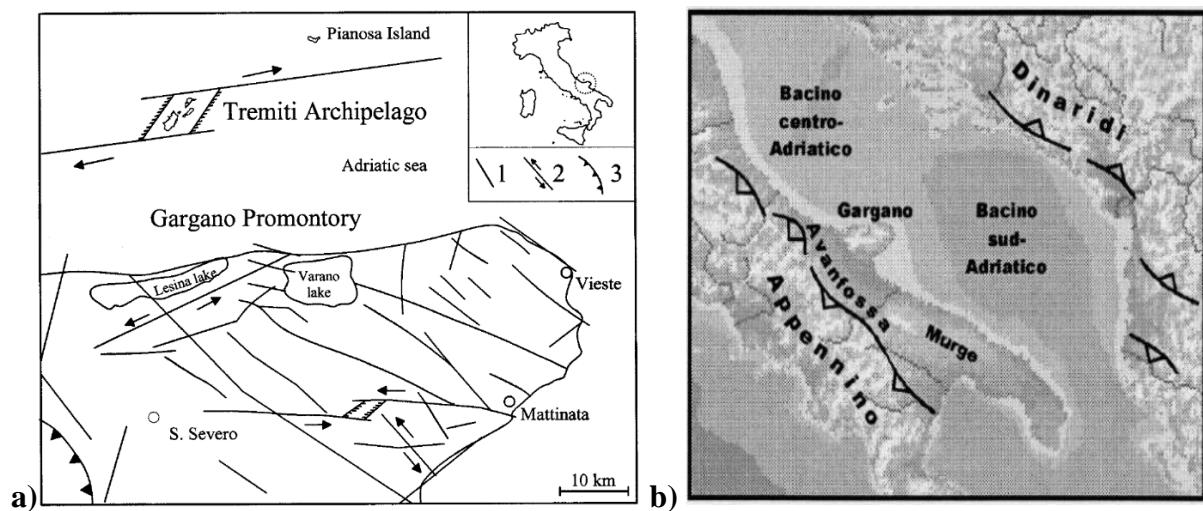


Figura 13. estratto del Foglio n. 156 "San Marco in Lamis" in scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia) in cui il contorno delle isole di "San Domino" e "San Nicola" costituisce le aree di perimetrazione oggetto di rilevamento.

L'area di perimetrazione, in riferimento alla cartografia più recente del Progetto "Cartografia Geologica", è collocata nel Foglio n. 383\_Bis "San Nicandro Garganico" (non ancora realizzato), il quale è posto tra il Foglio n. 382 "Campomarino" ad ovest (non ancora realizzato) ed il Foglio n. 384 "Vico del Gargano" ad est.

Per la definizione dello schema tettonico e delle litologie osservate si è fatto riferimento alla bibliografia disponibile (Montone et al. 1989; De Alteriis 1995; Argnani et al. 1996; Andriani et al. 2005) e alle formazioni geologiche dettagliate nel Foglio n. 156 "San Marco in Lamis", in cui la stratigrafia delle Tremiti è stata messa a punto da Selli R. (Note Illustrative, 1971).

Di seguito si riportano alcuni estratti della carta strutturale del Promontorio del Gargano ed uno schema geologico di insieme del settore centro-meridionale del Mare Adriatico, con i fronti di accavallamento che bordano il bacino (Figura 14 a, b), tratti dalla documentazione bibliografica consultata (Figura 15), nel quale si espongono le caratteristiche tettoniche e strutturali del settore geografico nel quale è inclusa l'area di studio.



**Figura 14. a)** estratto della carta strutturale schematica dell'arcipelago delle isole Tremiti e del Promontorio del Gargano (Montone & Funicello, 1989); **b)** schema geologico di insieme del settore centro-meridionale del Mare Adriatico (Funicello, 1988).

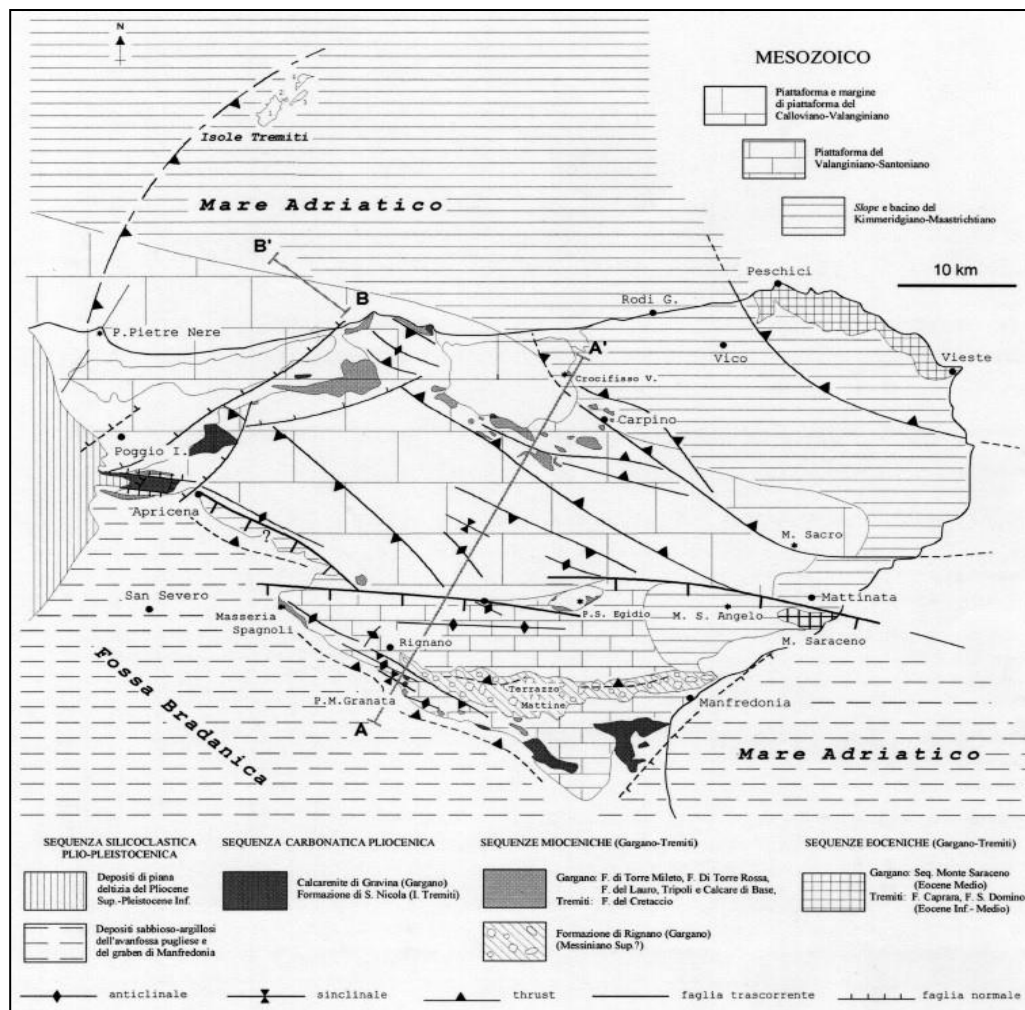
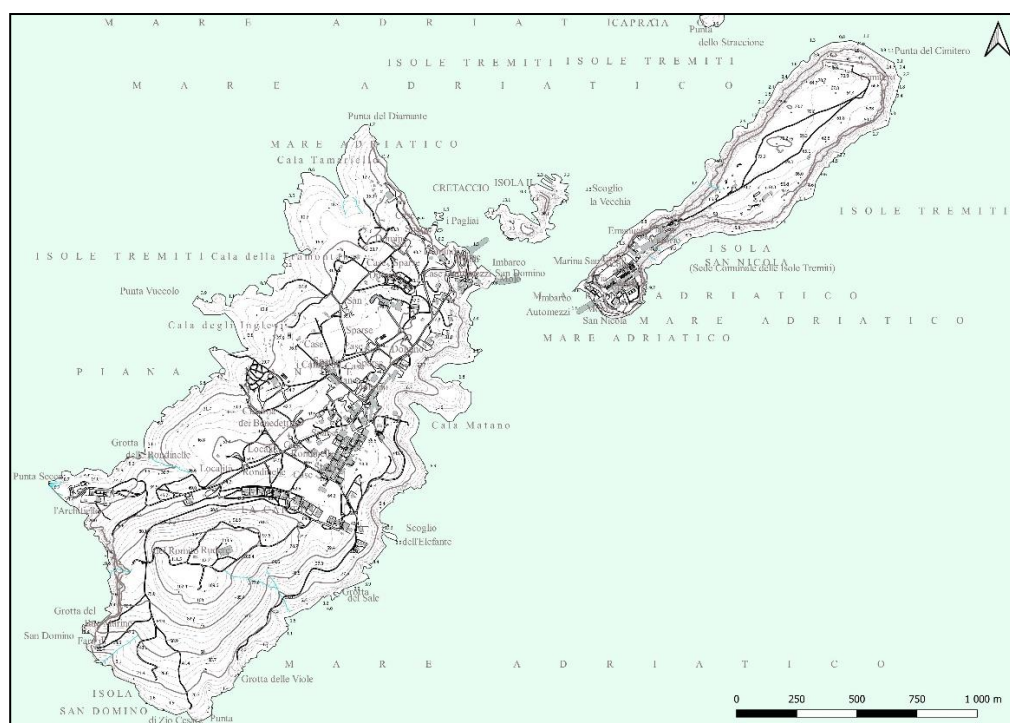


Figura 15. schema tettonico di inquadramento del Promontorio del Gargano (Doglioni et al., 1996).

Nelle sezioni della cartografia tecnica regionale le aree di perimetrazione coincidono con il contorno delle isole di "San Domino" e di "San Nicola"; i settori di territorio più elevati corrispondono al "Toppo del Romito" con un'elevazione di 113.5 metri nell'isola di San Domino e di 76.2 metri nella parte centrale dell'isola di San Nicola, con le forme dei rilievi che digradano verso la costa fino a verticalizzarsi in corrispondenza di essa nella quasi interezza delle aree perimetrali delle due isole (Figura 16).





**Figura 16.** area di perimetrazione che coincide con il contorno delle isole di "San Domino" e "San Nicola", incluse nelle sezioni della Carta Tecnica Regionale n. 383061-bis "Punta del Diamante", n. 383062-bis "San Domino", n. 383073-bis "San Nicola", n. 383074-bis "Capraia" in scala 1: 5.000.

### 3.1.1 Evoluzione geologica dell'area di indagine

Le isole Tremiti, nell'Adriatico centro-meridionale al largo della costa garganica, sorgono da un dolce pendio sottomarino che raggiunge circa 80 m s.l.m. (Figura 17 a; Miccadei et al., 2011).

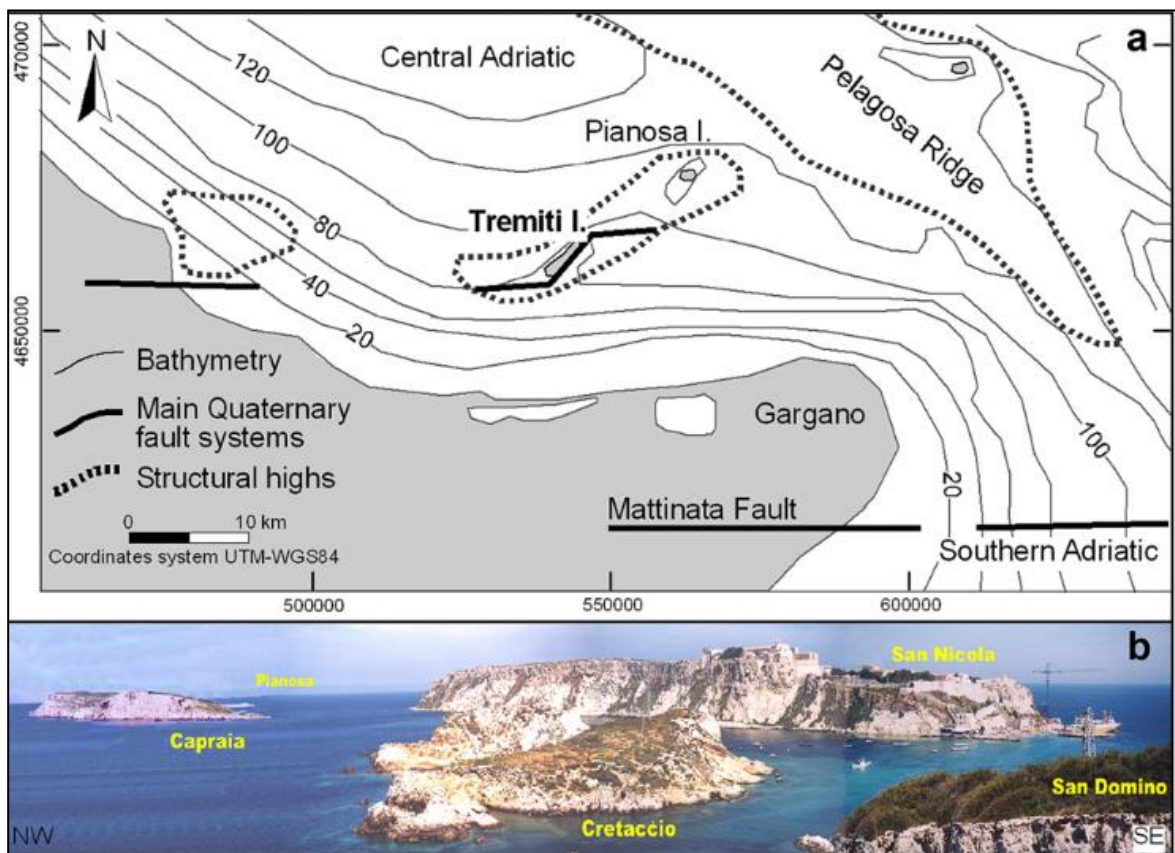
L'evoluzione geologica dell'area delle Tremiti risulta essere lunga e travagliata; ne sono testimonianza la morfologia, le strutture geologiche (piani di stratificazione, inclinazione e piegamento degli stessi, piani di faglia), nonché la presenza di resti fossili di organismi legati all'ambiente marino quali conchiglie, coralli, resti scheletrici di pesci.

Le isole appartengono ad un'area di avampaese e sono poste al margine settentrionale della piattaforma apula. Il loro sviluppo è associato ad una grande faglia trascorrente antiappenninica. Sotto il profilo strutturale, le isole sono attraversate, oltre che da questa discontinuità, anche da altri sistemi di faglie variamente orientate, fra i quali primeggiano per evidenza ed importanza il sistema ad orientamento appenninico (NO-SE) e quello antiappenninico, ortogonale ad esso.

La successione sedimentaria affiorante è costituita da termini calcarei e calcareodolomitici di origine marina e da depositi continentali, che saranno descritti più in dettaglio nei paragrafi successivi.

I versanti sommersi delle isole sono caratterizzati da una marcata asimmetria dell'estensione della piattaforma continentale interna, più ampia nelle aree nord-occidentali e più piccola in quelle sud-orientali.

L'orografia superficiale mostra una forma tabulare delle isole, con dolci superfici sommitali comprese tra 119 m s.l.m. (San Domino) e 55 m s.l.m. (Caprara), delimitata da scogliere molto ripide o verticali (Figura 17 b; Miccadei at al., 2011).



**Figura 17. a)** Schema fisiografico e geologico del settore adriatico nord-garganico, sezionato da sistemi di faglie quaternarie regionali (da Ridente & Trincardi, 2002); **b)** Panorama delle isole Cretaccio e San Nicola viste da San Domino, da SW verso NE.

Come riportato in Lollino et al. (2008), l'arcipelago delle isole Tremiti è costituito da una sequenza discontinua di sedimenti marini carbonatici, con depositi continentali che vanno dal Paleocene superiore – Eocene – Pliocene superiore, sovrastati da depositi del Pleistocene superiore e dell'Olocene (Figura 18).

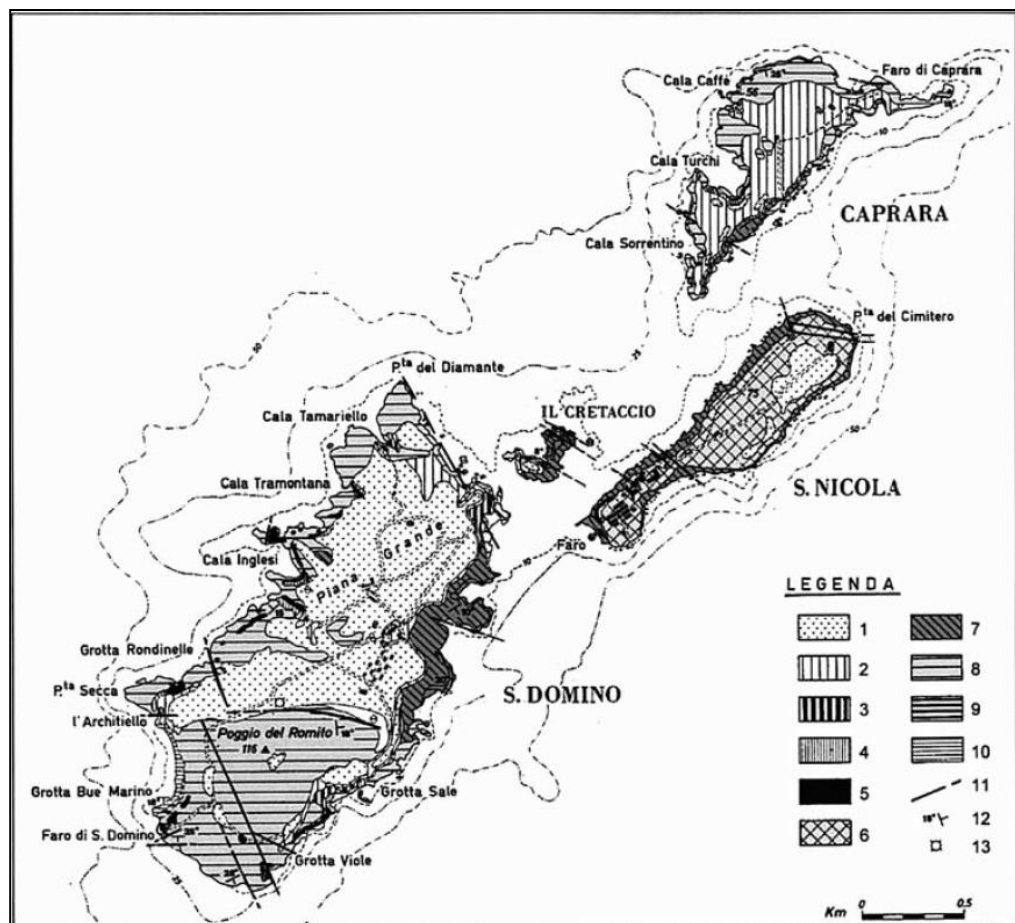


Figura 18. rappresentazione della geologia delle isole Tremiti (da Selli, 1971; modificata). In legenda: 1) Loess marrone (Pleistocene superiore - Olocene); 2) Crosta calcarea (Pleistocene medio- superiore); 3) Loess giallastro (Pleistocene medio-superiore); 4) Loess e ghiaie rossastre (Pleistocene medio); 5) Conglomerati e calcari marnosi (Pleistocene medio); 6) San Nicola FM. (Pliocene medio-superiore); 7) Cretaccio FM. (Aquitano - Tortoniano); 8) San Domino FM. (Eocene medio-superiore); 9) Caprara FM. (Eocene inferiore); 10) Bue Marino FM. (Paleocene).

La formazione più antica è la Formazione del Bue Marino che affiora a San Domino; ha una struttura monoclinale leggermente piegata con immersione a SE, con spessore di circa 60 m ed età del Paleocene superiore (Selli, 1971). In trasgressione su questi depositi c'è la Formazione di Caprara che ha un massimo spessore di 25 m, la cui età è attribuibile all'Eocene inferiore.

Una continuità di sedimentazione caratterizza il contatto tra la Formazione di Caprara e la Formazione San Domino che affiora ampiamente a San Domino, Caprara e Cretaccio, in accordo con la struttura globale delle isole Tremiti. Lo spessore totale della Formazione di San Domino è di circa 200 m e comprende diverse litofacies: dolomie stratificate giallo-verdastre, dolomiti calcitiche, doloareniti, dolomitiche ricristallizzate calcareniti, nummuliti e biocalcareniti biancastre biocalcilutiti talora dolomitizzate, banchi biostromali e breccie nei livelli superiori riferibili

all'Eocene medio-superiore. Al di sopra di questa formazione poggia con un limite trasgressivo la Formazione del Cretaccio, che è la più diffusa sia nelle isole che nei fondali marini circostanti. Tale formazione è caratterizzata da depositi in cui sono ben visibili anche strutture di sedimenti molli, probabilmente a causa di fenomeni di liquefazione innescati dall'attività sismica. Lo spessore totale della formazione è di circa 200 m e l'età è riferita al Miocene Medio. La Formazione del Cretaccio è sovrastata dalla Formazione di San Nicola che affiora sull'isola di San Nicola e ha uno spessore di circa 35 m, formata da calcareniti ricristallizzate e dolomitiche fratturate. La Formazione del Cretaccio e la Formazione San Nicola sono quelle maggiormente interessate dai processi di erosione e frana, che saranno descritti nei capitoli successivi. Proseguendo verso l'alto della successione, ci sono i depositi quaternari di origine eolica e detritico-torrentizia che obliterano le formazioni sulle superfici sommitali ed in prossimità delle numerose insenature lungo il contorno dell'Isola di San Domino.

Tutta la successione dei depositi continentali del Pleistocene superiore e dell'Olocene può essere osservata a San Domino. Alla base sono presenti conglomerati ben cementati con matrice sabbiosa-limosa rossastra, seguita da 2 metri di spessore di calcari marnosi ed un orizzonte di marne rosse che è sovrastato dai depositi eolici (loess rosso, giallastro e marrone).

In generale l'intera successione carbonatica cenozoica ha una conformazione monoclinale immergente a SE, regionalmente coerente con un lembo di anticlinale orientata NE-SW, fagliata più volte durante i vari stadi tettonici che hanno coinvolto l'orogenesi del promontorio adriatico-pugliese durante il Pliocene e il Pleistocene inferiore (Argnani et al., 1993; Doglioni et al., 1994; Argnani & Frugoni, 1997).

### ***3.2 Inquadramento geomorfologico***

Il territorio del Comune delle isole Tremiti è interessato, secondo il Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centro Meridionale, da aree classificate come "Zone PG2" e "Zone PG3", quindi a pericolosità geomorfologica elevata e molto elevata.

Gli strati informativi utilizzati per lo studio dell'area e per l'analisi delle caratteristiche plano-altimetriche sono rappresentati dalla Carta Tecnica Regionale, in cui il territorio di interesse è compreso nelle sezioni n. 383061\_bis, n. 383062\_bis, n. 383073\_bis, n. 383074\_bis "Sannicandro Garganico\_bis" in scala 1:5.000 con una superficie complessiva di circa 3,18 km<sup>2</sup>.

Il territorio nell'area di studio è caratterizzato da una morfologia collinare, con caratteristiche connesse sia agli eventi tettonici che nel Pliocene (inferiore e medio) hanno interessato tutto



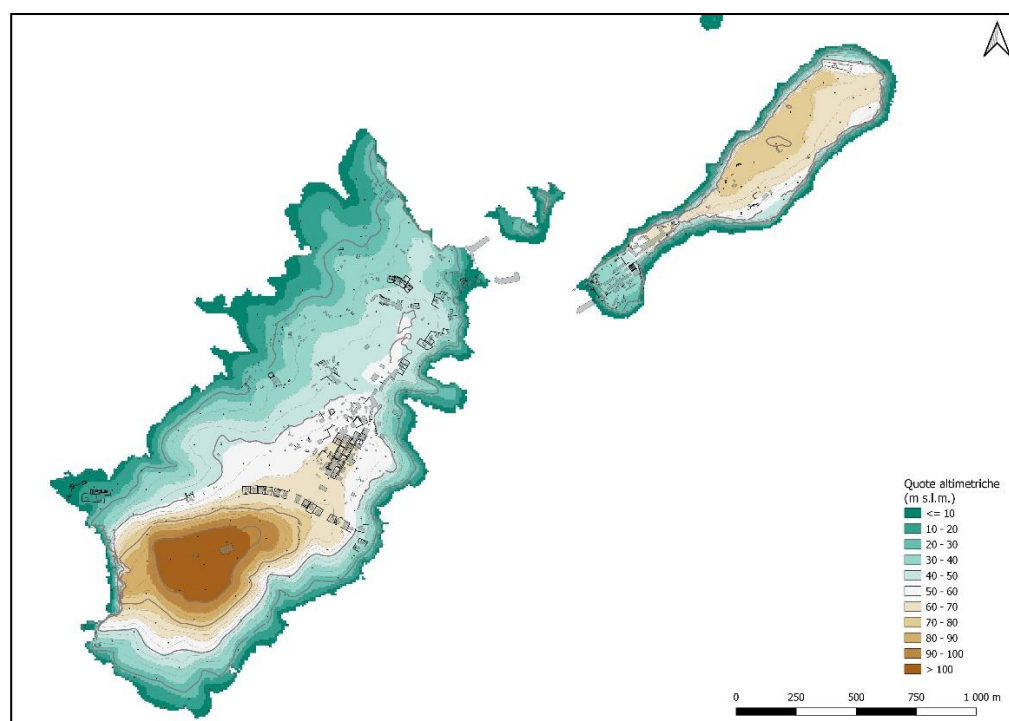
l'Appennino meridionale, sia a diversi tipi di processi geomorfologici continentali, marini, fluviali e carsici, con elementi riconducibili anche all'attività biologica (Miccadei et al., 2011).

In particolare l'isola di San Domino è caratterizzata da una piana per quasi totalità della superficie, con quote di circa 70-80 m s.l.m., digradante verso ovest fino alla quota di 25 m s.l.m.; a est tale piana è interrotta da una falesia calcarea scoscesa che termina sulle spiagge attuali (Figura 19).

La morfologia costiera delle isole di San Domino e di San Nicola è influenzata dall'azione combinata della tettonica quaternaria e dell'erosione delle onde del mare, e la sua evoluzione è strettamente correlata alla litologia delle rocce affioranti, ai processi carsici e allo sviluppo dei movimenti franosi (Andriani et al., 2005).

La gran parte dei bordi delle coste delle due isole sono morfologicamente identificate da pozzi e grotte modellate dal mare, mentre altre cavità carsiche risultano sospese sul mare (Grotta del Sale).

Il carsismo ha condizionato fortemente la morfologia delle isole e gli andamenti delle coste. Come riportato in Miccadei et al. (2011), l'azione carsica è evidente sulle superfici delle isole attraverso ampie depressioni che hanno altezze che variano dai 40 m s.l.m. fino al livello del mare. Esempi significativi sono i faraglioni detti "I Pagliai" e "Cala delle Roselle" sull'isola di San Domino, dove le depressioni carsiche scavate sono riempite da depositi sabbiosi eolici. Il carsismo ipogeo è rappresentato da circa 50 grotte diffuse in tutto l'arcipelago, ad altitudini da 0 a circa 50 m s.l.m. In dettaglio, "I Pagliai" sono l'effetto congiunto del controllo tettonico e dell'azione esogena, che ha generato fasi evolutive successive quali: svuotamento; arco; crollo della volta; faraglioni.



**Figura 19. stralcio della carta relativa all'assetto plano-altimetrico delle aree di rilevamento coincidenti con il contornno delle isole di San Domino e San Nicola.**

Diverse frane interessano le attuali falesie costiere delle isole, per lo più frane da crollo, ribaltamenti, espandimenti laterali e localmente complesse; interessano quasi tutta la fascia perimetrale di San Nicola e localmente il litorale di San Domino (Miccadei et al., 2011; Andriani et al., 2005). Inoltre, paleofrane costituite da blocchi calcarei sono localizzate a 30 - 40 m s.l.m.

Al fine di cartografare le instabilità di versante, sono stati considerati i seguenti inventari relativi alle aree in frana:

"Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – PAI" dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale;

"Progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – IFFI" (aggiornamento 2006), redatto dall'ex Servizio Geologico Nazionale, ora ISPRA;

Gli elementi considerati sono quelli di geometria poligonale in modo da definire la tipologia di movimento con lo Standard di rappresentazione e archiviazione informatica in versione 4.2.

All'interno dell'area oggetto di perimetrazione, le cartografie di riferimento hanno censito e classificato la maggior parte dei cinatismi come in Figura 20.

Instabilità di versante	1 - crollo o ribaltamento	2 - scorrimento	3 - colata	4 - complessa	5 - non definito
1 - attiva					
2 - quiescente					
3 - inattiva					
4 - non definita					

Figura 20. principali caratteristiche di attività e cinematismo dei movimenti di massa rinvenuti all'interno dell'area oggetto di studio.

### 3.3 Successione stratigrafica di letteratura

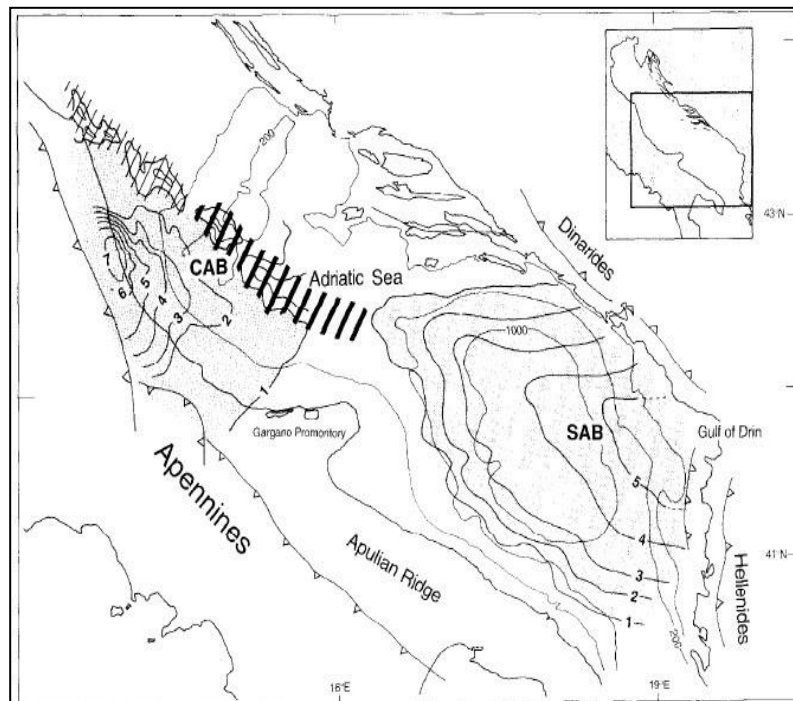
L'assetto geologico, stratigrafico e strutturale dell'area indagata è stato ricostruito, oltre che dall'analisi delle indagini geognostiche e geofisiche in sito esistenti, dal rilevamento sul terreno, effettuato per gli studi di microzonazione sismica di livello uno al fine di identificare le unità litostratigrafiche del locale substrato affioranti e i loro rapporti geometrici.

Le conoscenze geologiche principali e la definizione delle sequenze neogeniche sulle isole Tremiti, sono tuttora da riferire alle ricerche di Selli R. (in Cremonini et al., 1971), che produsse una carta geologica assai dettagliata, inoltre si è tenuto conto delle fonti bibliografiche disponibili per la definizione del quadro sequenziale quaternario e delle condizioni di stabilità dei fronti delle numerose falesie presenti sulle isole.

Le unità geologiche sono state suddivise in base all'età e all'ambiente deposizionale, considerando l'area di studio localizzata in questo settore della placca Adriatica, con riferimento alla cartografia geologica pregressa e recente suindicata.

Secondo lo schema stratigrafico le principali formazioni, rappresentate dalle successioni cenozoiche che si trovano all'interno di una fascia strutturalmente e morfologicamente elevata che comprende

il Promontorio del Gargano e l'Alto di Pelagruza, dal nome delle isole che vi affiorano (Figura 21).



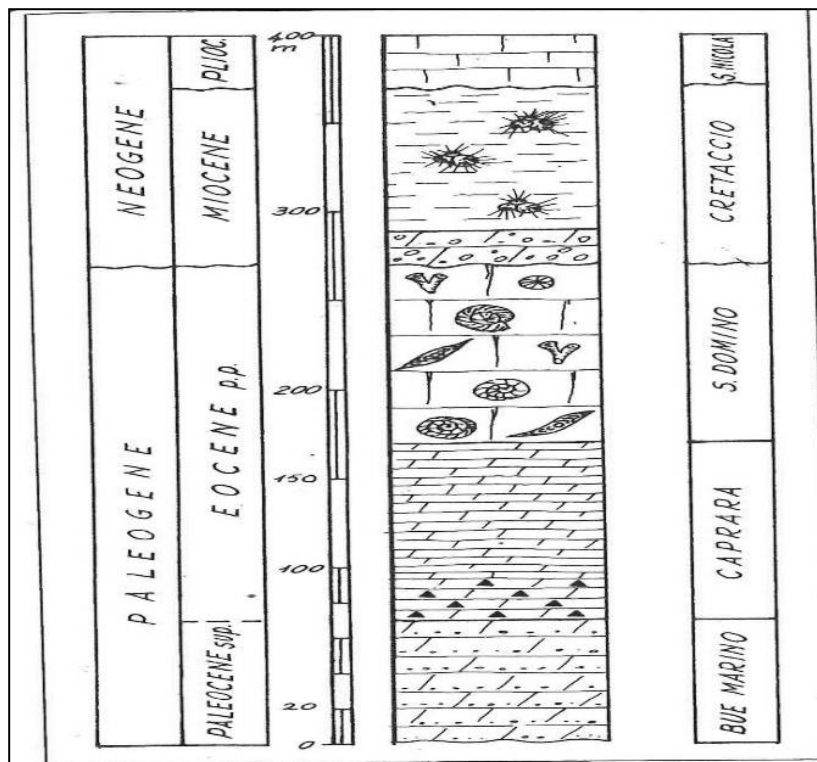
**Figura 21. schema delle isobate rappresentative del bacino adriatico centro-meridionale (De Alteriis, 1995).**

La nomenclatura delle formazioni, le sigle ad esse associate e le caratteristiche litostratigrafiche, sono riferite al Foglio della cartografia geologica esistente (Carta Geologica d'Italia, 1:100.000). Il rilevamento di superficie ha consentito l'attribuzione delle litologie del substrato geologico a quattro formazioni descritte nella cartografia geologica, dalla più antica alla più recente identificate come: Formazione del Bue Marino ( $E^1$ ); Formazione di Caprara ( $E_d^1$ ); Formazione di San Domino ( $E^2$ ); Formazione del Cretaccio ( $M^{4-2}$ ); Formazione di San Nicola ( $P^2$ ).

Per una descrizione semplificata delle unità stratigrafiche e strutturali sopra elencate, è utile fare riferimento all'estratto del foglio geologico n. 156 "San Marco in Lamis" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (II edizione e relative Note Illustrative), che comprende l'arcipelago delle isole Tremiti e ne descrive i rapporti stratigrafici e strutturali tra le formazioni rinvenute nella fase del rilevamento, oltre che riferirsi alla dettagliata descrizione delle sequenze geologiche rinvenute nell'area di studio, lungo l'itinerario n. 1 "Le Isole Tremiti" estratto da: Guide Geologiche Regionali – Puglia e Monte Vulture, 1999.

Dal basso verso l'alto risultano distinte le seguenti unità formazionali che di seguito vengono sinteticamente elencate in base all'ambiente deposizionale ed al periodo di sedimentazione.

- *Unità Cenozoiche [Paleogene – Neogene]:*
  - Formazione del Bue Marino (Paleocene superiore);
  - Formazione di Caprara (Eocene inferiore);
  - Formazione di San Domino (Eocene inferiore – medio);
  - Formazione del Cretaccio (Burdigaliano – Tortoniano);
  - Formazione di San Nicola (Pliocene medio).
- *Depositi continentali quaternari:*
  - Conglomerati, marne e calcari rossi (Pleistocene medio);
  - Loess rosso e ghiaie (Pleistocene medio – superiore);
  - Loess giallastro (Pleistocene medio – superiore);
  - Crostone (Pleistocene medio – superiore);
  - Loess Bruno (Pleistocene superiore – Olocene).



**Figura 22.** colonna stratigrafica sintetica della successione cenozoica affiorante alle isole Tremiti tratta dalle Note Illustrative del Foglio n. 156 "San Marco in Lamis".

### 3.3.1 Unità Cenozoiche

Come accennato nei precedenti paragrafi, le isole Tremiti costituiscono una monoclinale con immersione generale verso SE a terreni marini dall'Ilerdiano (Paleocene superiore) al Pliocene medio, seguono depositi pleistocenici ed olocenici continentali di natura eolica e detritica.

Per la descrizione delle formazioni rinvenute nel corso di questo studio e di seguito descritte più in dettaglio, si fa riferimento alle Note Illustrative del Foglio n. 156 "San Marco in Lamis".

#### *Formazione del Bue Marino (Paleocene superiore)*

Questa formazione è costituita da una parte inferiore in cui compaiono dolomie calcaree e compatte, di colore biancastro o bianco-verde, ben stratificate, e una parte media e superiore con calcareniti organogene dolomitiche con matrice micritica abbondante. L'età è attribuibile (grazie alla presenza dei fossili) al Paleocene superiore, o meglio all'Ilerdiano inferiore, e lo spessore affiorante (relativo solo all'isola di San Domino) è di circa 60 metri.

#### *Formazione di Caprara (Eocene inferiore)*

Questa formazione è caratterizzata da dolomie microcristalline, di colore grigio-verde o giallastre, con noduli e liste di selce. I fossili in questo caso sono assenti, per cui la datazione ascrivibile all'Eocene inferiore è stata attribuita in base all'età delle formazioni adiacenti. Gli spessori massimi affioranti sono di 20 metri, sull'isola di San Domino.

#### *Formazione di San Domino (Eocene inferiore – medio)*

La Formazione di San Domino è quella affiorante ampiamente sull'isola di San Domino, oltre a Caprara e Cretaccio. Essa comprende varie litofacies, che nelle Note Illustrative vengono definite in ordine generale di sovrapposizione dal basso verso l'alto come formate da: dolomie e dolomie calcaree giallo-brune, compatte, in strati e banchi da qualche dm a oltre 1 m; calcareniti cristalline dolomitizzate, simili alle precedenti, ma con tracce di fossili e clasti; calcareniti organogene a Nummuliti bianco-giallastre, con granuli costituiti da bioclasti, con stratificazione saltuaria e mal distinta; calcari organogeni biocostruiti con grande abbondanza di macroforaminiferi anche interi e in posizione fisiologica, e stratificazione assente.

Lo spessore complessivo affiorante è di circa 200 metri.

#### *Formazione del Cretaccio (Burdigaliano – Tortoniano)*

All'interno di questa formazione vengono distinti due termini; alla base ci sono infatti doloareniti glauconitiche giallo-verdastre, con matrice costituita da cristalli dolomitici molto piccoli, granuli quarzosi, micacei e calcarei, mentre verso l'alto si passa a marne giallastre o giallo-biancastre in strati di 20-30 centimetri.

Tale formazione è in contatto trasgressivo sulla Formazione di San Domino, con contatto basale irregolare vista l'intensa carsificazione del substrato eocenico prima della trasgressione.

Mentre le doloareniti affiorano all'isola di San Domino e al Cretaccio, le marne affiorano ampiamente anche alle isole San Nicola e Caprara.

Lo spessore massimo di tutta la formazione è di circa 125 metri dal Cretaccio a San Domino e 200 metri da Caprara a San Domino.

#### *Formazione di San Nicola (Pliocene medio)*

Questa formazione affiora solo all'isola di San Nicola, con uno spessore di circa 30-35 metri.

È costituita alla base da dolomie e calcari dolomitici di colore biancastro o giallastro, altamente porosi, e all'apice da calcareniti organogene con i caratteri macroscopici delle dolomie, ma con abbondanti bioclasti.

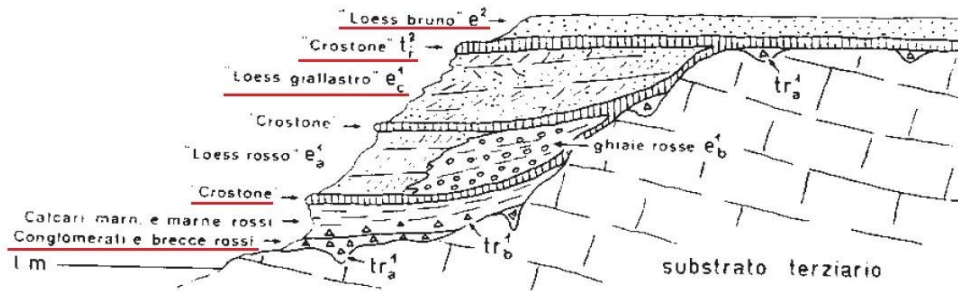
Tale unità è in contatto trasgressivo sulla Formazione del Cretaccio.

#### *3.3.2 Depositi Quaternari*

Le coperture continentali presenti sulle isole di San Domino e San Nicola, non presentano sempre la stessa successione con sedimenti vari per natura e colore. Alla base è spesso riconoscibile, un orizzonte discontinuo a luoghi in sacche, di breccie a matrice terrosa di colore rosso vivo con elementi spigolosi provenienti dai sedimenti eocenici.

Segue un orizzonte rappresentato dalla sola matrice calcareo-marnosa dell'orizzonte precedente ed un'alternanza di sabbie eoliche quarzose mediamente argillose e cementate di colore rosso-rosato e bianco-giallastro, su questa poggia un ulteriore deposito eolico quarzoso di colore giallo aranciato, un deposito definito loess bruno-rossastro chiude la successione.

I depositi eolici appaiono di frequente divisi da crostoni calcitici, farinosi o laminati, derivanti dalla decalcificazione delle coperture sovrapposte, in basso è riportato lo schema dei depositi continentali presenti sulle isole Tremiti con evidenziate le coperture rinvenute (Figura 23).



**Figura 23. schema dei depositi continentali quaternari presenti sulle isole Tremiti (da Selli, 1971).**

#### *Conglomerati, marne e calcari rossi (Pleistocene medio)*

Questa formazione include litologie caratterizzate dal colore rosso e rosato, con (dal basso verso l'alto) paraconglomerati e breccie con matrice calcareo-marnosa color rosso vivo (in coperture continue di spessore inferiore al metro), calcari marnosi e marne rosse (spessore massimo di 2,5 metri), calcare rosato probabilmente prodotto di decalcificazione dei depositi eolici sovrastanti ("Crostone", di spessore meno di 1 metro).

#### *Loess rosso e ghiaie (Pleistocene medio – superiore)*

Alternanza di sabbie fini e medie più o meno argillose, sciolte o variamente cementate, con colore prevalente rossastro, in cui si intercalano anche orizzonti bianco-giallastri. L'origine di tali depositi è eolica e lo spessore varia da 1 a 9 metri. Fanno parte di questa formazione anche le ghiaie sciolte e conglomerati, alternati tra loro, con matrice sabbioso-siltosa di colore rosso o rosato; questi ultimi costituiscono depositi detritico-torrentizi che sostituiscono lateralmente il loess rosso descritto prima. Lo spessore di questa tipologia litologica è di 10 metri.

#### *Loess giallastro (Pleistocene medio – superiore)*

Sabbie medie e fini più o meno argilloso-siltose, talora cementate, con evidente laminazione incrociata. Lo spessore massimo è di 6 metri.



#### *Crostone (Pleistocene medio – superiore)*

Il Crostone calcareo è un calcare concrezionato talora laminato, di colore bianco-giallastro. Esso può poggiare sia sul loess giallo (in questo caso deriva dalla decalcificazione del loess), sia direttamente sul substrato (in questo caso presenta interstrati rossastri). Lo spessore massimo è di 60-70 centimetri, ma generalmente si rinviene in spessori minori.

#### *Loess Bruno (Pleistocene superiore – Olocene)*

Questo costituisce il terreno agrario delle isole di San Domino e di San Nicola; è caratterizzato da materiale argillificato, grumoso, di colore bruno scuro per il contenuto organico. Si tratta, infatti, del risultato della pedogenesi di un loess. Lo spessore è nell'ordine di qualche metro.

### ***3.4 Aggiornamento stratigrafico mediante rilevamento geologico di superficie***

Il rilevamento geologico di superficie è stato effettuato attraverso diversi sopralluoghi mirati ad individuare i settori all'interno delle aree di perimetrazione le quali coincidono con il contorno delle due isole maggiori dell'arcipelago, in cui affiorano i litotipi rappresentativi e gli elementi strutturali, al fine di redigerne la carta geologica e geomorfologica di base.

Le sezioni geologiche schematiche redatte, si basano sulle informazioni dedotte dalla bibliografia consultata, dalle misure di strato rilevate nell'area, e dalle verticali dei sondaggi geognostici prossimi ai transetti tracciati, considerando l'ubicazione del centro abitato, la morfologia del rilievo e l'andamento dei limiti litostratigrafici delle unità affioranti.

L'attività di rilevamento, funzionale agli studi di microzonazione sismica di livello uno, è determinante per la definizione delle fasi di lavoro successive finalizzate alla redazione della relazione monografica e della cartografia tematica del comune microzonato.

I rilievi diretti sul terreno sono stati svolti, al fine di rinvenire i litotipi, anche con l'asportazione dei primi termini del suolo prossimi a scarpate antropiche o naturali, per esporre meglio gli aspetti caratteristici dei terreni in loco.

Il rilevamento condotto sull'area in esame consiste nel riconoscimento delle litologie affioranti, nella definizione delle condizioni giaciture e strutturali (stratificazione, orientazione), e nel seguire i contatti tra i litotipi dove visibili.

In relazione ai settori esaminati, si evince che nell'area la sequenza stratigrafica delle formazioni cenozoiche, affiora in modo discontinuo sulle isole, pertanto l'osservazione delle unità e dei relativi contatti non è sempre agevole.

In relazione alla peculiare fisiografia dell'arcipelago, le migliori esposizioni delle successioni stratigrafiche sono osservabili in corrispondenza delle scoscese ed alte falesie in rapida evoluzione dell'intero perimetro dell'isola di San Nicola e per buona parte dell'isola di San Domino.

Dalle osservazioni effettuate per la quasi totalità delle superfici ed in parte con spostamenti lungo costa, sono state riconosciute le formazioni caratteristiche affioranti dalla più antica alla più recente quali: dolomie calcaree stratificate, calcari bioclastici e dolomie microcristalline della Formazione del Bue Marino ( $E^1$ ); dolomie microcristalline compatte e ben stratificate della formazione di Caprara ( $E_d^1$ ); dolomie calcaree, calcareniti cristalline e calcari organogeni della Formazione di San Domino ( $E^2$ ); doloareniti glauconitiche intervallate a marne debolmente argillose della Formazione del Cretaccio ( $M^{4-2}$ ); dolomie, calcari dolomitici e calcareniti organogene della Formazione di San Nicola ( $P^2$ ).

Tutti gli affioramenti rinvenuti sono numerati secondo un ordine progressivo, suddivisi per colore associato ed ubicati nell'estratto cartografico allegato alle note alla carta geologica e geomorfologica, con rispettiva documentazione fotografica allegata al paragrafo di riferimento.

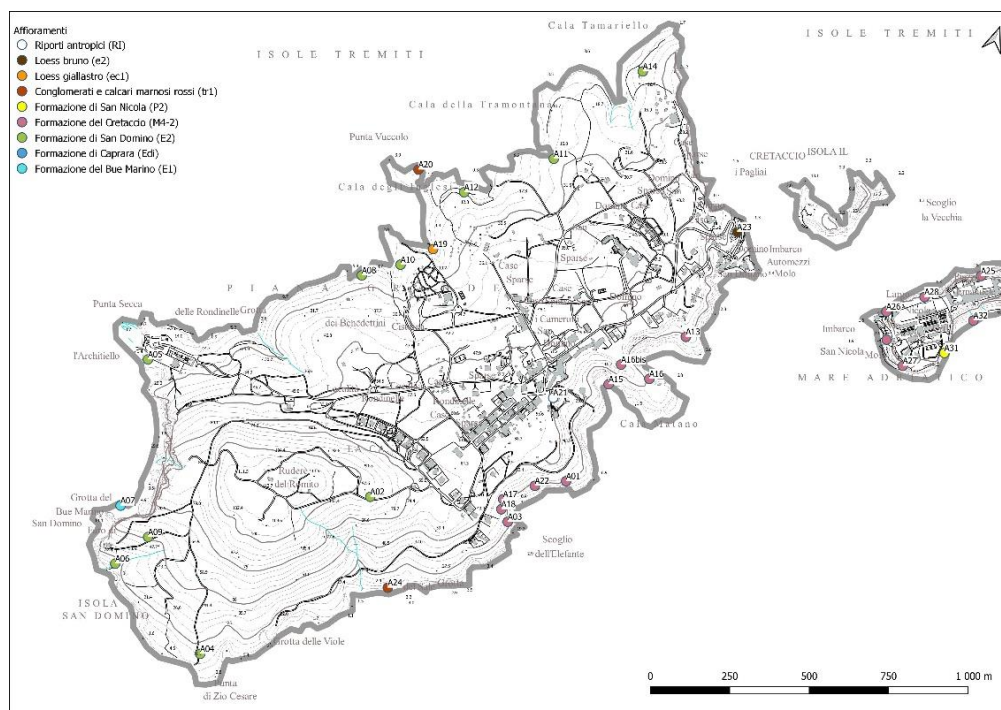
Negli affioramenti associabili alla Formazione di San Domino, alla Formazione del Cretaccio ed alla Formazione di San Nicola, rappresentati dai numerosi livelli a componente litoide costituiti dalle rocce dolomitiche, dai calcari organogeni e dalle calcareniti, è stato possibile effettuare la misurazione dei parametri degli elementi strutturali (giaciture di strato).

Le attività di rilevamento in sito hanno consentito di evidenziare elementi morfologici e strutturali, indicativi alla individuazione di numerose lineazioni tettoniche di diversa tipologia, attraverso l'osservazione di parametri quali: dislocazione di stratificazioni delle sequenze geologiche; tracce di strie di trascinamento e direzioni di immersione delle superfici di strato.

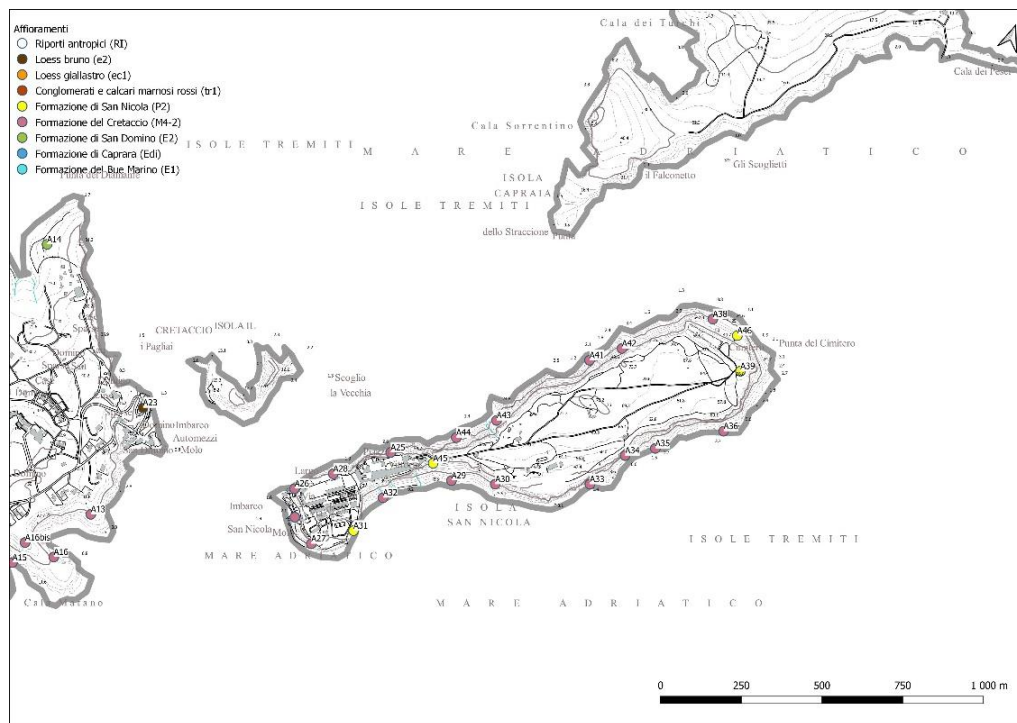
Le osservazioni in campo si sono svolte anche per l'individuazione dei terreni di copertura, arealmente estesi di esiguo spessore sia naturali che antropici, questi ultimi rinvenuti in alcune aree di

estensione ridotta nel settore centro-orientale dell'isola di San Domino ed in un'area limitata dell'isola di San Nicola.

Di seguito si riporta l'estratto cartografico delle aree di perimetrazione oggetto di rilevamento che coincidono rispettivamente con il contorno delle isole di San Domino e San Nicola, con l'ubicazione degli stop geologici rappresentativi associati alla loro numerazione progressiva, ed alle foto che ritraggono gli affioramenti ed i profili in prossimità delle scarpate naturali ed antropiche, nonché la descrizione degli stessi (Figura 24, Figura 25).



**Figura 24. distribuzione dei principali affioramenti individuati nell'area di perimetrazione che coincide con il contorno dell'Isola di San Domino esaminata su base cartografica CTR (Carta Tecnica Regionale).**



**Figura 25.** distribuzione dei principali affioramenti individuati nell'area di perimetrazione che coincide con il contorno dell'Isola di San Nicola esaminata su base cartografica CTR (Carta Tecnica Regionale).

Le formazioni geologiche presenti, distinte in substrato geologico ed in terreni di copertura, in relazione all'ubicazione dell'area in cui sono inclusi ed alla documentazione bibliografica di riferimento, vengono descritte in base alla cartografia geologica ufficiale a disposizione, quali gli elaborati cartografici aggiornati della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Foglio n. 383\_bis "San Nicandro Garganico") ed in parte (Foglio n. 384\_bis "Vico del Gargano"), oltre che alle osservazioni condotte in sito come di seguito elencate.

**Formazione del Bue Marino  $E^1$**  (Paleocene), come denominata nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, è una formazione geologica terziaria.

Tale Unità, è stata suddivisa in due parti: quella inferiore costituita da dolomie calcaree compatte e ben stratificate (farinose in superficie) di colore bianco-verdastro in strati di spessore decimetrico; la parte media e superiore da calcareniti organogene dolomitiche con matrice micritica abbondante.

L'ambiente di sedimentazione è di mare basso con acque poco mosse a riparo da scogliere organogene, lo spessore riconosciuto in sondaggi è nell'ordine di 50 ÷ 60 metri.

Affiora esclusivamente sull'Isola di San Domino, alla base dell'alta scogliera (circa 100 metri) prossima all'Appico del Faro di San Domino, sopra la Grotta del Bue Marino.

**Formazione di Caprara  $E_d^i$**  (Eocene inferiore), come denominata nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, è una formazione geologica terziaria poggianti con contatto trasgressivo sui termini della Formazione del Bue Marino.

L'Unità geologica di Caprara è attribuita all'Eocene inferiore sulla base dell'età delle formazioni adiacenti ed è rappresentata da dolomie microcristalline compatte con liste e noduli di selce in strati centimetrici di colore grigio-verde con liste giallastre nella parte inferiore, caratterizzata dalla totale assenza di fossili e da diffuse strutture sedimentarie dovute a frane sottomarine.

La formazione compare all'Appico, presso il Faro di San Domino, lo spessore massimo affiorante è di circa 20 metri sotto il faro riducendosi verso Nord, sino a non potersi più seguire già a metà della baia a causa della difficile accessibilità del luogo.

Le unità geologiche basali descritte, rappresentate nel report fotografico in Figura 8, in considerazione della ridotta estensione areale, vengono suddivise da una linea in stile tratteggio che evidenzia i rapporti stratigrafici per contatto di tipo trasgressivo tra esse e la Formazione di San Domino che le sovrasta e modella la parte sommitale della scogliera.

La presenza dei litotipi è circoscritta al fronte della falesia della cala del Bue Marino e le migliori esposizioni possono essere apprezzate solo dalla località "Punta Secca" e da un'imbarcazione a largo della baia a ponente di fronte alla località "L'Architiello" (Figura 26).



**Figura 26.** falesia di "Cala del Bue Marino" presso il Faro di San Domino, la linea in stile tratteggio evidenzia e suddivide le formazioni riportate in legenda.

**Formazione di San Domino  $E^2$**  (Eocene inferiore – medio), come denominata nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, è una formazione geologica terziaria poggianti con contatto trasgressivo sui termini della Formazione di Caprara.

La Formazione di San Domino, costituisce l'ossatura delle isole Tremiti ed è costituita da quattro litofacies: alla base rocce dolomitiche calcaree e dolomie non fossilifere, compatte, porose in strati e banchi con spessore da qualche decimetro ad oltre un metro colore giallo-bruno; seguite da calcareniti cristalline dolomitizzate con tracce di fossili e clasti vari; quindi calcareniti organogene a nummuliti passanti a luoghi a calcilutiti a stratificazione saltuaria e mal distinta di colore bianco-giallastre; infine calcari organogeni biocostruiti con abbondanza di macroforaminiferi, matrice da debolmente micritica a calcarenitica e stratificazione assente.

L'ambiente deposizionale è riferibile ad acque basse da alta energia (calcareniti) a minor energia (calcari organogeni), lo spessore complessivo affiorante è valutabile nell'ordine di 200 metri.

L'unità geologica di San Domino è predominante nell'omonima isola ed affiora dallo scoglio dell'Elefante, sul settore costiero di levante, fino al tratto settentrionale in località "I Pagliai".

Lungo la linea di contatto tra il mare e la battigia di costa, la sequenza si rinviene con le migliori esposizioni in corrispondenza delle falesie e delle numerose cale, nel settore sud-orientale tra "Grotta del Sale" e "Grotta delle Viole", nelle cale "delle Roselle" e "della Murena", a sud dell'isola tra "Punta di Zio Cesare" e il "Faro di San Domino" e nel settore nord-occidentale sul versante di ponente da "Punta Secca" a "Punta del Diamante", oltre che in alcune aree nell'interno dell'isola non obliterate dalle coperture continentali.

Dalle osservazioni fronte costa, in corrispondenza della cala prossima allo "Scoglio dell'Elefante" la formazione è posta con un contatto tettonico sulla formazione miocenica del "Cretaccio", la scarpata naturale sulla quale affiorano le sequenze è visibile in Figura 27.





**Figura 27. contatto tettonico per tra la Formazione di San Domino [ $E^2$ ] e la Formazione del Cretaccio [ $M^4_{-2}$ ] sulla scarpata naturale prossima allo "Scoglio dell'Elefante" sul versante di levante dell'Isola di San Domino.**

Il contatto di natura tettonica che pone in adiacenza le due unità, è individuabile sul versante a ponente dell'isola presso la località "Punta Secca" dove, all'interno di una piccola cala a valle dell'impianto di depurazione, affiora una ridotta porzione dei termini di natura marnosa ed arenacea ascrivibili alla Formazione del Cretaccio, parzialmente obliterati dalle coperture continentali pleistoceniche ed a contatto con le calcareniti ed i calcari organogeni della Formazione di San Domino (Figura 10).

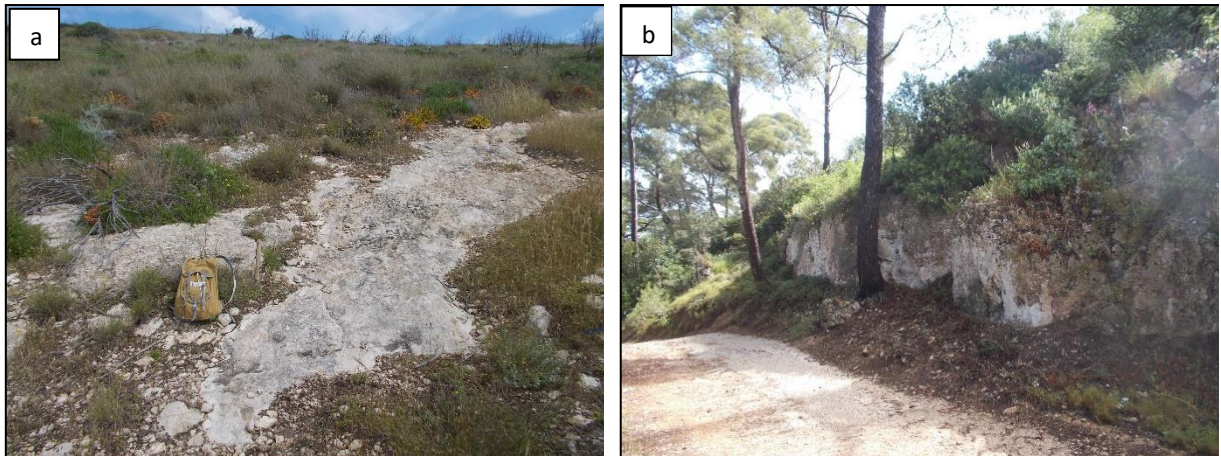


**Figura 28.** contatto tettonico tra la Formazione di San Domino [ $E^2$ ] e la Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ], parzialmente obliterata dai depositi continentali presso la piccola cala a valle dell'impianto di depurazione in località "Punta Secca".

Dall'alto morfologico in località "Toppo del Romito", nel settore centro-meridionale dell'isola di San Domino, fino alle alte falesie del tratto costiero di levante, questa unità litostratigrafica è ben rappresentata nei settori in cui le coperture continentali hanno esiguo spessore o assenti.

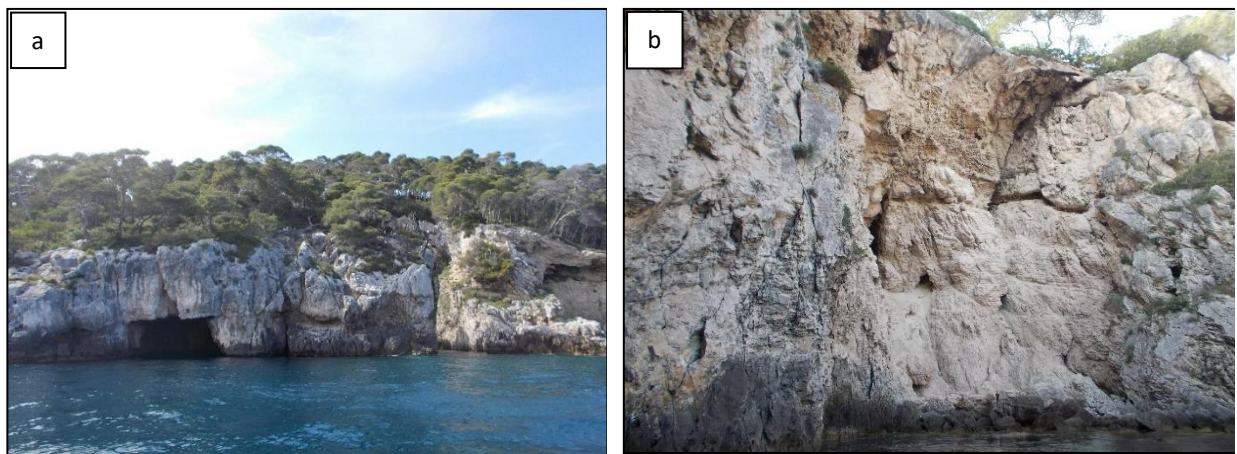
La formazione è stata rinvenuta lungo il sentiero che dal versante meridionale conduce al Faro di San Domino (stop geologico n. 09), rappresentata da calcareniti e calcari organogeni a stratificazione assente e con assetto monoclinatico a direzione di immersione verso Sud-Est (Figura 29 a). Nel settore sommitale del versante meridionale del "Poggio del Romito", il sentiero a mezza costa è interrotto da un gradone morfologico con altezza dell'ordine di qualche metro, il quale dall'osservazione delle forme del rilievo si prolunga verso l'orlo Nord dell'alto topografico e verso la costa in corrispondenza dell'insenatura detta "Cala di Zio Cesare", definendo la lineazione di una cospicua faglia con direzione circa NE-SO (Figura 29 b).





**Figura 29. a) stop geologico (Aff. 09 in Figura 7), calcareniti e calcari organogeni a stratificazione indistinta lungo il sentiero che conduce al Faro di San Domino; b) gradone morfologico con altezza nell'ordine del metro lungo il sentiero sul fianco meridionale del "Toppo del Romito".**

Procedendo via mare si osservano numerose grotte di varia dimensione "Grotta del Sale" ed in località "Cala delle Murene", impostate in corrispondenza delle maggiori fratture e continuamente ampliate a causa di crolli indotti dal moto ondoso e dalle caratteristiche proprie delle unità litologiche, la scarsa stabilità delle pareti e delle volte fa sì che le cavità siano prive di qualsiasi indizio di concrezionamento o speleotemi (Figura 30 a, b).

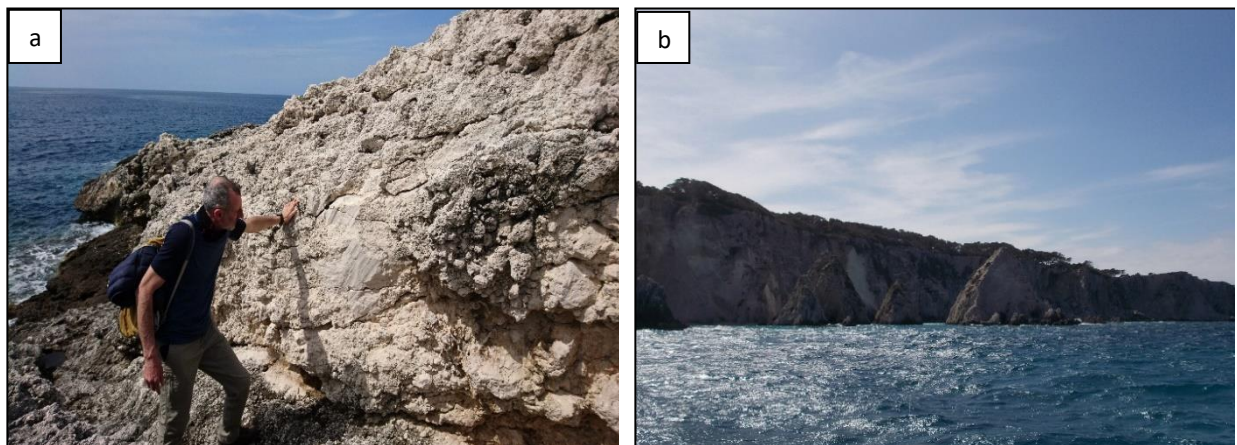


**Figura 30. a) vista panoramica della "Grotta del Sale" caratterizzata da dolomie calcaree e calcareniti cristalline [E<sup>2</sup>]; b) volta di una cavità parzialmente crollata in località "Cala delle Roselle".**

Il settore settentrionale dell'isola di San Domino, tra "Cala della Tramontana" e "Toppa del Caino" che delimita l'area in cui affiorano "I Pagliai", è caratterizzato dalla presenza di fattori morfologici condizionati dall'effetto della tettonica.

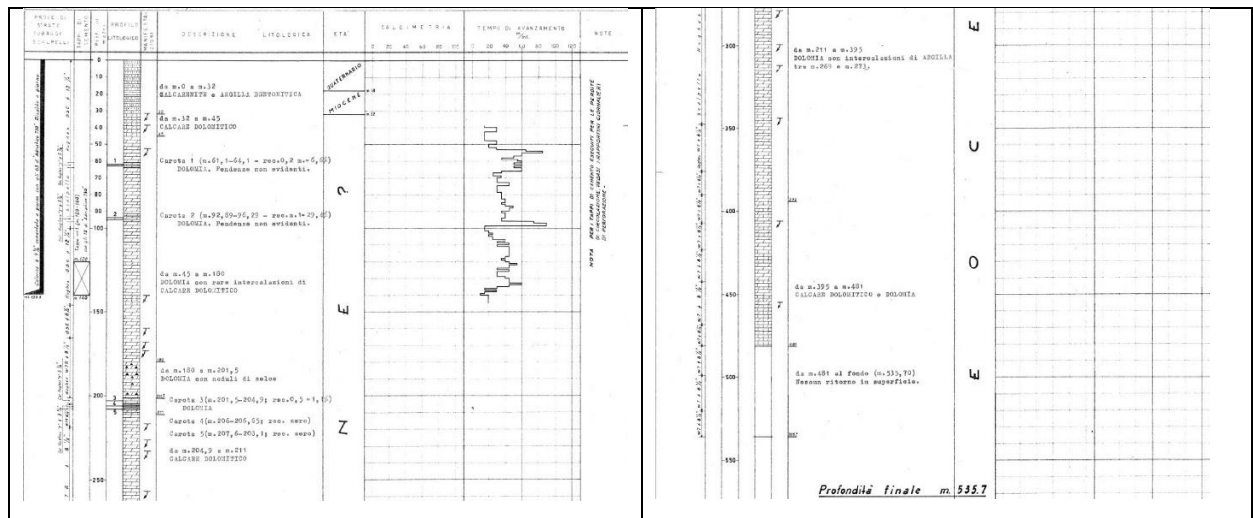
Lungo il bordo nord-occidentale, tra la "Grotta del Coccodrillo" e "Cala Tomariello", gli strati rocciosi della Formazione di San Domino sono tettonizzati e la morfogenesi costiera è fortemente condizionata per effetto dell'assetto strutturale, generando piccole insenature a pianta sub-circolare con asse orientato secondo le direttrici tettoniche secondarie NO-SE e gradino di faglia di dimensioni esigue sul quale è possibile osservare evidenti tracce associabili a strie di trascinamento (Figura 31 a).

In corrispondenza della falesia in rapido arretramento, impostata lungo una delle direttrici tettoniche secondarie dell'arcipelago si osservano "I Pagliai", ossia i faraglioni di "Cala del Diamante" modellati sulla Formazione di San Domino, la quale qui è rappresentata dai termini calcarenitici e calcareo organogeni con stratificazione mal distinta o assente intensamente cataclasati; in tutta l'area settentrionale dell'isola questa successione presenta evidenti meso strutture tettoniche ad andamento Est-Ovest (Figura 31 b).



**Figura 31. a) stop geologico (Aff. 14 in Figura 7), gradino di faglia con tracce associabili a strie di trascinamento in prossimità di "Cala Tomariello"; b) falesia di "Cala del Diamante" con i faraglioni denominati "I Pagliai".**

Il sondaggio che testimonia la presenza dei termini associabili alla Formazione di San Domino ( $E^2$ ) con continuità al di sotto della superficie è ubicato in prossimità dell'area urbanizzata in località "La Cantina" sull'isola di San Domino e si riferisce ad un pozzo di prospezione per idrocarburi di notevole profondità, a titolo di esempio si riporta il log stratigrafico rappresentativo del sondaggio P22\_071026 (Figura 32).



**Figura 32.** sondaggio rappresentativo dei termini afferenti alla Formazione di San Domino [ $E^2$ ], affioranti da piano campagna fino al fondo foro della verticale geognostica a 535,70 metri (P22\_071026).

**Formazione del Cretaccio  $M^{4-2}$**  (Burdigaliano – Tortoniano), come denominata nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, è una formazione geologica terziaria neogenica poggiante con contatto trasgressivo sui termini della Formazione di San Domino.

La sequenza miocenica della Formazione del Cretaccio, affiora in modo parziale su ognuna delle isole e nei fondali interposti ed è suddivisa da tre parti: la parte basale è costituita da un livello di rocce a composizione doloarenitica-glauconitica da friabili a compatte con colorazione giallo-verdastre e rossastre, caratterizzato anche dalla presenza di un conglomerato torbiditico, la cui potenza varia da pochi decimetri a poco più di 2 metri; seguono caratteristiche marne di colore giallastro e poi marne bianco-giallastre di discreta consistenza a frattura scabra in strati di spessore decimetrico.

Le marne costituiscono la parte prevalente e più rappresentativa dei depositi miocenici, alla base della formazione si intercala un livello calcarenitico gradato, all'apice della successione compaiono numerosi foraminiferi bentonitici e planctonici.

L'ambiente deposizionale, per la parte basale è di acque basse ad alta energia e litorali, per la parte intermedia e sommitale è di mare aperto, lo spessore massimo della formazione è nell'ordine di 200 metri.

Il contatto basale risulta irregolare e segnato da una superficie ben carsificata del substrato eocenico, le marne mioceniche della sequenza colmano spesso doline e pozzi modellati nella Formazione di San Domino sulla quale poggia.

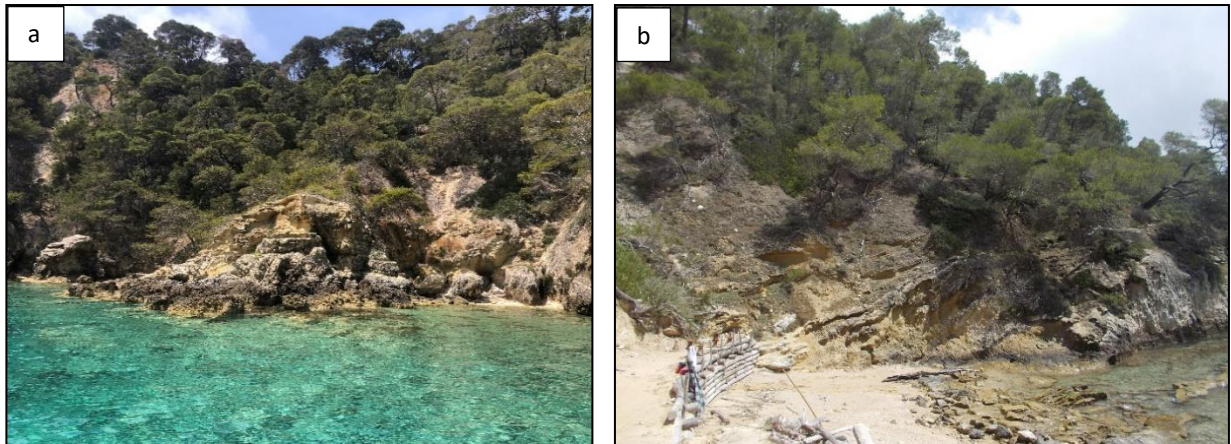


Questa successione è osservabile lungo tutto il bordo sud-orientale dell'isola di San Domino, dalla spiaggia a sud del porticciolo prossimo a "Cala delle Arene" sino all'altezza dello "Scoglio dell'Elefante" e in particolare nella caletta dell'Hotel Eden, un esiguo lembo si rinviene in una caletta a sud di "Punta Secca".

I numerosi affioramenti rinvenuti nel tratto di costa a levante dell'isola di San Domino, tra l'imbarcatoio e "Cala del Pigno", evidenziano i termini caratteristici della parte basale della sequenza, definiti da strati arenacei di spessore decimetrico colore avana-giallastro ad assetto monoclinatico verso Sud-Est (Figura 33) e buone esposizioni del contatto trasgressivo del "Cretaccio" con la sottostante Formazione di San Domino (Figura 34 a, b).



**Figura 33.** stop geologico (Aff. 16 in Figura 7), strati doloarenitici sub-affioranti della Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ] sul versante orientale dell'isola di San Domino presso "Cala Spido".



**Figura 34.** a) strati doloarenitici della Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ] in contatto trasgressivo sui calcari organogeni e calcareniti della Formazione di San Domino [ $E^2$ ] nella caletta dell'Hotel Eden; b) termini della sequenza [ $M^{4-2}$ ] in contatto trasgressivo sulla sequenza [ $E^2$ ] con direzione di immersione opposta all'assetto della monoclinale nell'insenatura di "Cala Matano".

I membri che costituiscono la Formazione del Cretaccio, presentano variabilità delle proprietà fisico-meccaniche e di grado di fratturazione, che associate all'assetto stratigrafico ed al ruolo delle forze esogene espongono i termini della formazione a processi di erosione selettiva che caratterizzano le forme del rilievo.

I processi erosivi lungo i versanti e sulle ripide scarpate che sporgono sulle coste, in cui la formazione affiora in modo omogeneo per effetto della morfoselezione litologica molto marcata e particolare genera profili seghettati.

Evidenti esposizioni dell'effetto morfoselettivo possono essere osservate lungo un ripido sentiero che dalla località "Case Sparse" conduce al mare in prossimità di "Cala del Pigno" sull'isola di San Domino (Figura 35).





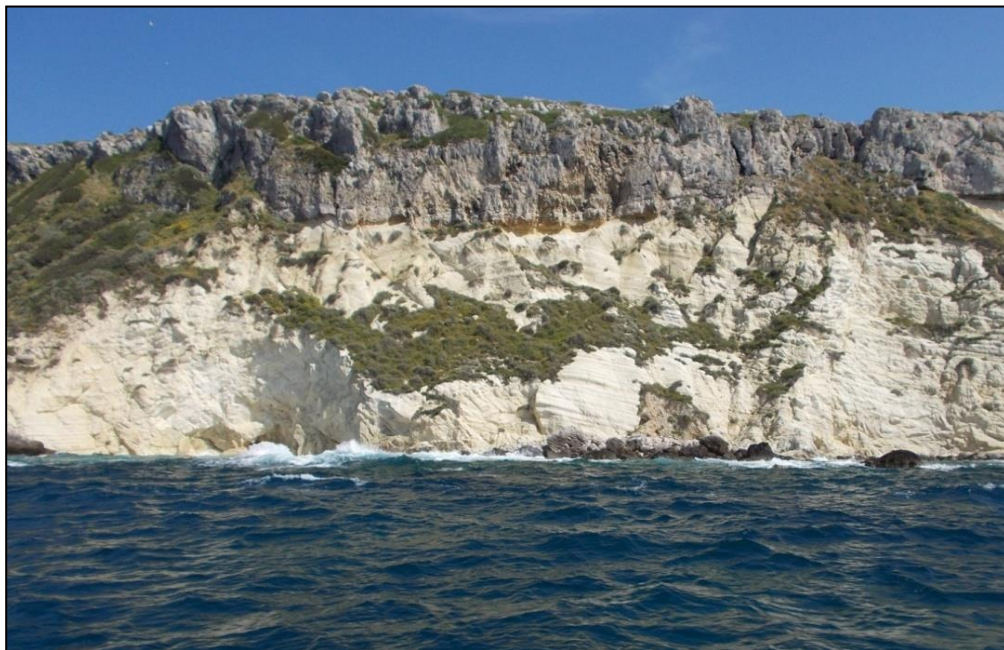
**Figura 35. stop geologico (Aff. 17 in Figura 7), profilo seghettato per morfoselezione litologica, su un versante costituito da arenarie mediamente cementate associate alla Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ] presso "Cala del Pigno".**

Sull'isola di San Nicola la Formazione del Cretaccio si riconosce per tutto il contorno alla base delle falesie, con le migliori esposizioni sul versante di ponente ed interessata da numerose faglie ad orientamento NO-SE con rigetti mai superiori ai 20 metri.

Dalle osservazioni fronte costa, l'isola è rappresentata da un rilievo tabulare con la superficie superiore modellata sulla sovrastante Formazione di San Nicola, il contatto tra le formazioni a differente comportamento reologico, la espone a persistenti processi di demolizione costiera.

Più esattamente in essa affiora la parte alta della Formazione del Cretaccio, per uno spessore di 40/45 metri, costituita da strati decimetrici di calcilutiti e calcisiltiti con rare calcareniti ben stratificati, di colore giallo-biancastro e grigio, in cui il contenuto argilloso aumenta verso l'alto.

Su detta formazione, in discordanza angolare, poggia la Formazione di San Nicola, costituita da termini marcatamente litoidi con uno spessore di 30/35 metri (Figura 36).

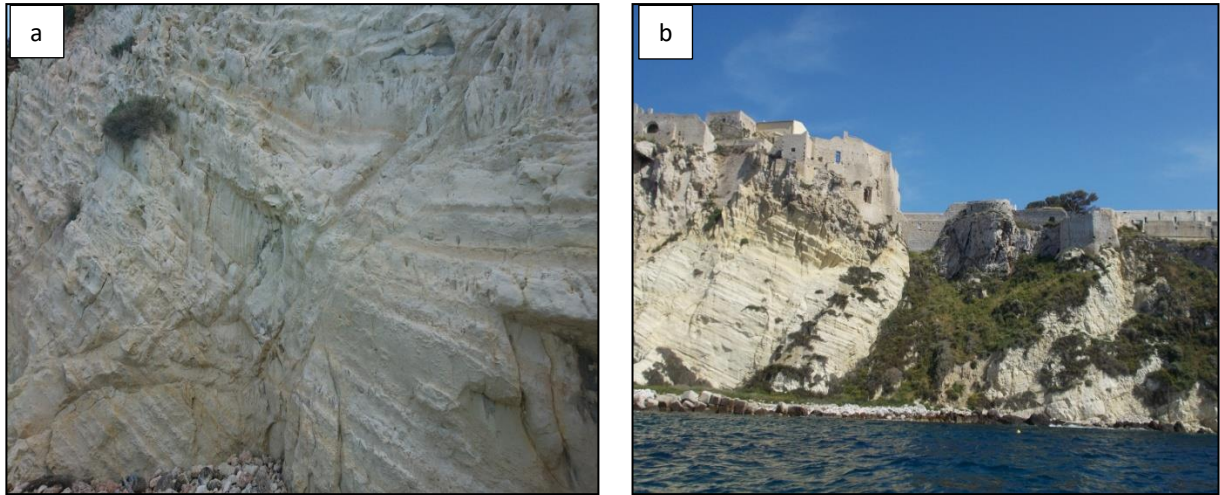


**Figura 36. falesia dell'isola di San Nicola esposta verso l'isola di Caprara a Nord in cui è ben evidente il contatto trasgressivo tra la Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ] e la sovrastante Formazione di San Nicola [ $P^2$ ].**

Sulle coste alte che bordano l'isola, la Formazione del Cretaccio evidenzia i caratteri dei processi cinematici della microplacca adriatica in cui ricadono le isole Tremiti, con le rocce più erodibili

che sono quelle tenere dei livelli friabili in corrispondenza delle fasce di intensa fatturazione lungo le zone delle numerose faglie a differente geometria.

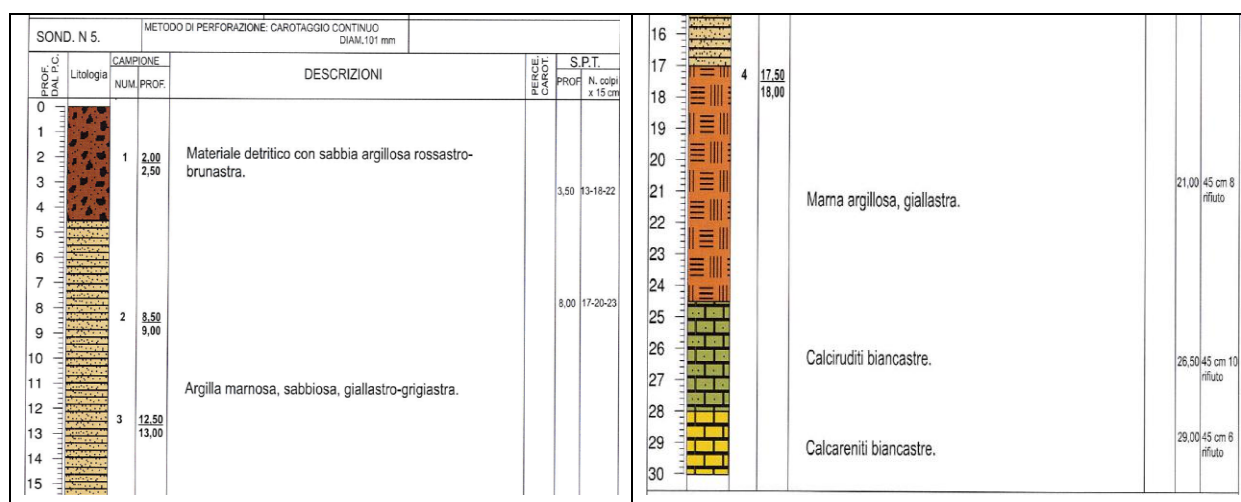
Lungo il coronamento delle falesie, in cui l'unità è bene esposta, si osservano fratture beanti di trazione, talora con piccoli spostamenti traslativi delle parti con andamento delle fessure di tipo curvilineo e rettilineo (Figura 37 a, b) e dislocazioni lungo faglie normali a basso rigetto.



**Figura 37. a) faglia normale sin-sedimentaria nella Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ] in prossimità della darsena di San Nicola; b) sistema di faglie a geometria diretta e trascorrente lungo la falesia esposta a ponente ed in corrispondenza della zona storico-monumentale dell'isola.**

Diversi sondaggi geognostici sono stati eseguiti a vario titolo in entrambe le isole, nei quali sono state rinvenute le formazioni rappresentative affioranti lungo le coste e le falesie a conferma dell'assetto stratigrafico e degli spessori dei litotipi caratteristici dell'arcipelago.

Il sondaggio che testimonia la presenza dei termini associabili alla litofacies marnoso-argillosa della Formazione del Cretaccio ( $M^{4-2}$ ), con continuità al di sotto della superficie è ubicato in prossimità dell'area urbanizzata in località "Case Sparse" sull'isola di San Domino, a titolo di esempio si riporta il log stratigrafico rappresentativo del sondaggio P10\_071026 (Figura 38).



**Figura 38.** sondaggio rappresentativo dei termini afferenti alla Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ], affioranti da circa 4,50 metro fino al fondo foro della verticale geognostica a 30,00 metri (P10\_071026).

**Formazione di San Nicola  $P^2$**  (Pliocene medio), come denominata nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, è una formazione geologica terziaria neogenica poggianti con contatto nettamente trasgressivo sui termini della Formazione del Cretaccio.

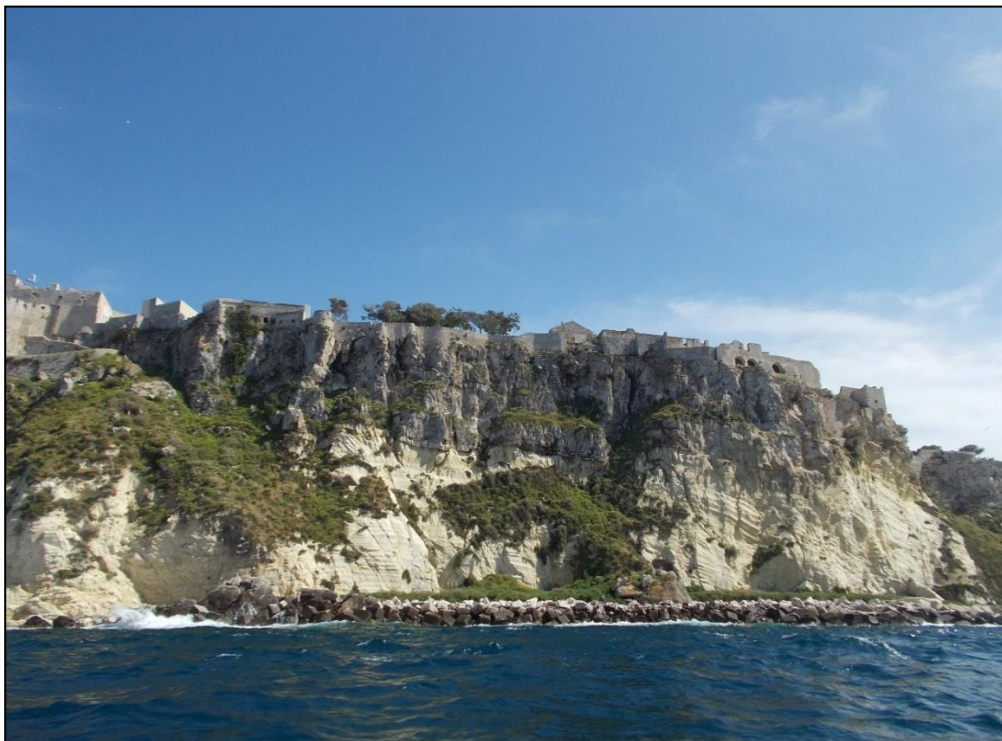
La sequenza stratigrafica è costituita alla base da dolomie e calcari dolomitici con rocce da compatte a friabili e colore da bianco-avana a rosato ( $P^2-a$ , membro basale), sormontata da calcareniti organogene con caratteri macroscopici delle dolomie a stratificazione indistinta, massive, porose e con abbondanti fossili ( $P^2-b$ , membro sommitale).

L'ambiente di sedimentazione è litorale per la panchina basale e di acque leggermente più profonde per la restante successione, lo spessore massimo della formazione è nell'ordine di 35 metri; la formazione con le due litofacies distinte affiora esclusivamente nella parte sommitale ed è bene esposta lungo il settore di ponente dell'isola omonima (Figura 39, Figura 40).





**Figura 39.** stop geologico (Aff. 38 in figura 8), bancate di spessore nell'ordine del metro di dolomie e calcari dolomitici da compatte a friabili, sormontate da calcareniti organogene con caratteri delle dolomie della Formazione di San Nicola [ $P^2$ ].



**Figura 40.** stop geologico (Aff. 25 in figura 8), dolomie e calcari dolomitici, sormontate da calcareniti organogene della Formazione di San Nicola [ $P^2$ ] poggianti in discordanza angolare sui termini della Formazione del Cretaccio [ $M^{4-2}$ ] alla base del complesso storico-monumentale.

Dalle osservazioni fronte costa, il piastrone pliocenico costituito dalla Formazione di San Nicola è bene esposto lungo il contorno dell'isola, con le bancate rocciose che sormontano le alte falesie intensamente fratturate e carsificate, con numerosi divaricamenti delle fessure più frequenti sul settore di levante dell'isola.

In corrispondenza della "Torre del Cavaliere di San Nicolò", si può osservare una delle migliori esposizioni di questa formazione, costituita alla base da calcisiltite poco cementata e friabile, erosa dall'azione eolica con calcarenite e calcite re-precipitata al tetto (Figura 41 a).

Affioramenti caratteristici della litofacies sommitale sono stati rinvenuti lungo l'unico sentiero percorribile che discende dal gradone morfologico di "Punta del Cimitero" verso la battigia in località "Marinella", in cui sono esposti banchi di calcareniti organogene e livelli con caratteri delle dolomie di aspetto massivo e con spessore nell'ordine del metro da poco a moderatamente fratturate (Figura 41 b).

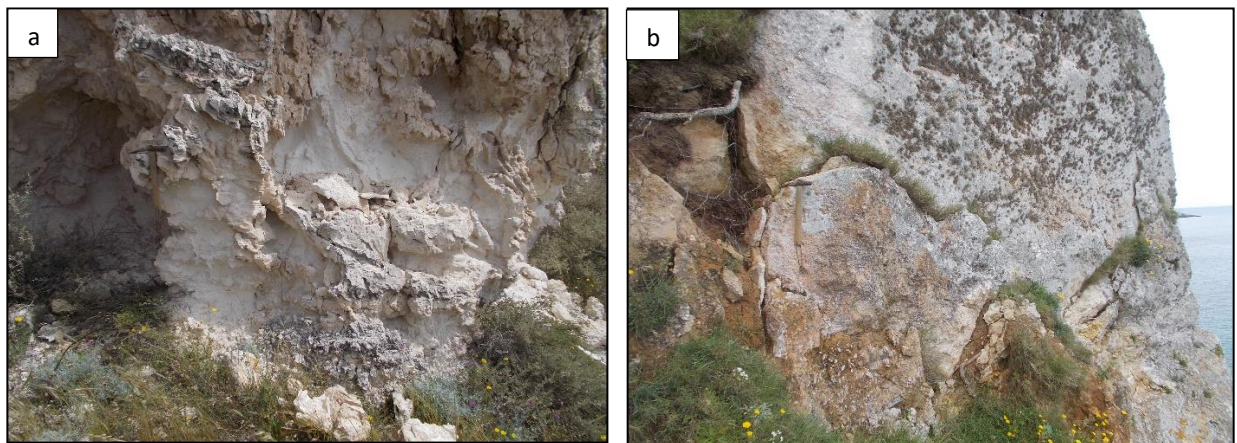


Figura 41. a) stop geologico (Aff. 45 in figura 8), alla base livello di calcisiltite poco cementata e friabile eroso dall'azione eolica, calcarenite con calcite re-precipitata al top presso la "Torre del Cavaliere di San Nicolò"; b) calcareniti organogene e livelli con caratteri delle dolomie lungo il sentiero in località "Punta del Cimitero".

**Loess bruno-rossastro**  $e^2$  (Pleistocene superiore – Olocene), come denominato nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, rappresenta il terreno agrario delle isole Tremiti ed è costituito da un materiale argillificato, grumoso, di colore bruno scuro in superficie per il contenuto organico, colore bruno rossastro e più sciolto in profondità ed è il prodotto della pedogenesi di un loess.

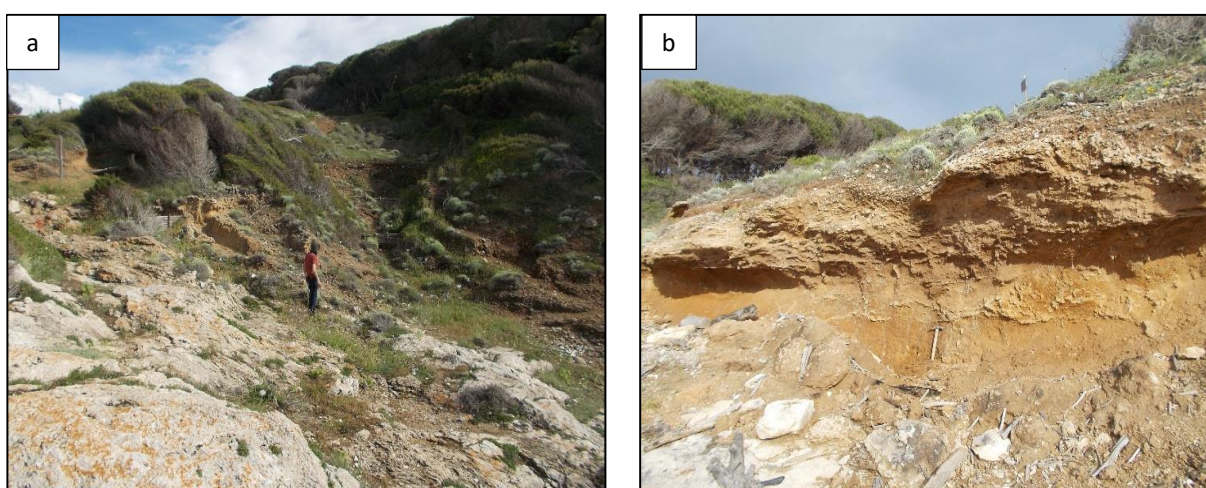
Le coperture rappresentate dai termini ascrivibili al loess bruno-rossastro hanno un'estensione significativa sulle superfici sommitali delle due isole con spessore nell'ordine di qualche metro.



**Loess giallo-aranciato  $e_c^I$**  (Pleistocene medio – superiore), come denominato nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, rappresenta il livello superiore di tre tipi litologici diversi costituiti anche dal loess rosso o rosato e dalle ghiaie rosse e rosate.

I depositi di questo tipo sono costituiti da sabbie medie e fini più o meno argilloso-siltose talora debolmente cementate, colore giallo-aranciato e con a luoghi concrezioni "bambole", la sabbia è quarzosa con granuli angolosi, sub-angolosi raramente arrotondati. Spessore massimo 6 metri.

Le coperture che costituiscono questo ordine di depositi eolici sono state rinvenute sull'isola di San Domino presso la darsena, a Cala degli Inglesi e presso la Grotta del Sale (Figura 42 a, b).



**Figura 42. a) loess bruno-rossastro [ $e^2$ ] con copertura vegetale presso la "Cala dei Benedettini"; b) loess giallo-aranciato [ $e_c^I$ ] con un livello decimetrico di "crostone" e sormontato dai depositi di loess bruno-rossastro presso la "Cala degli Inglesi".**

**Conglomerati marne e calcari rossi  $t_r^I$**  (Pleistocene medio), come denominati nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971; questi tipi litologici sono sempre caratterizzati dal colore rosso e rosato e si succedono dal basso verso l'alto con paraconglomerati e brecce in matrice calcareo-marnosa colore rosso vivo, compatti e ben cementati; gli elementi sono sub-angolari, centimetrici e di colore bianco rappresentati da calcari eocenici.

Affiorano in tasche di riempimento di cavità carsiche e fessure all'apice della formazione di San Domino, oppure in coperture continue di spessore nell'ordine di qualche metro, più o meno completa a Cala della Tramontana e Cala degli Inglesi, nei pressi della Grotta del Sale ed all'estremo occidentale dell'isola di San Nicola (Figura 43 a, b).

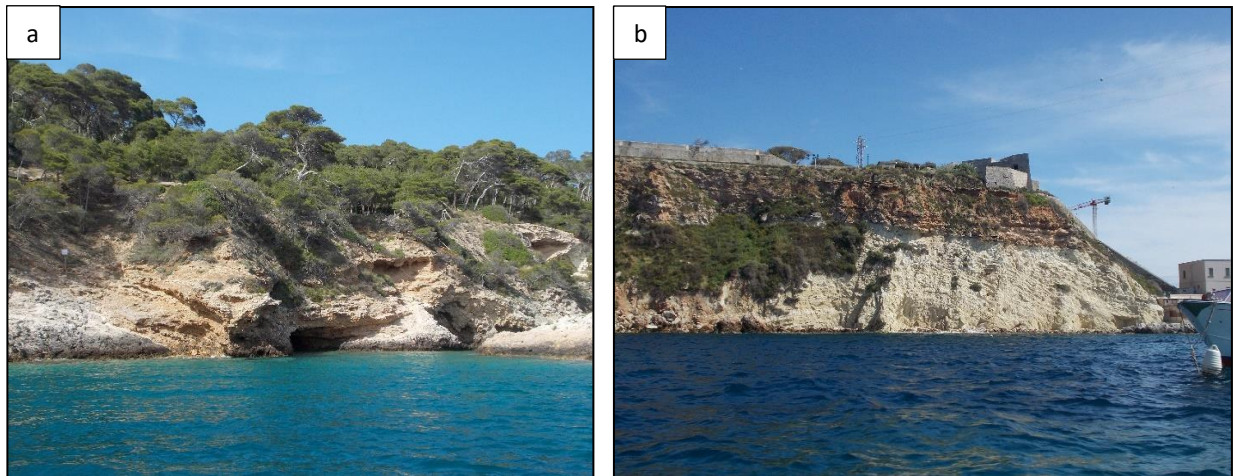


Figura 43. a) conglomerati marne e calcari rossi [ $t_r^I$ ] sulla scarpata di "Grotta delle Pecore" presso la "Grotta delle Viole"; b) livello dei termini [ $t_r^I$ ] di spessore nell'ordine di qualche metro sulla falesia della darsena di San Nicola.

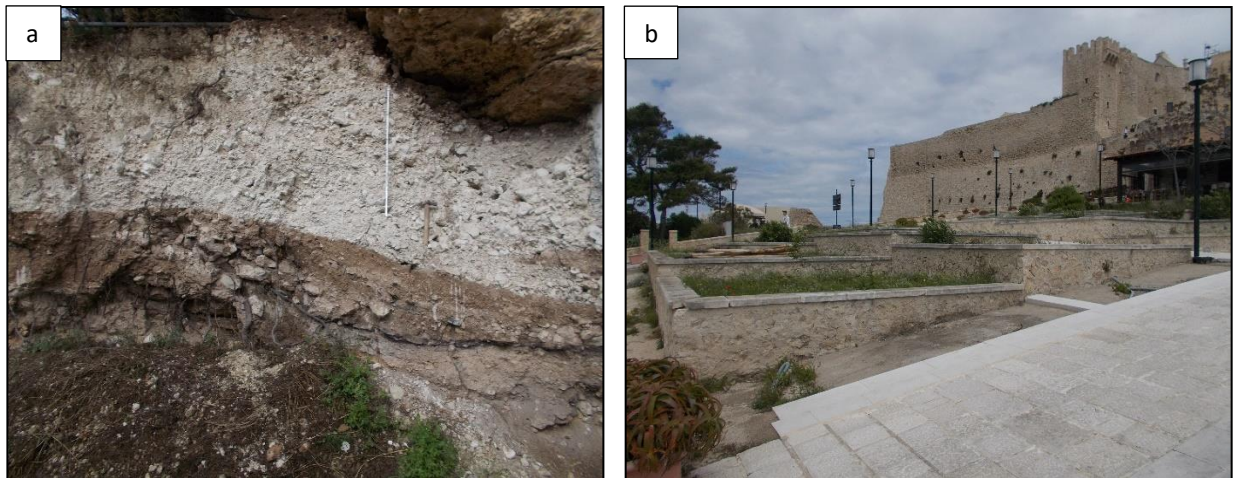
**Riporto antropico RI** – I depositi di riporto antropico, in fase di rilevamento e dall'osservazione dei logs stratigrafici esaminati, sono stati rinvenuti su entrambe le isole in aree di limitata estensione prossime ai fabbricati.

Sull'isola di San Domino, nel settore prossimo al versante prospiciente "Cala Matana" in località "Belvedere", sono stati rinvenuti depositi antropici eterogenei provenienti dall'accumulo di inerti derivanti dalla lavorazione dell'area antistante e dei fabbricati esistenti, in prossimità di una scarpata artificiale lungo il sentiero che conduce alla battigia.

I depositi sono caratterizzati da livelli sovrapposti che si distinguono per diversa colorazione e grado di addensamento dei materiali, costituiti da sabbie limose con frequenti trovanti calcarei eterometrici, materiali litici di risulta e scarti provenienti dalla lavorazione dei fabbricati circostanti con uno spessore nell'ordine di alcuni metri.

Sull'isola di San Nicola, nell'area ad Est della "Tagliata", la superficie topografica sommitale è molto irregolare per la presenza di gradoni di antiche rotture gravitative, smussati e parzialmente ricoperti da riporti artificiali, riutilizzati per la riprofilatura dell'area con la realizzazione di gradonature a vari ordini, allocate al fine della realizzazione di aree per il verde urbano.

Altri indizi di riporti antropici sono presenti in località "La Vasca", a valle della sede municipale in prossimità degli impianti sportivi e lungo la strada che conduce alla falesia, dall'osservazione dei dislivelli, tuttavia lo spessore dei depositi non assume valori significativi (Figura 44 a, b).



**Figura 44.** a) riporti antropici a valle del piazzale in località "Belvedere" sull'isola di San Domino; b) ripiani di natura antropica nell'area antistante l'edificio della sede municipale sull'isola di San Nicola.

**Instabilità di versante** – Nelle rispettive isole oggetto di rilevamento, se si escludono le superfici sommitali pianeggianti, i processi di origine gravitativa sono localizzati per l'intera lunghezza del contorno definito dagli orli di scarpata in prossimità delle falesie, la cui tipologia ed evoluzione è condizionata sia dal controllo tettonico che litologico, fattori determinanti ai fini dell'instabilità dei fronti.

I processi demolitori della fascia perimetrale delle isole sono dovuti all'azione del mare sia per erosione alla base delle falesie dalle mareggiate, sia per desquamazione pellicolare da parte del vento e allo spray marino.

Le rocce più esposte ai fattori di instabilità sono quelle tenere più erodibili, dai livelli friabili a quelle delle fasce d'intensa fratturazione lungo le zone di faglia, dove si è avuto un notevole decadimento della resistenza meccanica.

La tipologia prevalente dei fenomeni franosi è per crollo, ribaltamento ed espandimento laterale, correlata alla natura litoide ed ai fenomeni di morfoselezione, che sono evidenti nelle aree di contatto tra le unità geologiche a diverso comportamento reologico.

Alcuni esempi di fenomeni di instabilità per scoscendimento sono relegati ad aree circoscritte, in cui si rinvencono le coperture continentali quaternarie in prossimità della darsena dell'isola di San



Domino, le aree sono state oggetto di interventi di ingegneria naturalistica per favorire l'attecchimento dei termini superficiali.

Di rilevante importanza hanno i fenomeni gravitativi che coinvolgono le alte falesie in retrogressione delle due isole: l'isola di San Domino è interessata in diversi tratti di costa da fenomeni di crolli e ribaltamenti dei blocchi in corrispondenza dell'orlo delle scarpate; l'Isola di San Nicola è interessata per la quasi totalità della fascia perimetrale caratterizzata dalle falesie in continua retrogressione.

Sull'isola di San Domino i tratti di costa interessati dall'instabilità dei fronti e quindi interdetti alla balneazione sono nell'ordine: Scoglio dell'Elefante (intero contorno); Grotta del Sale (in corrispondenza della falesia); Cala delle Roselle (in corrispondenza della zona degli anfratti); Grotta delle Viole (in corrispondenza della falesia); località Tre Segni (in corrispondenza della falesia); Grotta del Bue Marino (in corrispondenza della falesia); I Pagliai e il tratto di costa tra Punta del Diamante e Cala del Diamante (da Toppa del Caino verso la darsena di San Domino).

Il tratto di costa da Punta del Diamante e Toppa del Caino è interessata da alcune frane da crollo, che insistono sul fronte della falesia costituita dai termini cataclasati della Formazione di San Domino e coincidente con una lineazione tettonica che ne definisce il contorno.

La fascia perimetrale dell'isola di San Nicola è interessata da Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DPGV); l'erosione marina al piede e quella differenziale dei livelli friabili in alcune litofacies calcarenitiche, determinano crolli e sollecitano anche le masse rocciose tenere a scorrimenti e scivolamenti, a luoghi i crolli sono preceduti da fenomeni di ribaltamento.

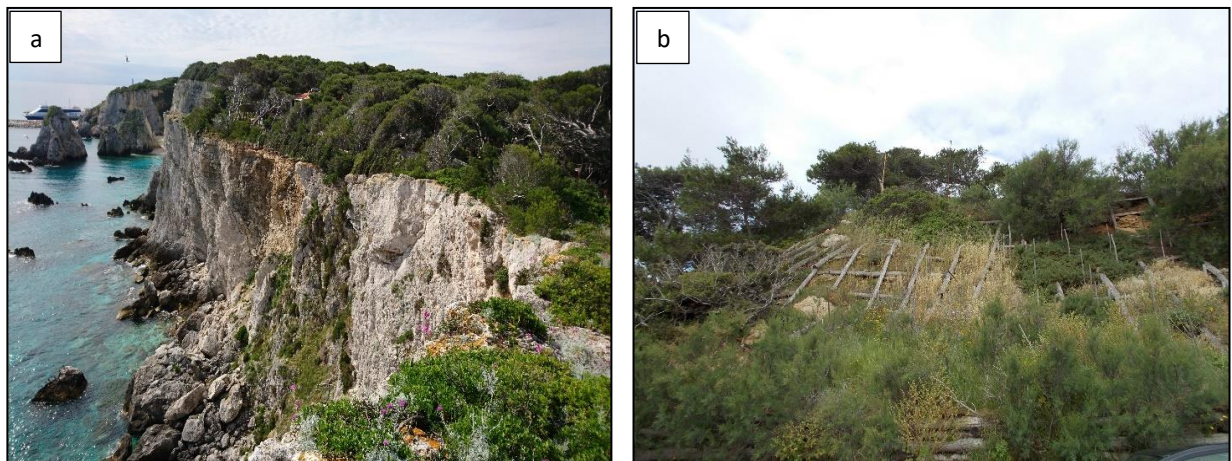
Lungo il coronamento delle falesie si osservano fratture beanti di trazione, con ridotti spostamenti traslativi o rotazionali dei blocchi che rappresentano i segni premonitori di collassi gravitativi del tipo di crollo, scorrimento-crollo.

Le particolari condizioni tettoniche agevolano distacchi e crolli dei poliedri di roccia isolati dall'incrocio dei sistemi di faglie o di fratture ed il particolare assetto strutturale favorisce un lento espandimento laterale, che ha sbloccato le masse rocciose in poliedri allungati e separati da fessure procedendo dall'interno dell'isola verso la costa.

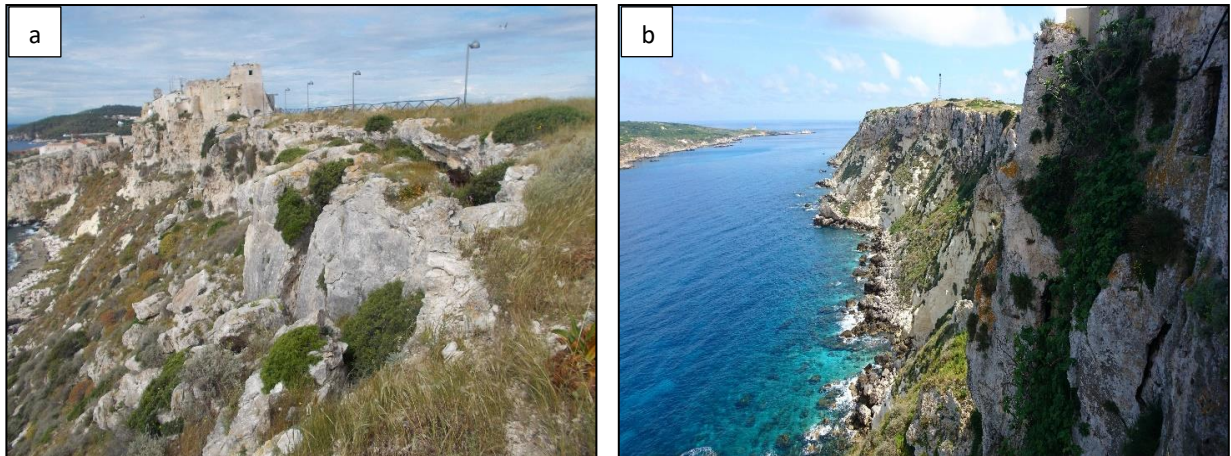
Sul versante sud-occidentale, in corrispondenza della "Tagliata", un blando e ampio inarcamento tettonico ha prodotto un sistema di fessure di trazione nelle rocce della Formazione di San Nicola, favorendo una più facile demolizione della roccia all'azione antropica con l'esecuzione in corrispondenza di questo settore di uno scavo artificiale.

Infine, nella zona di "Punta del Cimitero" sono state osservate delle frane per scorrimenti rotazionali multipli, con rotture lungo le lineazioni tettoniche che si manifestano con due evidenti gradoni morfologici ed un corpo di frana minore che interessa il fronte del versante in località "Marinella", riattivato dall'erosione marina al piede.

Di seguito si riporta la documentazione fotografica che ritrae una frana di tipo crollo in stato di attività nei termini litoidi della Formazione di San Domino, che costituiscono il tratto di costa in località "Cala del Diamante" ed un settore di versante in prossimità della darsena sull'isola di San Domino (Figura 45 a, b); frane caratterizzate da scorrimenti planari, ribaltamenti e crolli con le falesie in retrogressione, localizzate sul versante orientale in località "Muretta" e nei tratti di scarpata in prossimità della "Torre del Cavaliere di San Nicolò" (Figura 46 a, b).



**Figura 45. a) frana da crollo sul tratto di costa in località "Punta del Diamante"; b) interventi di ingegneria naturalistica su un versante con le coperture continentali in prossimità della darsena di San Domino.**



**Figura 46. a) frana da crollo sul versante orientale in località "Muretta"; b) tratto di falesia in retrogressione in prossimità della "Torre del Cavaliere di San Nicolò" sull'isola di San Nicola.**

#### *3.4.1 Descrizione della nuova carta geologica*

In riferimento alla cartografia geologica ufficiale, le isole di "San Domino" e di "San Nicola" sono incluse nel Foglio n. 156 "San Marco in Lamis" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Figura 47).

Le aree di perimetrazione, coincidenti con il contorno delle due isole, in riferimento alla cartografia più recente del Progetto "Cartografia Geologica", sono collocate nel Foglio n. 383\_Bis "San Nicandro Garganico" (non ancora realizzato), il quale è posto tra il Foglio n. 382 "Campomarino" ad Ovest (non ancora realizzato) ed il Foglio n. 384 "Vico del Gargano" ad Est.





Figura 47. estratto del Foglio n. 156 "San Marco in Lamis" in scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia) in cui il contorno delle isole di "San Domino" e "San Nicola" costituisce le aree di perimetrazione oggetto di rilevamento.

Per la definizione dello schema tettonico e delle litologie osservate si è fatto riferimento alla bibliografia disponibile (Montone et al. 1989; De Alteriis 1995; Argnani et al. 1996; Andriani et al. 2005) ed alle formazioni geologiche dettagliate nel Foglio n. 156 "San Marco in Lamis", in cui la stratigrafia delle Tremiti è stata messa a punto da Selli R. (Note Illustrative, 1971).

Di seguito si riportano alcuni estratti della carta strutturale del Promontorio del Gargano ed uno schema geologico di insieme del settore centro-meridionale del Mare Adriatico, tratti dalla documentazione bibliografica consultata, con i fronti di accavallamento che bordano il bacino (Figura 48 a, b) nel quale si espongono le caratteristiche tettoniche e strutturali del settore geografico nel quale è inclusa l'area di studio (Figura 49).

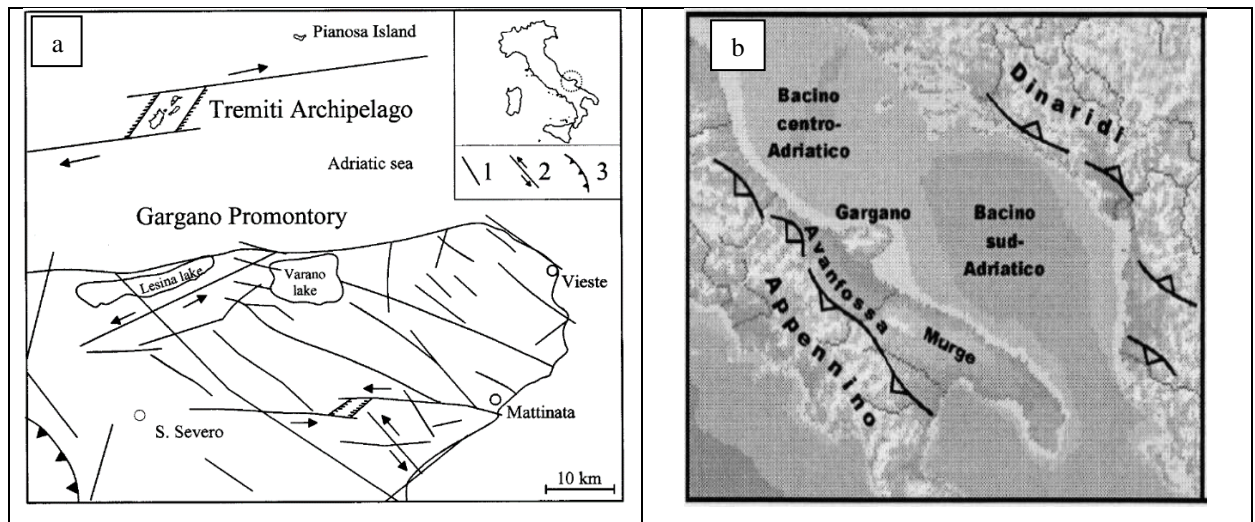


Figura 48. a) estratto della carta strutturale schematica dell'arcipelago delle isole Tremiti e del Promontorio del Gargano (Montone & Funiello, 1989); b) schema geologico di insieme del settore centro-meridionale del Mare Adriatico (Funiello, 1988).

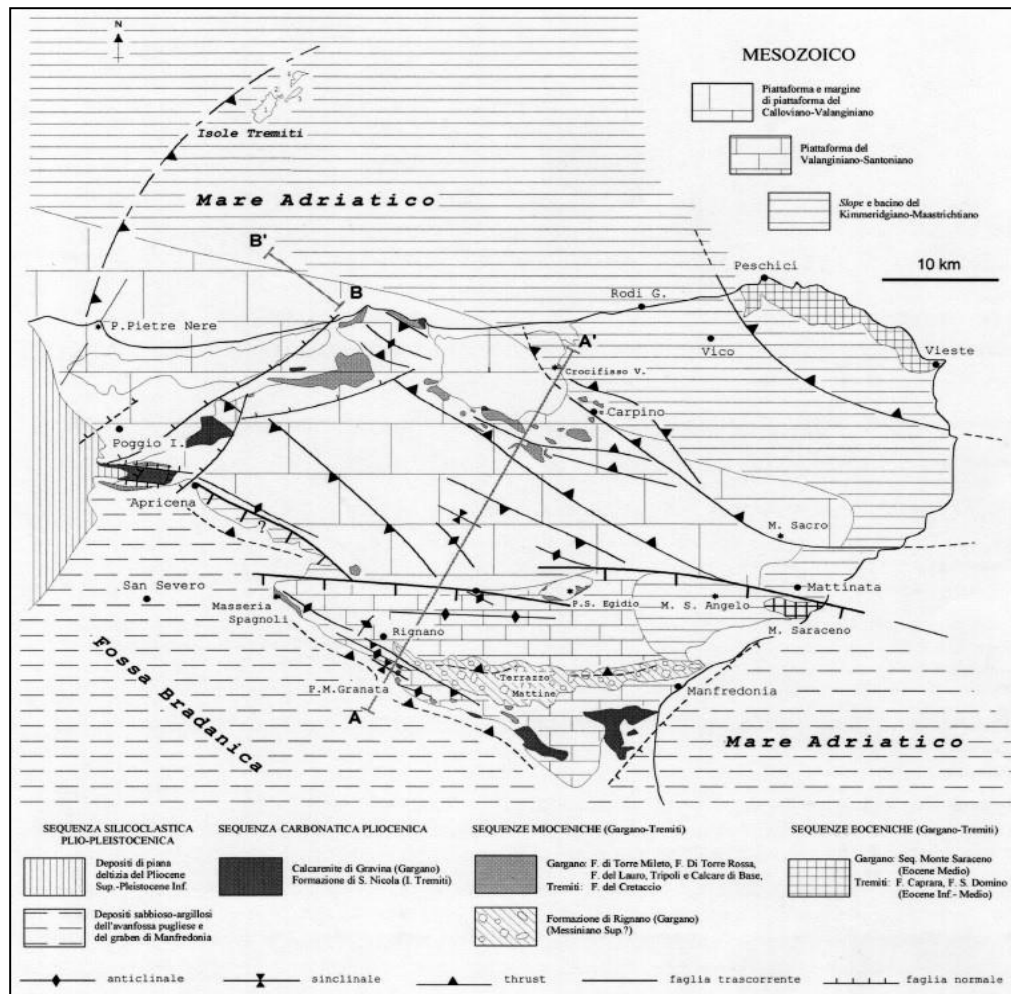


Figura 49. schema tettonico di inquadramento del Promontorio del Gargano (Doglioni et al., 1996).



Inoltre, sono rappresentate le aree in dissesto censite in studi pregressi, gli elementi morfologici puntuali e lineari come da Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica - Versione 4.2: punti sommitali, creste, orli di scarpata.

A completamento delle informazioni rappresentate, gli elementi lineari e poligonali della Carta Tecnica Regionale forniscono informazioni su toponimi, isoipse, viabilità e urbanizzazione.

I rapporti geometrici, tra i terreni del substrato ed i terreni di copertura individuati, sono rappresentati in cinque sezioni geologiche (due per l'isola di San Domino, tre per l'isola di San Nicola), i cui transetti sono ubicati lungo gli interfluvii in direzione da Sud-Ovest verso Nord-Est e lungo i profili topografici dei versanti da Sud-Est verso Nord-Ovest, in modo da intercettare gli elementi significativi e le aree urbanizzate incluse nelle aree di perimetrazione che coincidono con i contorni delle rispettive isole.

Le due sezioni geologiche che intersecano l'areale dell'isola di San Domino, hanno rispettivamente direzione SO-NE (sezione A-A') e direzione NO-SE (sezione B-B'), le tre sezioni che intersecano l'areale dell'isola di San Nicola, hanno rispettivamente direzione SO-NE (sezione C-C') e direzione NNE-SSO (sezioni D-D', E-E').

L'orientazione dei transetti è funzionale alla rappresentazione dei rapporti geometrici ed alla definizione degli spessori tra le unità litostratigrafiche rappresentative, delle litofacies riconosciute e i terreni di copertura cartografati.

Gli spessori indicati, derivano prevalentemente dall'assetto morfologico dei litotipi affioranti, da analisi ed interpretazioni dei logs stratigrafici dei sondaggi geognostici e dalle indagini sismiche di microtremiti a stazione singola (HVSr), sia pregresse che di nuova acquisizione.

La carta risultante, come evidenziato dalla descrizione dei litotipi nel paragrafo 3.4, ripropone la presenza delle unità già riportate nella cartografia ufficiale di riferimento e differisce in: variazioni dei limiti litostratigrafici tra le unità geologiche; aggiunta di campiture riferite a parti definite "litofacies" di una formazione caratteristica dell'area; aggiunta di lineazioni tettoniche per contatto certe e presunte; inserimento di alcuni elementi associabili ai terreni di copertura e delle misure giaciture sui termini litoidi degli affioramenti rinvenuti.

La differenza più evidente nella redazione della nuova carta geologica e geomorfologica rispetto alla cartografia geologica esistente è la rappresentazione a grande scala degli elementi areali e lineari, conseguente al rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio funzionale agli studi di microzonazione sismica di livello uno.

Dal punto di vista geologico, i settori di territorio rilevati via terra, se si escludono gli areali di esigua superficie definiti dai depositi continentali e modificati dalle attività antropiche ed agricole che hanno obliterato gli affioramenti ed i contatti litostratigrafici, presentano aspetti favorevoli alla definizione dei caratteri morfologici, dei rapporti stratigrafici e strutturali tra le formazioni.

Tali caratteristiche fisiografiche sono evidenti dall'osservazione fronte costa delle due isole, in cui gli aspetti morfologici, litologici e strutturali, ad esclusione delle fasce interessate dall'accumulo della coltre detritica che per alcuni tratti oblitera gli affioramenti risultano bene esposti.

Supporto basilare alle attività di campo, nella definizione dei contatti continui e discordanti tra le unità, è stato dato dall'ampia bibliografia consultata, la quale ha agevolato la distinzione delle formazioni caratteristiche nell'area, definendone gli aspetti rappresentativi come l'ambiente di sedimentazione e le potenze indicative, al fine della redazione della carta geologica di base.

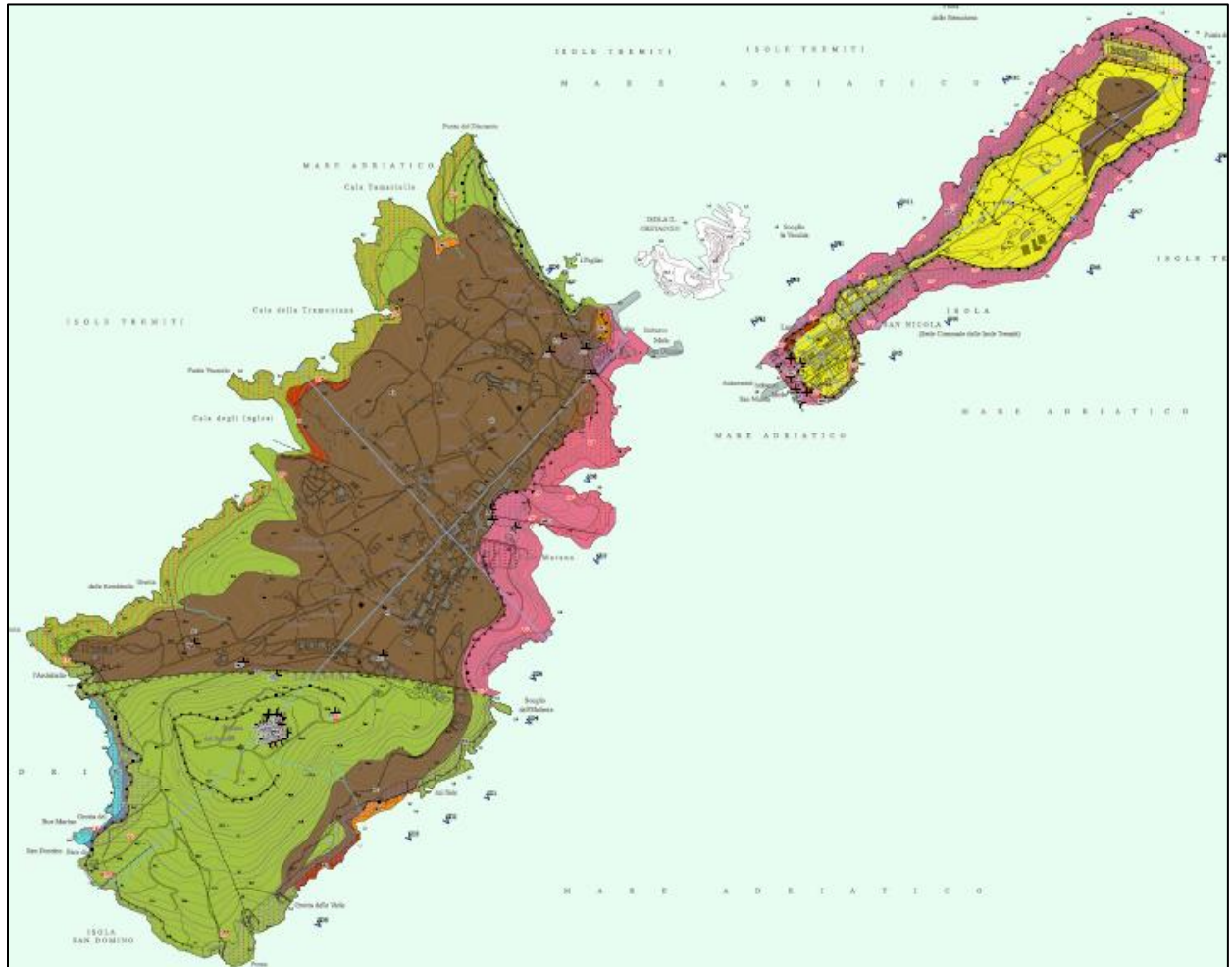
La carta geologica e geomorfologica redatta, rispetto al foglio geologico pregresso di riferimento che include l'area di perimetrazione riportato in Figura 47, in seguito ai risultati dei frequenti sopralluoghi condotti ed all'analisi dei dati stratigrafici, mostra sostanziali modifiche dei limiti geologici delle formazioni esistenti, con le tracce dei contatti adattati alla scala di rilevamento e l'inserimento di elementi areali riferiti alla suddivisione di una unità stratigrafica in litofacies con le litologie caratteristiche associate alle formazioni affioranti.

Inoltre sono state cartografate campiture di estensione limitata prossime alla battigia ed alle cale, riferite ai depositi continentali quaternari distinti per tipologia, spessore e periodo deposizionale. Per la rappresentazione delle formazioni geologiche, sono state cartografate le campiture delle formazioni arealmente più estese (Formazione di San Domino –  $E^2$ , Formazione del Cretaccio –  $M^{4-2}$ , Formazione di San Nicola –  $P^2$ ); inserite le unità circoscritte ad esigui areali (Formazione del Bue Marino –  $E^1$ , Formazione di Caprara –  $E_d^1$ ); inserite le litologie afferenti alla litofacies basale a dolomie e calcari dolomitici ( $P^2-a$ ) negli areali che corrispondono alle fasce bordiere nell'intorno dell'isola di San Nicola, oltre che aggiunte numerose misure delle giaciture di strato, rilevate sui livelli litoidi delle unità del substrato geologico afferente alle formazioni rappresentative, essenziali alla ricostruzione dei rapporti geometrici tra le unità e della struttura geologica e funzionali alla redazione delle sezioni geologiche (A-A', B-B', C-C', D-D', E-E').

Figura 51 mostra la carta geologica e geomorfologica proposta con: identificazione delle unità litostratigrafiche rinvenute definite da contatti di diversa natura; forme di superficie e sepolte associate sia ad elementi morfologici lineari che ad instabilità di versante distinte per tipologia e



stato di attività; elementi tettonico-strutturali; elementi geologici con la simbologia di riferimento relativa alla cartografia geologica e geomorfologica ufficiale.



**Figura 51. carta geologica e geomorfologica delle aree di perimetrazione oggetto di rilevamento, coincidenti con il contorno delle isole di San Domino e di San Nicola (Arcipelago delle isole Tremiti - FG).**

La nuova carta riferita alle aree di perimetrazione che coincidono con il con il contorno delle due isole, evidenzia la presenza delle unità litostratigrafiche rappresentative del substrato geologico, definita con i rispettivi contatti di tipo stratigrafico e tettonico, secondo quanto reperito in letteratura geologica ed in seguito alle osservazioni di campo, con gli affioramenti delle sequenze rinvenute alle varie quote altimetriche.

L'assetto geologico e strutturale delle formazioni afferenti a questo settore di placca che costituisce un lembo isolato della Piattaforma Apula e situato a Nord del Promontorio del Gargano, indica elementi tettonici significativi riconosciuti rispettivamente sull'isola di San Domino e di San Nicola in ordine elencati: (isola di San Domino) una blanda piega anticlinale con asse orientato

all'incirca NE-SO, osservabile sulla falesia dell'Appico ed interessata da delle strutture disgiuntive, troncata obliquamente da una significativa lineazione tettonica orientata circa E-O e passante per l'Architello; una cospicua faglia con direzione circa E-O, tra l'Architello e l'orlo Nord del Toppo del Romito; alcune faglie ad orientamento NO-SE con rigetto modesto in corrispondenza delle cale Matano, delle Rondinelle e degli Inglesi; una faglia bordiera trascorrente, orientata ONO-ESE con rigetto significativo lungo l'alta falesia di Cala del Diamante; (isola di San Nicola) una debole piega con un accenno a un'anticlinale dislocata da faglie; una faglia trascorrente con cospicuo rigetto tra l'area monumentale ed il porto; numerose faglie dirette a modesto rigetto e direzione di immersione verso NE e verso SO che dislocano le formazioni del Cretaccio e di San Nicola.

Alla scala del rilevamento, sono stati rinvenuti indizi che riconducono ad elementi tettonici che regolano in modo significativo i rapporti spaziali e l'assetto stratigrafico tra i litotipi caratteristici.

Dalle osservazioni dei numerosi affioramenti delle formazioni caratteristiche e dalle misurazioni delle direzioni di immersione degli strati sui versanti delle due isole, è stata possibile la ricostruzione di una monoclinale immergente verso SE in media dai 10° ai 20°, ciò è evidente per la Formazione del Cretaccio e si ripete anche per le formazioni paleogeniche, la cui parte più antica affiora presso il margine SO di San Domino.

Le coste delle due isole, con interposto lo scoglio del Cretaccio, espongono le formazioni caratteristiche in modo da interpretare la presenza di un importante faglia trascorrente destra con orientazione antiappenninica analoga alle faglie normali dirette che hanno generato il sollevamento dell'arcipelago.

All'interno delle aree, inoltre, sono stati cartografati alcuni settori di estensione limitata associabili ad accumuli derivanti dalla degradazione del substrato e mobilizzati dall'azione eolica, depositi lungo gli impluvi che si indirizzano alle cale e sulle superfici sommitali come già descritti, ubicati in settori circoscritti ai margini della linea di costa ed in corrispondenza dei settori elevati.

A ciò si aggiunga che le informazioni desunte dalle indagini puntuali e lineari pregresse, sono risultate concordanti con quanto osservabile sul campo, fornendo informazioni valide alla ricostruzione dell'assetto litostratigrafico ed agli spessori associabili alle unità cartografate.

La nuova carta geologica e geomorfologica presenta numerosi punti di misura delle giaciture nei livelli litoidi delle formazioni rappresentative affioranti che, abbinati ad alcune misure di strato già riportate nel foglio della Carta Geologica d'Italia (Selli et al., 1971) in cui sono incluse le aree di studio, hanno permesso una ricostruzione attendibile dell'assetto strutturale e dei rapporti geometrici tra le formazioni che rappresentano il substrato geologico.

#### *3.4.2 Nuove sezioni geologiche*

Per la rappresentazione bidimensionale, la definizione dei rapporti tra i litotipi ed i relativi spessori, sono state realizzate cinque sezioni geologiche schematiche (due per San Domino, tre per San Nicola), che evidenziano l'assetto geostrutturale ed i rapporti stratigrafici presenti nella carta geologica e geomorfologica delle due isole: (San Domino), la prima della lunghezza di 2.230 metri ed orientazione SO-NE, il cui transetto intercetta le formazioni che rappresentano il substrato, dal settore di costa prossimo al Faro di San Domino alla darsena in località Toppa del Caino, circa longitudinale all'interfluvio dell'isola e con le quote altimetriche minori nei settori estremi prossimi alla costa e maggiori in corrispondenza dell'alto topografico di Toppo del Romito (Sezione A-A'); la seconda della lunghezza di 1.095 metri ed orientazione NO-SE, si estende in direzione trasversale al bando crinale dell'isola, gli estremi sono definiti dallo scoglio di "Punta del Vùcolo" a NO all'insenatura di "Cala del Pigno" a SE ed intercetta il centro abitato in località "Case Sparse" (sezione B-B'); (San Nicola), la terza della lunghezza di 1.588 metri ed orientazione SO-NE, attraversa in senso longitudinale l'isola per la sua interezza, in cui gli estremi sono definiti dal molo di San Nicola a SO, nel settore mediale dalla "Torre del Cavaliere di San Nicolò" e da "Punta del Cimitero" a NE, intercetta nell'ordine il gradone morfologico, l'area storico-monumentale, la superficie sommitale dell'isola, la falesia a nord dell'isola (Sezione C-C'); la quarta e la quinta con rispettive lunghezze di 253 metri e 187 metri ed analoga orientazione con senso NNO-SSE, si estendono entrambe lungo i settori a minore lunghezza dell'isola ed intercettano il piccolo centro abitato e l'area storico-monumentale del complesso benedettino (sezione D-D', E-E').

L'orientazione dei transetti delle cinque sezioni geologiche, è stata individuata in seguito ad indicatori significativi quali la morfologia del rilievo, l'andamento dei limiti litostratigrafici delle sequenze, la presenza delle strutture tettoniche, l'ubicazione dei sondaggi geognostici e delle aree urbanizzate, in modo da intersecare in senso ortogonale e parallelo gli elementi anzidetti, al fine



di una restituzione più verosimile dei rapporti geometrici e degli spessori tra i litotipi, conforme alla definizione del modello litostratigrafico.

Nelle sezioni sono riportate le geometrie dei corpi geologici; gli spessori associati ai litotipi sono stati desunti sia dall'osservazione dei caratteri morfologici in sito che dai logs stratigrafici dei sondaggi geognostici esaminati, nonché dalle misure di rumore ambientale (HVSr), effettuate in settori rappresentativi delle formazioni sub-affioranti nei siti osservati.

Inoltre, dove rinvenuti, sono riportati i terreni di copertura cartografabili con i relativi spessori dedotti dai logs stratigrafici ed in affioramento, rappresentati dai depositi continentali quaternari, da alcune esigue aree con materiale derivante dai riporti antropici e dalle coltri di frana dei livelli mobilizzati per effetto della varietà litologico-strutturale e di degradazione dei termini superficiali delle formazioni rappresentative.

Di seguito si riporta una breve descrizione delle cinque sezioni (A-A', B-B', C-C', D-D', E-E'), i cui assi attraversano le aree di perimetrazione che coincidono con i contorni delle due isole secondo le orientazioni anzidette, intercettando i contatti litostratigrafici e tettonici delle formazioni cartografate e le aree urbanizzate di San Domino e San Nicola.

La sezione A-A' è orientata secondo la direzione SO-NE ed impostata per tutta la sua estensione in senso circa longitudinale all'asse dell'interfluvio sul quale si sviluppa l'isola.

La sezione espone per la totalità del profilo le formazioni intermedie cartografate dell'intera sequenza geologica, afferenti alle unità cenozoiche del Paleogene e del Neogene per contatto trasgressivo ed evidenzia un assetto che, dal settore sud-occidentale a quello nord-orientale, è costituito da: una terminazione di anticlinale a vergenza antiappenninica in corrispondenza della falesia dell'"Appico"; una cospicua faglia all'incirca E-O passante per "l'Architello"; un contatto tettonico per una presunta faglia inversa a basso angolo; un contatto tettonico per una faglia bordiera lungo l'alta falesia di "Cala del Diamante" fino alla località di "Toppa del Caino".

Il profilo della sezione B-B', orientato secondo la direzione NO-SE, è trasversale alla blanda dorsale sul quale è ubicato il centro abitato di San Domino, evidenzia la monoclinale immergente verso S-E, il contatto stratigrafico per trasgressione delle formazioni geologiche rappresentative rinvenute sull'isola e l'entità degli spessori relativi ai litotipi del paleogene e del neogene.

In successione intercetta la porzione terminale in prossimità della linea di costa verso la "Punta del Vùccolo", il centro abitato in località "Case Sparse", il settore in declivio del versante in località "Piana Grande" e il settore terminale della scogliera a SE in località "Cala del Pigno".

Espone la litofacies marnoso-arenacea della Formazione del Cretaccio che assume spessori esigui in corrispondenza dell'interfluvio nell'alto morfologico di Toppo del Romito ed in contatto trasgressivo con i calcari dolomitici e le calcareniti della Formazione di San Domino.

La sezione C-C' con orientazione SO-NE è impostata in senso longitudinale al lato lungo dell'isola ed intercetta il molo di San Nicola a SO, l'area storico-monumentale in prossimità della "Torre del Cavaliere di San Nicolò" e la superficie sommitale dell'isola fino alla località nell'estremo nord di "Punta del Cimitero".

Il profilo longitudinale del transetto evidenzia indizi morfologici condizionati dal controllo tettonico, con l'intersezione di due sistemi di faglie principali con direzioni N50°O e ONO-ESE con i piani di faglia subverticali o immergenti verso NE ed inclinazione fino a 45°.

Le lineazioni tettoniche suddividono in blocchi le formazioni, con spostamenti lungo il piano orizzontale e con entità dei rigetti verticali a luoghi significativi (faglia trascorrente sinistra tra il complesso monumetale ed il porto di circa 25 metri con direzione NO-SE), altro sistema di fratture di origine tettonica, in numero limitato, ha direzione N-S.

All'estremità settentrionale dell'isola, nella zona del cimitero, si intercettano due lineazioni tettoniche che hanno dislocato la Formazione di San Nicola con il ribaltamento dei blocchi verso S-W ed il rinvenimento della Formazione del Cretaccio sul costone in località "Marinella".

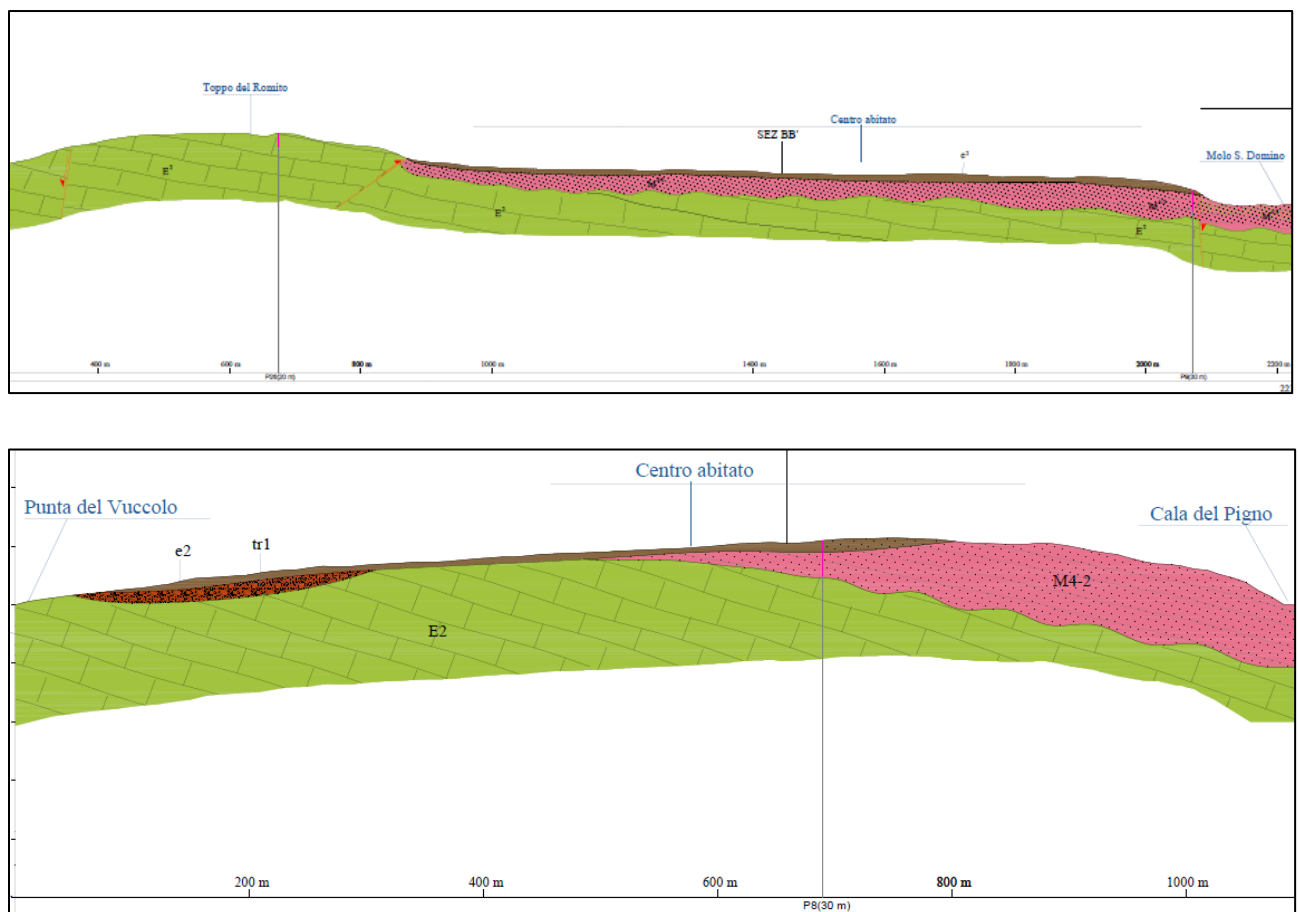
Le sezioni D-D' e E-E' si estendono con analoga orientazione SW-NE, entrambe sul settore a minore lunghezza dell'isola e mettono in evidenza: alcune lineazioni tettoniche secondarie che attraversano il piccolo centro abitato con spostamento lungo il piano e terminazioni in prossimità della scogliera "Antro di Diomede"; il contatto per discordanza angolare tra le formazioni del Cretaccio e di San Nicola con le rispettive litofacies che la costituiscono e gli spessori caratteristici.

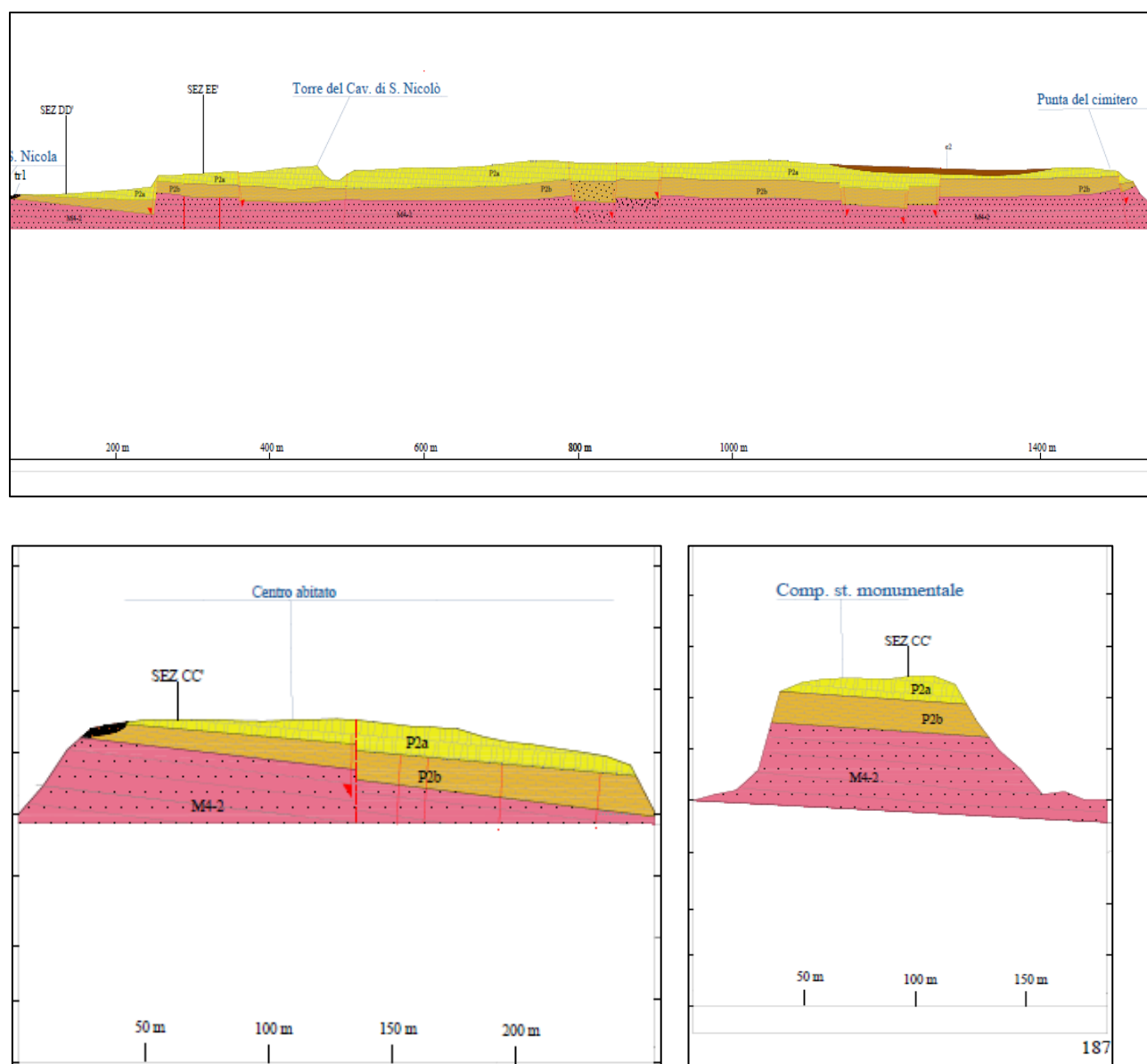
Le formazioni, come rappresentate, sembrano conservare gli aspetti geometrici e stratigrafici già descritti nei paragrafi 3.3 e 3.4, con gli spessori che sono stati ricostruiti sulla base delle

osservazioni in campagna, dalla valutazione dell'ubicazione degli affioramenti correlata alle quote altimetriche e dall'analisi dei log stratigrafici.

In dettaglio, nelle sezioni geologiche dell'isola di San Domino (A-A' e B-B'), la Formazione del Cretaccio ( $M^{4-2}$ ), rappresentata poggianti sulla Formazione di San Domino, tende a diminuire la potenza degli strati dal settore nord-orientale dell'isola, verso il culmine in corrispondenza dell'alto topografico in località "Toppo del Romito", con la presenza in continuità di affioramento sulla linea di costa del settore orientale ed obliterata dai depositi continentali verso il settore interno dell'isola.

In Figura 52 sono riportate le sezioni geologiche (A-A', B-B', C-C', D-D' e E-E') con gli elementi morfologici, stratigrafici e tettonici significativi, oltre ai toponimi rappresentativi i cui transetti intercettano le are di perimetrazione e quindi le isole di San Domino e San Nicola.





**Figura 52.** Stralci di sezioni geologiche A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' che intercettano il contorno coincidente con le aree di perimetrazione delle isole di San Domino e San Nicola (Arcipelago delle Isole Tremiti - FG).

### 3.4.3 Condizioni idrogeologiche locali

La mancanza di acqua sulle isole ha sempre costituito un problema, vista la natura delle rocce che le caratterizzano e la mancanza di sorgenti naturali. Le rocce che infatti dovrebbero avere la funzione di acquifero sono rappresentate principalmente da dolomie e da calcari dolomitici, altamente permeabili per carsismo e/o per fessurazione.

Le acque meteoriche dunque permeano rapidamente e, non incontrando un substrato impermeabile, si immettono nella falda salata.

Per questo, già in antichità, è stato realizzato un sistema di raccolta e conservazione delle acque piovane, unica risorsa idrica delle isole, che sono molto abbondanti nei periodi autunnali/ invernali e assenti durante l'estate.

È testimonianza di ciò la presenza di vasche di raccolta dell'acqua piovana scavate nei blocchi compatti calcarei per evitare la dispersione attraverso le crepe, e chiuse per proteggere la risorsa dal sole e dalla contaminazione.

Ne sono esempio sull'isola di San Nicola la "Vasca di San Nicola" e sull'isola di San Domino la vasca detta "Cisterna Benedettina" in località "Rondinelle" nel libro *Le Isole Tremiti* di Delli Muti (1961), di pianta quadrangolare che permetteva di incanalare l'acqua piovana verso una grande cisterna sotterranea, dove si sarebbe conservata più a lungo o la cisterna detta "della meridiana", un pozzo ottagonale di 17 metri situato all'interno del complesso monastico.

Allo stato attuale l'approvvigionamento idrico delle isole è assicurato da una motonave cisterna che periodicamente, attraverso pompe idrauliche, trasferisce la risorsa acqua a dei serbatoi allocati in vari punti delle due isole: San Domino in località "Rondinelle"; San Nicola in località "La Vasca" (Figura 53).

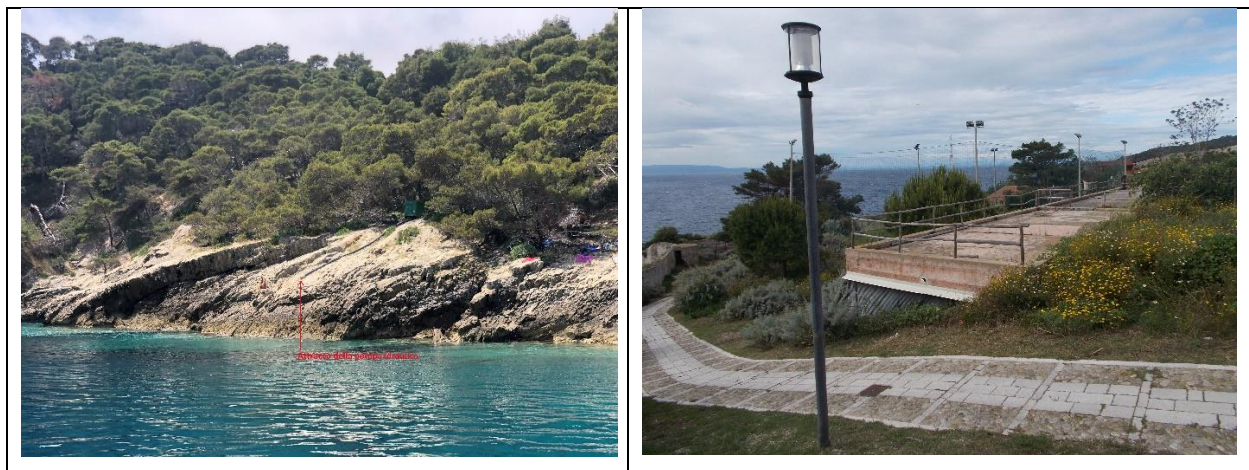


Figura 53. a) attracco della motonave alla pompa idraulica sulla battigia in località "Cala Spido" sull'isola di San Domino; b) cisterna per lo stoccaggio della risorsa acqua in località "La Vasca" sull'isola di San Nicola.

### 3.5 Elementi tettonici

Dalla consultazione del catalogo ITHACA – Catalogo delle Faglie Capaci ISPRA-Dipartimento del Servizio Geologico d'Italia (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/>), si evince che tutta l'estensione

dell'area demaniale e di perimetrazione del comune di isole Tremiti non è interessata da nessuna faglia attiva e capace (Figura 54).



**Figura 54.** stralcio estratto dal catalogo ITHACA delle Faglie Attive e Capaci; (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/ suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>).

Inoltre, nelle fasi di rilevamento geologico-tecnico in sito afferenti alle attività di studio per la Microzonazione Sismica di Livello 1, non sono state osservate evidenze di recente attività riconducibili alla possibile presenza di faglie attivi e capaci.

### ***3.6 Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale***

Le isole di San Domino e San Nicola, parte dell'Arcipelago delle isole Tremiti, poggiano su un settore di placca Adriatica che è compreso tra il sistema appenninico e quello dinarico e costituiscono lembi isolati della Piattaforma Apula, situati a Nord del Promontorio del Gargano.

Le porzioni di territorio emerso che rappresentano l'arcipelago, allungate in direzione NE-SO, a partire dal Pleistocene medio, sono il risultato del sollevamento dell'Avanpaese Apulo e la Fossa Bradanica (0,5 mm/anno), con l'azione dello svincolo strutturale di due settori (Avanpaese centro-adriatico e Avampaese appenninico) attraverso la "faglia trascorrente delle Tremiti", sviluppantesi in direzione antiappenninica dalla Valle del Fiume Fortore, in un'area in cui ricadono le isole.

Le Isole Tremiti si possono definire come una monoclinale immergente verso SE (10°-20° in media), complicata da sistemi di pieghe e faglie per tettonica transpressiva che hanno generato una maglia di faglie trascorrenti di tipo stress compressivo.

Contemporaneamente alla sedimentazione della base dell'unità miocenica (Formazione del Cretacchio) si sviluppò una fase tettonica distensiva, con faglie maestre disposte circa E-O e faglie secondarie orientate NNE-SSO, il rigetto di queste strutture, sempre modesto, venne poi accentuato a causa della compattazione differenziale delle marne del Miocene medio superiore.

La definizione delle condizioni morfologiche, strutturali e dell'architettura stratigrafica locale è finalizzata alla descrizione dei fattori che contribuiscono e condizionano fortemente l'aspetto morfologico dell'area in esame.

Le successioni affioranti nelle isole, sono costituite da una sequenza discontinua di sedimenti marini carbonatici, con depositi continentali in discordanza angolare, che obliterano parzialmente il substrato e colmano le numerose cale ed insenature sulla linea di costa.

Il territorio è caratterizzato da una morfologia collinare, con caratteristiche connesse sia agli eventi tettonici che nel Pliocene (inferiore e medio) hanno interessato tutto l'Appennino meridionale, sia a diversi tipi di processi geomorfologici continentali, marini, fluviali e carsici.

L'orientamento delle isole, evidenzia una spiccata direzionalità, infatti gli assi degli interfluvi, si impostano secondo direttrici orientate NE-SO a decorso antiappenninico.

Le direzioni degli assi di impluvio sono orientate in senso trasversale ai lineamenti tettonici presenti nel contesto geologico locale e su scala più ampia nell'area periadriatica; le stesse direzioni, pari al differente comportamento reologico dei litotipi governano i maggiori dissesti, visibili dalla tipologia dei corpi franosi nel catalogo IFFI e nella documentazione del PAI.

I numerosi studi condotti nell'area, hanno evidenziato che la morfologia superficiale dell'arcipelago, risulta condizionata dal locale assetto stratigrafico e strutturale dei termini litologici affioranti e dalla recente evoluzione geologico-strutturale dell'area, connessa al sollevamento dell'Avanpaese Apulo che ha generato questo lembo di terre emerse nell'Adriatico.



Inoltre, le forme morfologiche in superficie sono mascherate da elementi tettonici e del paesaggio cartografati quali: una blanda struttura plicativa anticlinale orientata all'incirca NE-SO con vertice in mare a SO dell'isola di San Domino; una direttrice tettonica secondaria in corrispondenza dell'alta falesia di "Cala del Diamante" con la presenza dei faraglioni "I Pagliai"; le insenature con asse principale orientato secondo le direttrici tettoniche secondarie NO-SE, a pianta subcircolare allungate circa NO-SE lungo una grossa frattura (Cala Tramontana, Cala Tamariello); la faglia trascorrente con direzione NO-SE con importante rigetto tra il porto e l'area monumentale di San Nicola; le due faglie normali associate a dinamica di versante in località "Punta del Cimitero"; la stratificazione dei depositi continentali rinvenuti, come indizio di abbassamento del livello di base e aumento della denudazione del rilievo.

Nell'area in prossimità dei due settori, come indicato nel paragrafo 3.3 (successioni stratigrafiche di letteratura), le isole oggetto di rilevamento sono rappresentate dall'Unità Cenozoico-Terziarie costituite in parte dall'intervallo basale ed intermedio della Formazione del Bue Marino, della Formazione di Caprara e della Formazione di San Domino (Unità del Paeogene).

Le prime affioranti in esigue porzioni di falesia, l'ultima costituisce l'ossatura dell'arcipelago ed in contatto trasgressivo con la Formazione del Cretaccio sulla quale poggia sempre in contatto trasgressivo la Formazione di San Nicola, entrambe dell'intervallo intermedio e sommitale della sequenza stratigrafica.

Inoltre alcuni settori di discreta estensione, sulle superfici sommitali ed alla base delle numerose cale ed insenature, sono occupati dai depositi continentali di copertura eolici e detritici torrentizi, in contatto per discordanza angolare sulle formazioni sub-affioranti di San Domino, del Cretaccio e di San Nicola (Figura 55).

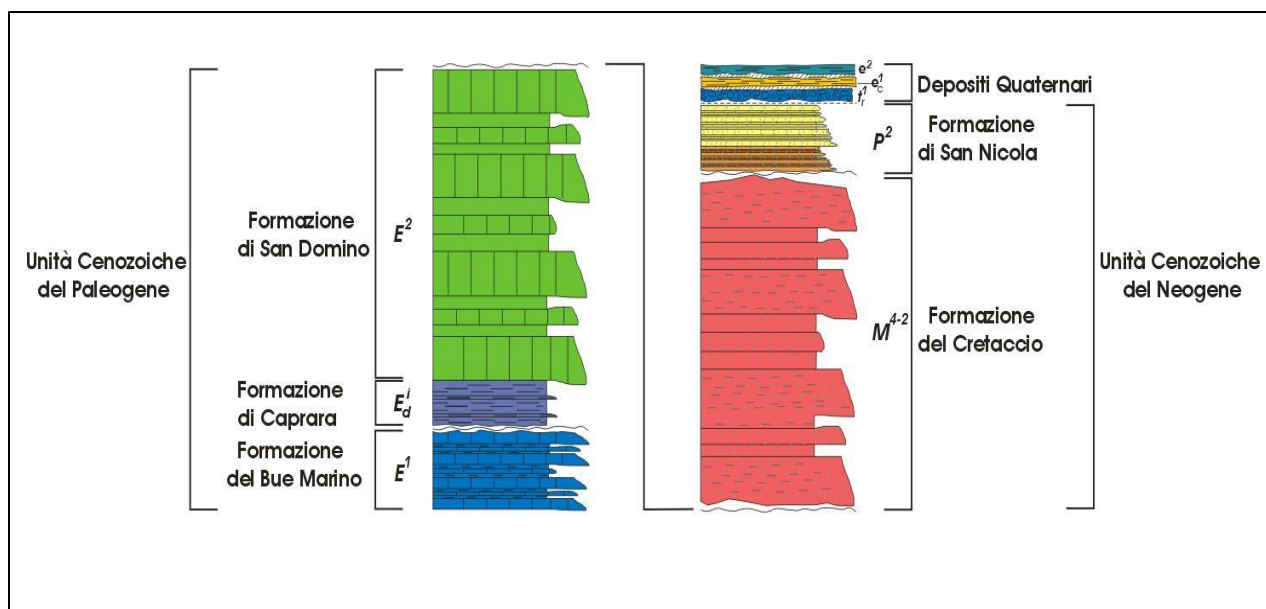


Figura 55. modello stratigrafico-strutturale schematico delle formazioni rinvenute nell'area di perimetrazione.

## 4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

### 4.1 Dati geotecnici pregressi

La prima attività propedeutica allo studio di I livello di Microzonazione Sismica ha riguardato l'acquisizione puntuale di tutto il materiale documentale inerente a progetti pregressi eseguiti sul territorio comunale, con specifico riguardo all'area di studio. Le fonti bibliografiche sono state principalmente gli archivi, sia fisici che digitali, degli Enti Attuatori e/o beneficianti delle opere oggetto di progettazione (Comune, Provincia, Regione). All'interno delle relazioni geologiche e geotecniche dei progetti acquisiti, nel presente lavoro sono state considerate soltanto quelle prove geotecniche di laboratorio i cui certificati di prova fossero regolarmente allegati al progetto, così da poter valutare l'affidabilità dei risultati. In Tabella 1, si riportano sinteticamente le tipologie di prove acquisite per ciascun campione, con sondaggio di appartenenza (secondo la nomenclatura degli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2) e profondità di riferimento del campione in sito.

**Tabella 1. Sintesi delle tipologie di prove geotecniche di laboratorio acquisite presso gli Enti, con indicazione del sondaggio di provenienza e della profondità di riferimento in sito, su campioni prelevati all'interno dell'area di studio. In tabella: "STAT" parametri di stato; "LIM" limiti di Atterberg; "GRAN" analisi granulometrica; "TD" prova di taglio diretto; "TRX-CU" prova triassiale consolidata-non drenata; "EDM" prova edometrica; "ELL" prova di Espansione Laterale Libera.**

Sondaggio - ID CAMPIONE	Prof. (m da p.c.)	STAT	LIM	GRAN	TD	TRX_CU	EDM	ELL
071026P21 - C1	2.25	X	X	X	X		X	
071026P6 - C2	13.75							X
071026P7 - C1	11.75	X	X	X	X			
071026P7 - C2	17.8	X	X	X		X		
071026P8 - C1	2.75	X	X	X	X			
071026P8 - C2	9.8	X	X	X	X			
071026P8 - C3	11.65	X	X	X	X			
071026P8 - C4	20.25	X	X	X		X		
071026P9 - C1	25.35	X		X				
071026P9 - C2	26.15	X		X	X			
071026P10 - C1	2.25	X	X	X	X			
071026P10 - C2	8.75	X	X	X	X			
071026P10 - C3	12.75	X	X	X	X			
071026P10 - C4	17.75	X	X	X		X		
071026P11 - C1	12.75	X		X	X			
071026P12 - C1	13.2	X		X	X			
071026P63 - 1A	6	X	X	X	X		X	X

071026P64 - 2B	14.15	X	X	X	X		X	X
071026P66 - 4A	8.5	X	X	X	X		X	X
071026P67 - 6A	2	X		X	X		X	
071026P68 - 7A	4.2	X	X	X	X		X	X

Come si evince, nella costruzione del modello geologico-tecnico, per gli aspetti legati alle caratteristiche fisiche e meccaniche delle unità litotecniche coinvolte, si è fatto riferimento a 21 campioni indisturbati testati in laboratorio, prelevati da 13 sondaggi interni all'area di studio, ubicati come nell'elaborato "Carta delle Indagini".

Riguardo alle prove geotecniche di sito, tra cui si annoverano principalmente le prove penetrometriche dinamiche (SPT), queste sono state considerate per discriminare passaggi stratigrafici laddove si sono riscontrati valori significativamente diversi di numero di colpi  $N_{SPT}$  in successione lungo lo stesso sondaggio. Come si dirà più dettagliatamente nel Capitolo 5, le unità geologico-tecniche rinvenute nell'area di studio sono a composizione prevalentemente argillosa/limosa, tale da rendere una prova dinamica, quale la SPT, di difficile interpretazione ed attendibilità a seguito del comportamento non drenato che insorge nel terreno penetrato dalla punta. Per tale motivo, per la definizione delle caratteristiche meccaniche dei litotipi coinvolti, sono stati privilegiati i risultati di prove di laboratorio su campioni all'interno del perimetro oggetto di studio o da accreditata letteratura scientifica.

#### ***4.2 Rilievi geomeccanici e geostrutturali pregressi***

Negli ultimi decenni, le isole di San Domino e San Nicola sono state oggetto di numerose campagne di rilevamento geostrutturale, volte a caratterizzare i processi demolitori delle coste a causa di processi erosivi, eolici e marini.

A tale scopo, nel 1996 Andriani & Guerricchio presentarono i risultati di uno studio geologico-tecnico condotto su alcuni campioni appartenenti alle formazioni del Cretaccio e di San Nicola, prelevati nell'isola di San Nicola. I risultati delle analisi fisiche eseguite sui provini testati in laboratorio sono riportati in Tabella 2. Nella medesima campagna di rilevamento, sono state valutate le caratteristiche meccaniche dei litotipi oggetto di studio attraverso il metodo del "Point Load Test" interpretate secondo le direttive dell'ISRM (1985). Per ciascun campione, in Tabella 3 si riportano i valori di resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_c$  desunti dalla media di 20 provini schiacciati.

**Tabella 2. Valori medi dei parametri fisici determinati sperimentalmente in laboratorio: “ $\gamma_g$ ” peso specifico reale; “ $\gamma_d$ ” peso di volume secco; “ $\gamma$ ” peso di volume naturale; “W” contenuto d’acqua naturale; “n” porosità; “e” indice dei vuoti; “C” compattezza (Andriani & Guerricchio, 1996. Modificato).**

Cam- pione	Formazione geologica	$\gamma_g$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	n (%)	e (-)	C (-)	W (%)
P32	calcilutiti marnose della f. del Cretaccio	26.80	14.67	15.50	45.26	0.83	0.55	8.27
P37	calcilutiti della f. del Cre- taccio	27.00	22.24	22.63	17.63	0.21	0.82	2.44
Q37	livelli calcarei della f. di San Nicola	27.20	25.53	25.62	6.14	0.07	0.94	0.49
R37	livelli calcarei della f. di San Nicola	27.00	25.31	25.38	6.26	0.07	0.94	0.40
S50	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	27.00	21.36	21.58	20.89	0.26	0.79	1.59
S36- 37	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	27.00	17.45	17.60	35.37	0.55	0.65	1.59
V36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	26.90	15.89	16.16	40.93	0.7	0.59	2.45
Z36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	27.00	20.09	20.32	25.59	0.35	0.74	1.62
$\alpha$ 36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	27.10	16.93	17.13	37.81	0.6	0.62	1.65
$\beta$ 36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	26.90	19.66	19.73	26.91	0.37	0.73	0.48
$\gamma$ 36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	27.00	20.14	20.30	25.40	0.34	0.75	1.15
$\pi$ 37	livelli calcarei della f. di San Nicola	27.10	24.49	24.58	9.63	0.11	0.90	0.52
W37	livelli calcarei della f. di San Nicola	27.00	23.16	23.22	14.22	0.17	0.86	0.37

**Tabella 3. Valori dell'indice di resistenza  $I_{r(50)}$  ("Point Load Test") e della resistenza a compressione uniassiale ( $\sigma_c = K \cdot I_{r(50)}$ ) (da Andriani & Guerricchio, 1996. Modificato).**

Campione	Formazione geologica	$I_{r(50)}$ (MPa)	$\sigma_c$ (K=24) (MPa)	$\sigma_c$ (K=22) (MPa)
P32	calcilutiti marnose della f. del Cretaccio	0.22	5.24	4.84
P37	calcilutiti della f. del Cretaccio	1.69	40.51	37.18
Q37	livelli calcarei della f. di San Nicola	4.77	114.54	104.94
R37	livelli calcarei della f. di San Nicola	7.69	184.53	169.18
S50	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	2.72	65.17	59.84
S36-37	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	1.46	35.00	32.12
V36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	1.21	29.09	26.62
Z36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	2.20	52.71	48.40
$\alpha$ 36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	0.078	18.72	17.16
$\beta$ 36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	2.48	59.49	54.56
$\gamma$ 36	calcareniti dolomitiche della f. di San Nicola	1.73	41.43	38.06
$\pi$ 37	livelli calcarei della f. di San Nicola	7.13	171.09	156.86
W37	livelli calcarei della f. di San Nicola	5.92	141.97	130.24

Nel 1998, Cotecchia e altri Autori presentarono i risultati di una campagna di sito finalizzata invece all'individuazione dei parametri di scabrezza e di resistenza meccanica delle pareti di fratture e della roccia intatta, individuate su alcuni tratti di costa dell'isola di San Nicola. Nello specifico, gli Autori hanno stimato la scabrezza delle fratture in termini di "Joint Roughness Coefficient" ("JRC"), mediante l'ausilio del profilometro di Barton su un numero statisticamente significativo di rilevamenti, nonché la resistenza meccanica delle pareti dei giunti in termini di Joint wall Compressive Strength ("JCS"), attraverso l'uso dello sclerometro per roccia (martello di Schmidt). Infine, è stato stimato l'angolo di attrito residuo delle discontinuità (" $f_r$ ") sulla base di correlazioni empiriche con il JCS.

I risultati di tali rilevamenti sono riportati in Tabella 4.

**Tabella 4. Valori medi dei parametri di scabrezza (JRC), resistenza meccanica (JCS) e angolo di attrito residuo ( $f_r$ ) delle discontinuità (Cotecchia et al., 1998. Modificato).**

Formazione geologica	JRC	JCS (MPa)	$f_r$ (°)
Discontinuità del calcare (f. di San Nicola)	16	52	26
Discontinuità della calcilutite (f. del Cretaccio)	5	24	24

Per quanto riguarda la roccia intatta, gli Autori hanno stimato le caratteristiche meccaniche dei litotipi rinvenuti mediante diverse prove di taglio in laboratorio. Se ne riportano i risultati in Tabella 5.

**Tabella 5. Valori dei parametri di resistenza a taglio: “ $\gamma$ ” peso specifico; “E” modulo di Young; “ $\nu$ ” modulo di Poisson; “ $\phi$ ” angolo di attrito; “c” coesione; “ $\sigma_t$ ” resistenza a trazione; “ $\sigma_c$ ” resistenza a compressione uniaxiale (Cotecchia et al., 1998. Modificato).**

Formazione geologica	$\gamma$ (Kg/mc)	E (MPa)	$\nu$ (-)	$\phi$ (°)	c (MPa)	$R_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
calcare (f. di San Nicola)	2300	5000	0.30	42	1.2	1.2	120
calcilutite (f. del Cretaccio)	1800	1500	0.35	28	0.5	0.2	44

Tra gli studi scientifici pregressi si annovera anche la pubblicazione di Andriani e altri Autori (2005), che riporta i risultati di 21 siti di rilevamento geostrutturale sulle coste delle isole di San Domino, San Nicola, Cretaccio e Caprara (Figura 56). Come si può evincere dalle proiezioni stereografiche, le isole rilevate sono connotate da strutture tettoniche prevalentemente di inclinazione sub verticale; sull’isola di San Nicola non è possibile individuarne una direzione prevalente, mentre sulle altre isole gli Autori evidenziano una direzione degli elementi prevalentemente E-W.



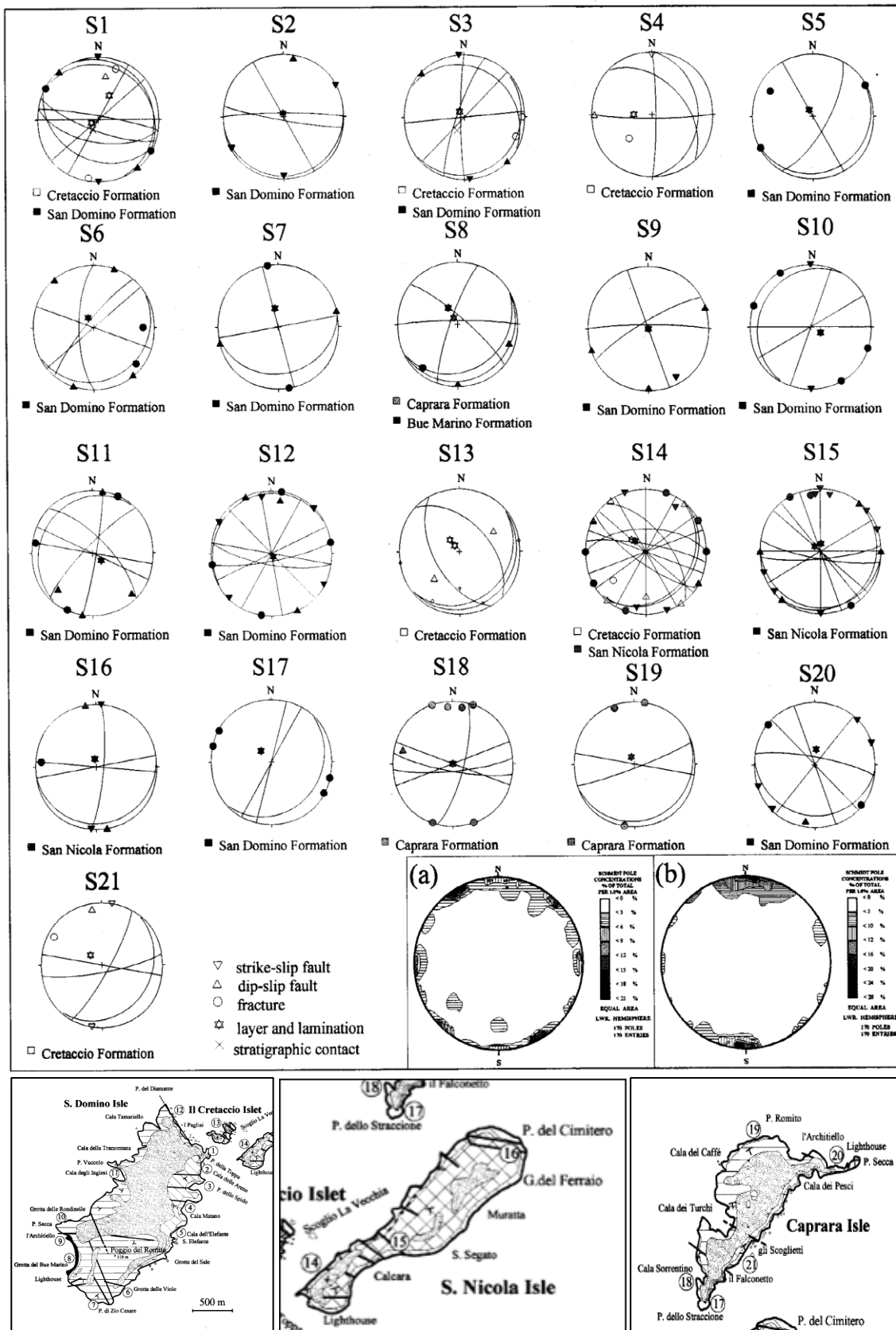
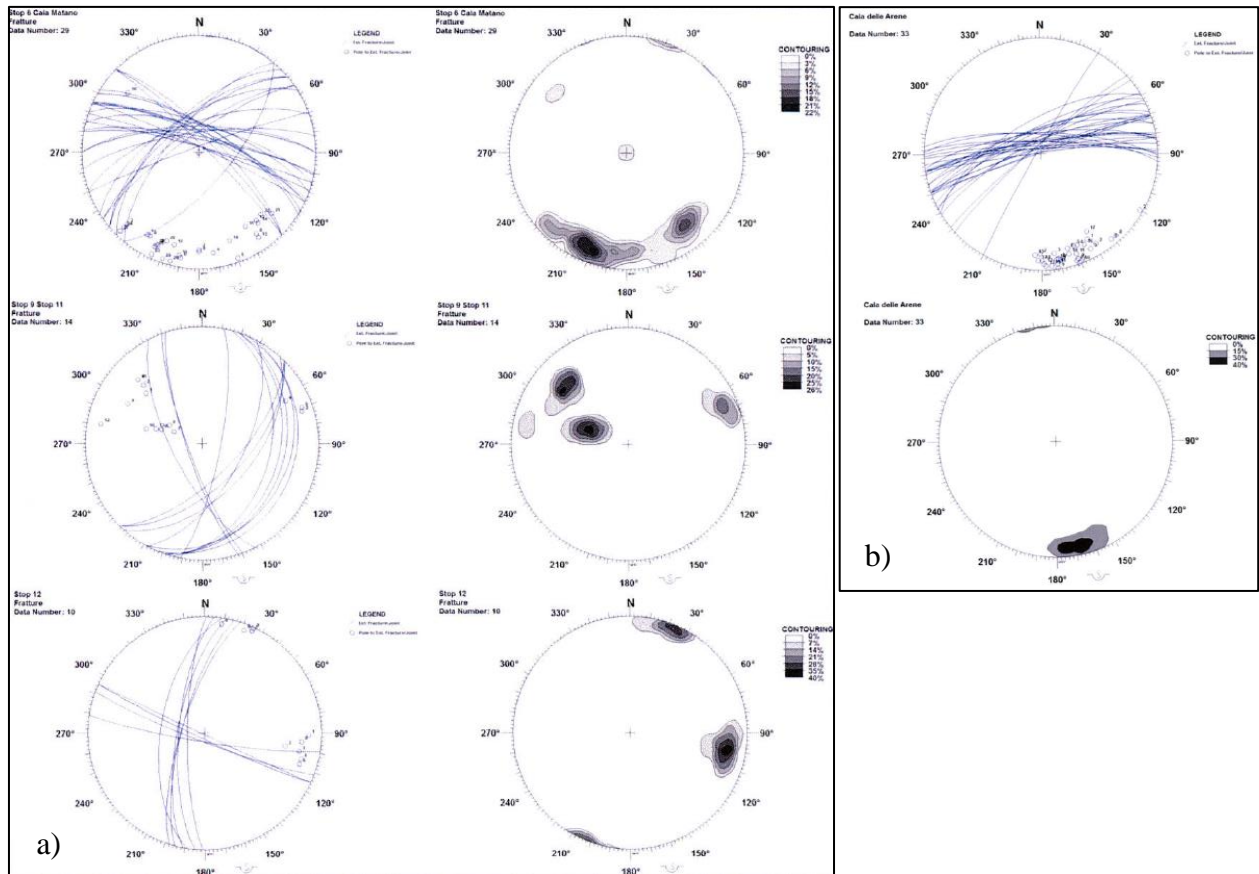


Figura 56. Proiezioni stereografiche equiareali dei principali elementi strutturali dell'area di studio, con indicazione dell'ubicazione dei siti di rilevamento (Andriani et al., 2005).

Infine, durante l'acquisizione documentale presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale, è stato rinvenuto uno studio geostrutturale (De Salvia, 2013) propedeutico alla mitigazione del rischio da crollo nei pressi di Cala Matana e Cala delle Arene, sull'isola di San Domino (siti 4 e 2 in Figura 56).



**Figura 57. Proiezioni stereografiche equiareali dei principali elementi strutturali di: a) Cala Matana e b) Cala delle Arene, ubicate rispettivamente come i siti 4 e 2 di Figura 56 (De Salvia, 2013).**

Come si evince da Figura 57a, all'interno di Cala Matana sono state distinte più famiglie di giunti, mentre all'interno di Cala delle Arene è stata individuata una sola famiglia di giunti, di direzione E-W, coerente con quanto indicato da Andriani et al. (2005).

I parametri giacitureali inerenti ai rilievi geostrutturali su menzionati, sono stati cartografati nella loro ubicazione indicativa all'interno della Carta delle Indagini e della Carta geologico-tecnica come "stazione geomeccanica", in accordo agli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2.

#### 4.3 Dati geofisici pregressi

I dati geofisici pregressi eseguiti nell'area di interesse recuperati dalla letteratura sono i seguenti:

- n°2 prospezioni sismiche in foro tipo Down-Hole (071026P7 e 071026P9);
- n°2 prospezioni sismiche tipo MASW (071026L5 e 071026L6);
- n°25 prospezioni sismiche in onde P (da 071026L1 a 071026L4 e da 071026L6 a 071026L23);
- n°8 prove di rumore a stazione singola HVSR (da 071026P13 a 071026P20), eseguite per

un precedente lavoro di microzonazione sismica.

Ai fini del presente studio, per l'attribuzione delle velocità  $V_s$  di propagazione delle onde S sono stati considerati i dati sismici delle sole prove DH; le sismiche tipo MASW risultano poco affidabili, mentre le prove a rifrazione in onde P sono state considerate (quando ritenute valide) solo per ulteriori informazioni di stratigrafia sismica delle litologie riconosciute.

Si è deciso di non tenere in considerazione le prove HVSR pregresse a causa di:

- differenti modalità di acquisizione del dato rispetto a quelle di nuova acquisizione eseguite dal Gruppo di Microzonazione Sismica dell'ASSET (si veda il paragrafo 4.3);
- assenza o incompletezza della documentazione tecnica a corredo dei risultati ottenuti.

Verrà comunque riportata più avanti una tabella di sintesi delle prove HVSR pregresse.

Di seguito si riporta una sintesi delle indagini, distinte per tipologia, con descrizione di quelle più significative, rimandando ai relativi allegati per i dettagli sulle modalità esecutive e sulle procedure di elaborazione. I valori riportati sono quelli indicati negli studi di provenienza.

##### *Prove Down-Hole*

La Tabella 6 mostra la corrispondenza tra le prove DH pregresse e le unità geologiche su cui sono state eseguite, e indicazione della eventuale instabilità di versante presente in superficie (con riferimento alla legenda della Carta Geologica e Geomorfologica).

**Tabella 6. Sintesi delle prove DH.**

Prova	Profondità (m da p.c.)	Unità geologica/terreno di copertura
071026P7	30	$e^2$ su $M^{4-2}$ (in prossimità di instabilità di versante in superficie)
071026P9	30	$e^2$ su $M^{4-2}$ (con instabilità di versante in superficie)

Le due prove sono state eseguite nelle adiacenze di un orlo di scarpata morfologica, fino alla profondità di 30 m dal p.c. (Figura 58).

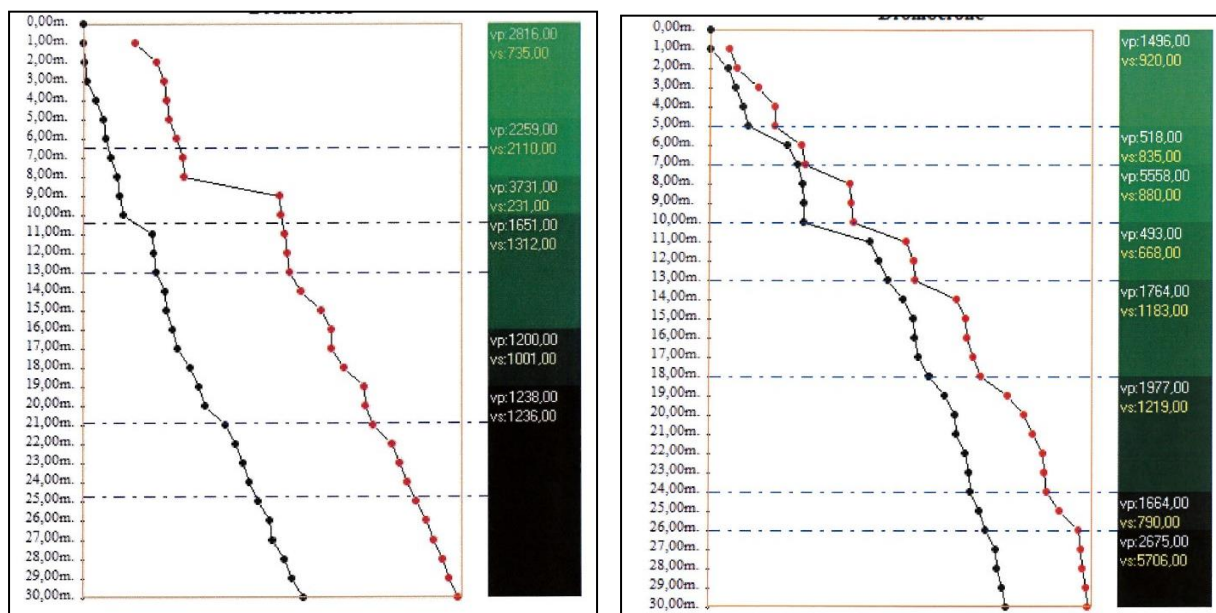


Figura 58. Dromocrone delle due prove DH eseguite (071026P7, a sinistra, e 071026P9). In rosso i profili Vs.

Entrambe le prove, eseguite al limite della copertura  $e^2$ , sono fornite senza indicazione dei tempi; le velocità indicate di seguito sono riportate come nella relazione dell'autore, ma sono da considerarsi a bassa affidabilità.

La prova 071026P7 è stata eseguita in prossimità di una struttura alberghiera, sul versante ovest di Cala Matana. Essa mostra un profilo di velocità  $V_s=735-2110$  m/s nei livelli più superficiali (primi 8 m circa), per i successivi 5 m circa  $V_s$  è compresa tra 230 m/s e 1300 m/s, mentre per gli ultimi 15 m circa  $V_s$  si mantiene intorno a 1200 m/s.

La prova 071026P9 è stata eseguita nella parte alta del versante ovest di Cala delle Arene. Il profilo di velocità ( $V_s=668-5706$  m/s) è di difficile interpretazione, considerando la vicinanza con la prova 071026P7 (i profili sono piuttosto diversi) e i valori di velocità registrati.

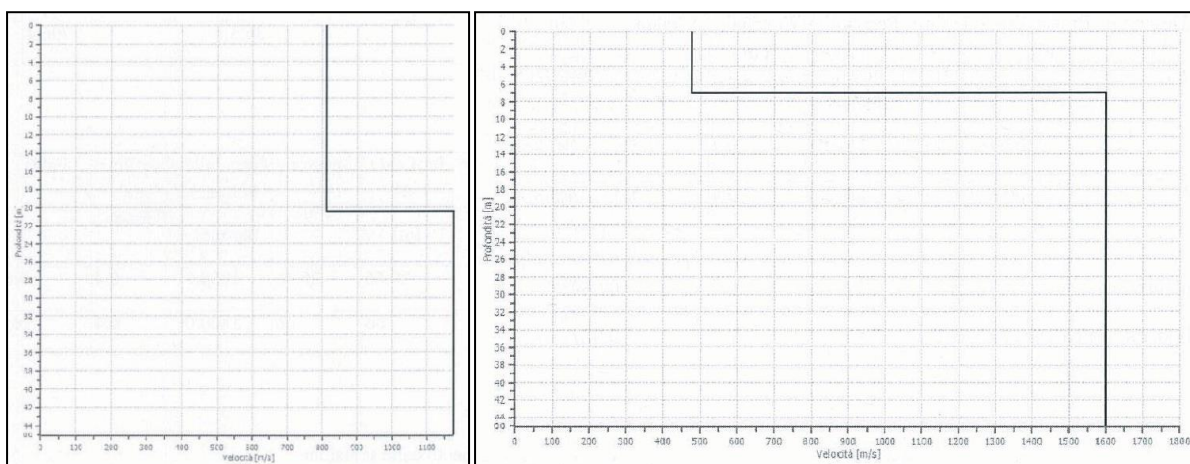
### Prove MASW

La Tabella 7 mostra la corrispondenza tra le prove MASW pregresse e le unità geologiche su cui sono state eseguite, e indicazione della eventuale instabilità di versante presente in superficie (con riferimento alla legenda della Carta Geologica e Geomorfologica).

**Tabella 7. Sintesi delle prove MASW.**

Prova	Profondità (m da p.c.)	Unità geologica/terreno di copertura
071026L5	>30	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup> (con instabilità di versante in superficie)
071026L6	>30	ec <sup>1</sup> su M <sup>4-2</sup>

Le due prove (Figura 59) sono state eseguite lungo le due strade di accesso alla marina, sede di attracco e ormeggio di navi-traghetto e imbarcazioni locali.



**Figura 59. Risultati delle due prove MASW eseguite (071026L5, a sinistra, e 071026L6).**

Entrambe mostrano valori elevati di Vs oltre la profondità di 7-20 m ( $V_s=1170-1600$  m/s), ma i dati e i certificati di prova disponibili sono poco chiari e l'attribuzione di tali velocità ai litotipi presenti (Formazione del Cretaccio) risulta incerta; questa considerazione vale anche per i livelli superficiali (primi 8-20 m di materiali di alterazione/esosione e/o in dissesto, Loess bruno e giallo-arancio), secondo l'autore delle prove caratterizzati da  $V_s=800-1600$  m/s.

#### *Prove a rifrazione in onde P.*

La Tabella 8 mostra la corrispondenza tra le prove sismiche a rifrazione pregresse e le unità geologiche su cui sono state eseguite, e indicazione della eventuale instabilità di versante presente in superficie (con riferimento alla legenda della Carta Geologica e Geomorfologica).

**Tabella 8. Sintesi delle prove sismiche a rifrazione in onde P.**



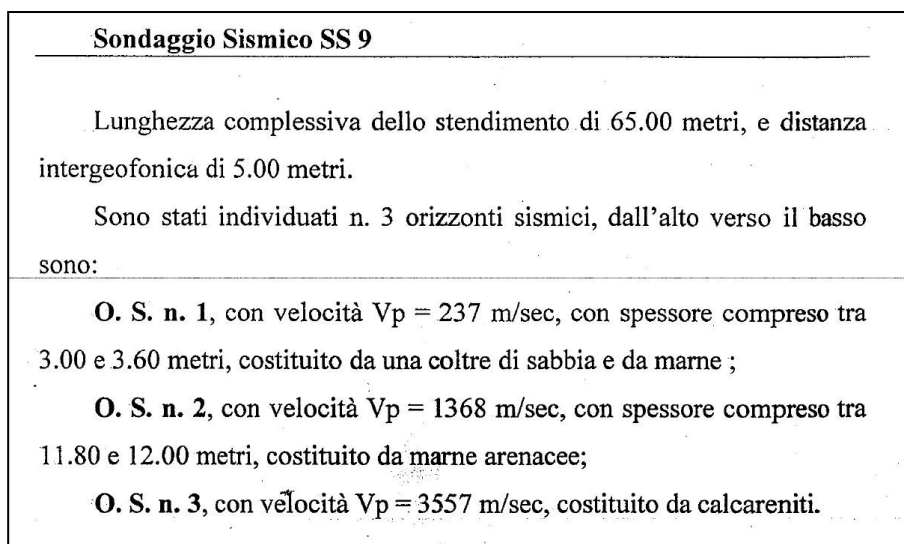
Prova	Profondità (m da p.c.)	Unità geologica/terreno di copertura
071026L1	12	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L2	25	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L3	15	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L4	15	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L6	6-10	ec <sup>1</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L7	n.d.	P <sup>2b</sup> (con instabilità di versante in superficie)
071026L8	n.d.	P <sup>2a</sup>
071026L9	n.d.	P <sup>2a</sup>
071026L10	circa 10	e <sup>2</sup> su E <sup>2</sup>
071026L11	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L12	circa 10	e <sup>2</sup> su E <sup>2</sup>
071026L13	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L14	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L15	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L16	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L17	Circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L18	circa 10	e <sup>2</sup> su E <sup>2</sup>
071026L19	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L20	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L21	circa 10	e <sup>2</sup> su E <sup>2</sup>
071026L22	circa 10	e <sup>2</sup> su M <sup>4-2</sup>
071026L23	circa 10	e <sup>2</sup> su E <sup>2</sup>

I risultati delle indagini da 071026L1 a 076026L4 sono forniti dagli autori solo in forma tabellare o descrittiva (Figura 60).

**A) PRIMO ORIZZONTE SISMOSTRATIGRAFICO A BASSISSIMA VELOCITÀ :** Strati con velocità comprese tra 220 ÷ 250 m/s. Si tratta in genere dei suoli superficiali costituiti da detriti di versante e/o terreno di riporto ghiaioso in matrice sabbiosa i quali non saranno presi in considerazione in quanto costituiscono i primi (1,00 ÷ 1,25 m ) i quali verranno puntualmente asportati e non soggetti a carichi.

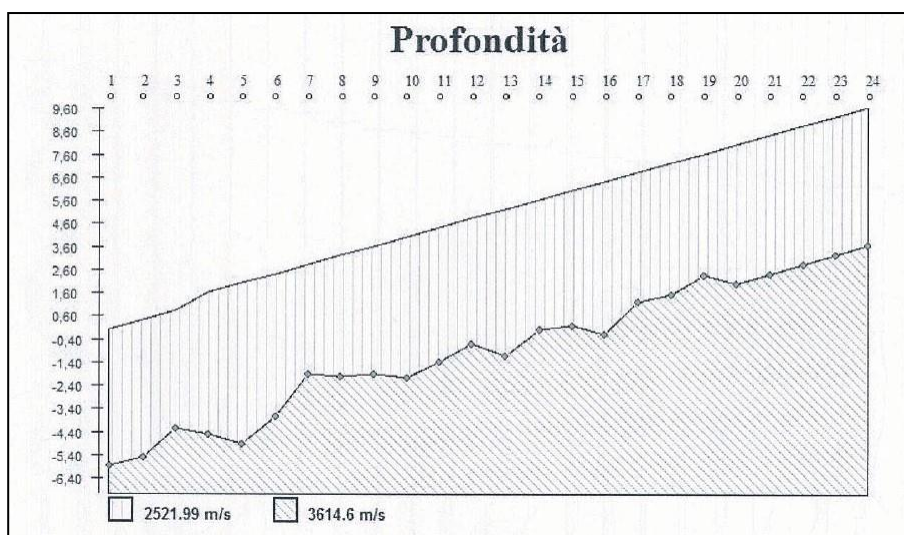
**B) SECONDO ORIZZONTE SISMOSTRATIGRAFICO A MEDIA VELOCITÀ:** Strati con velocità comprese tra 560 ÷ 640 m/s. In questo orizzonte, sono contemplati i terreni sino alla profondità di ca. 5 ÷ 5,50 m, identificati nella **formazione sabbiosa del "LOESS"** caratterizzata da arenarie rossicce ossidate con intercalati elementi carbonatici millimetrici "calcinelli" e livelli di spessore massimo di 2 mm di arenarie calcificate di colore biancastro (BadRock). Dal punto di vista geomeccanico , tali terreni sono caratterizzati da un medio grado di addensamento e da una medio buona parametrizzazione geotecnica.

**C) TERZO ORIZZONTE SISMOSTRATIGRAFICO A MEDIO ALTA VELOCITÀ:** Strati con velocità comprese tra 950 ÷ 1300 m/s. Questo orizzonte più profondo, sino a fondo investigazione sismica - 12,00 mt dal p.c., è caratterizzato dalla **formazione carbonatica di San Domino** costituita nella sua parte alta di calcari organogeni a Numuliti e da sabbie addensate. Il valore di RQD, calcolato tramite il rapporto delle onde Vp reali con le onde Vp di un calcare mediamente compatto, di questo orizzonte è di ca. il 20%.



**Figura 60. Profili di velocità  $V_p$  per le prove 071026L1 (in alto) e 071026L3.**

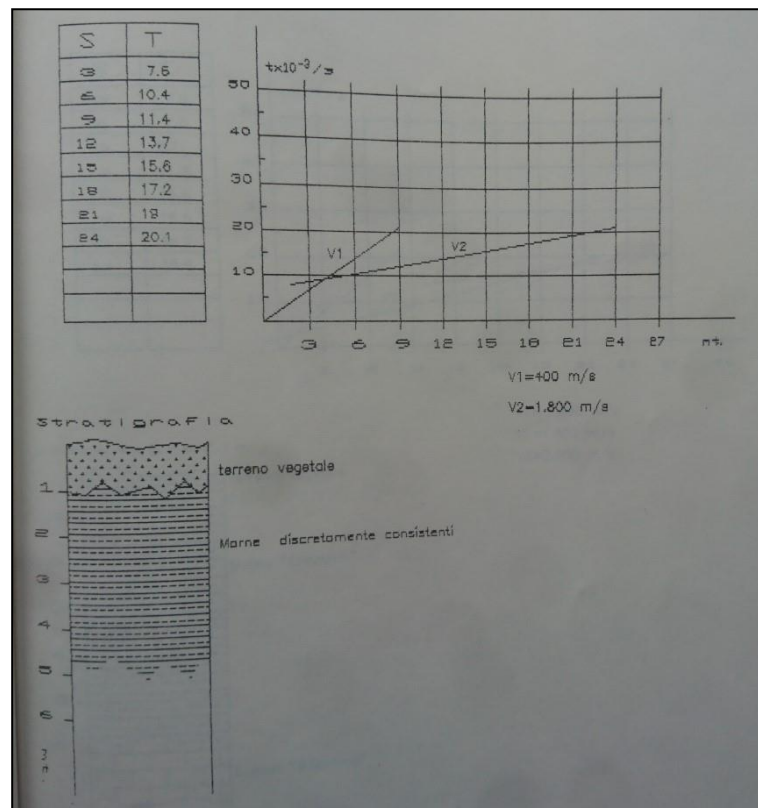
La prova 071026L6 (Figura 61), eseguita lungo una delle strade di accesso al porto dell'isola di San Domino distingue due sismostrati con velocità  $V_p=2500$  m/s e  $V_p=3600$  m/s, rispettivamente per il sismostrato più superficiale (spesso circa 5 m) e quello sottostante.



**Figura 61. Profilo di velocità  $V_p$  per la prova 071026L6.**

Le restanti prove a rifrazione, da 071026L7 a 071026L23, tutte eseguite sull'isola di San Domino, individuano da due a tre sismostrati. Il più superficiale, attribuito a terreno vegetale o a materiale lapideo alterato, ha spessore di circa 1 m e velocità  $V_p$  comprese tra 300 m/s e 450 m/s per il primo, tra 300 m/s e 400 m/s per il secondo. I sismostrati sottostanti sono attribuiti alla formazione

del Cretaccio ( $V_p=1300-1600$  m/s), alla formazione di San Domino ( $V_p=2400-2700$  m/s), a depositi sabbioso-argillosi ( $V_p=600$  m/s), depositi ghiaioso-sabbiosi ( $V_p=1000$  m/s), marne consolidate ( $V_p=1800$  m/s) e crosta calcarea ( $V_p=2100-2900$  m/s) in spessori variabili superiori a 2-3 m quando individuata la base). Le figure seguenti (da Figura 62 a Figura 65) mostrano alcuni dei risultati di tali indagini.



**Figura 62. Profilo di velocità  $V_p$  per la prova 071026L12 (zona depuratore).**

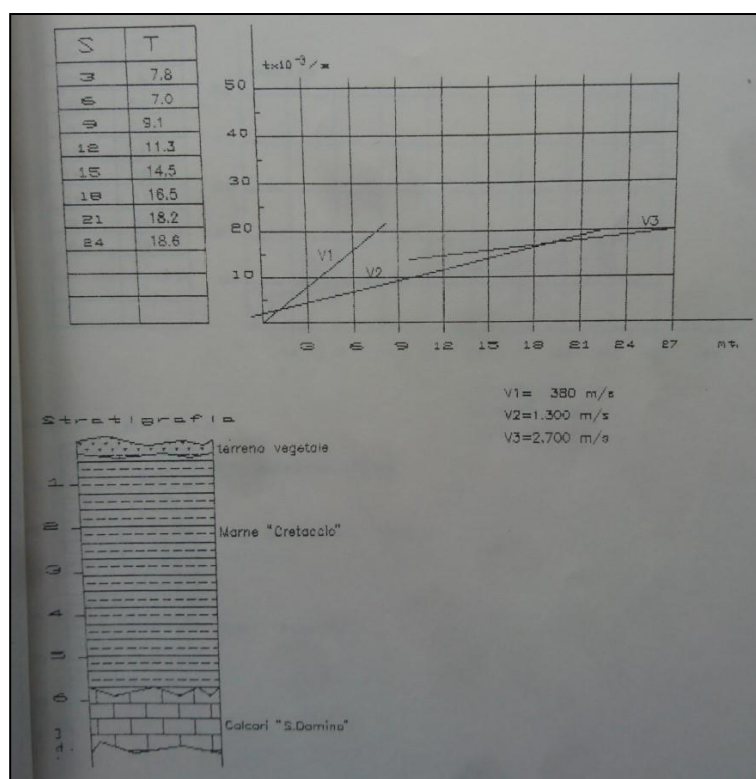


Figura 63. Profilo di velocità  $V_p$  per la prova 071026L13 (zona centrale dell'isola).

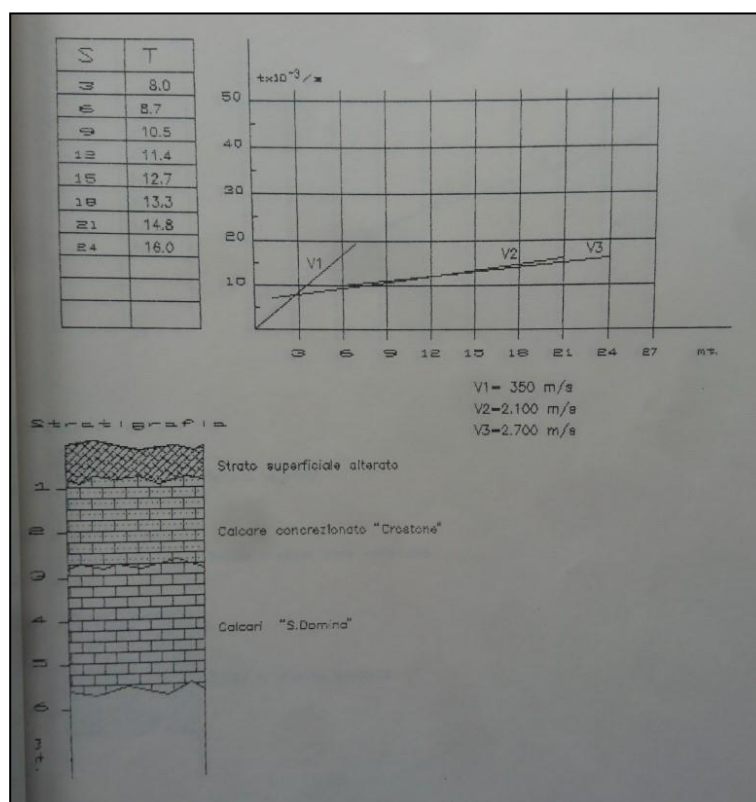


Figura 64. Profilo di velocità  $V_p$  per la prova 071026L14 (zona centrale dell'isola).

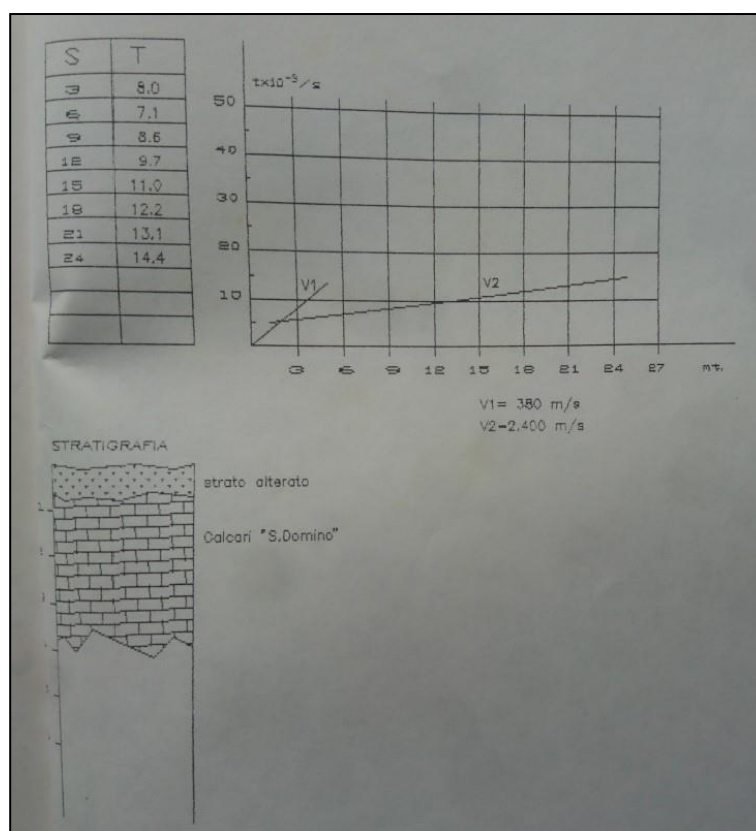


Figura 65. Profilo di velocità Vp per la prova 071026L14 (zona nord dell'isola).

### Prove HVSR pregresse

In un precedente studio di microzonazione sismica sono state eseguite n°8 misure di rumore a stazione singola HVSR, tutte ricadenti nell'area oggetto del presente studio (prove da 071026P13 a 071026P20). La loro ubicazione è riportata nella Carta delle Indagini, mentre la Tabella 9 ne mostra la sintesi dei risultati, come riportati nel relativo studio.

Tabella 9. Sintesi dei risultati delle misure di HVSR pregresse.

Prova HVSR	Unità geolog. /terr. di copert.	Freq. 1 (Hz)	Amp. 1	Freq. 2 (Hz)	Amp. 2
071026P13 (R01)	P <sup>2a</sup>	---	---	---	---
071026P14 (R02)	P <sup>2a</sup>	2.4	3.0	40.0	2.5
071026P15 (R03)	P <sup>2a</sup>	45.0	4.5	---	---
071026P16 (R04)	e <sup>2</sup> (con instabilità di versante in superficie)	1.0	3.0	25.0	5.0
071026P17 (R05)	e <sup>2</sup>	1.0	3.0	45.0	2.5
071026P18 (R06)	e <sup>2</sup>	1.0	3.0	30.0	2.0
071026P19 (R07)	e <sup>2</sup>	---	---	---	---
071026P20 (R08)	e <sup>2</sup>	60.0	2.5	---	---

Poiché tali prove non sono state eseguite con gli stessi criteri del presente studio, non è possibile confrontarne i risultati con quelli di nuova realizzazione, motivo per cui si è pensato di eseguirne di nuove nelle loro vicinanze (prove 071026P56, 071026P46, 071026P61, 071026P52, 071026P51 e 071026P53 in prossimità rispettivamente di 071026P13, 071026P14, 071026P16, 071026P17, 071026P19 e 071026P20).

#### ***4.4 Indagini geofisiche di nuova esecuzione***

Per le indagini geofisiche di nuova esecuzione è stata utilizzata la metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio; Nakamura, 1989), basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale (funzione H/V). Questo tipo di indagine mira all'individuazione dei possibili fenomeni di amplificazione del moto del suolo che si verificano quando la geologia superficiale è caratterizzata da forti contrasti di impedenza sismica. I valori di picco della funzione H/V individuano infatti le frequenze di risonanza dei terreni, mentre l'ampiezza dei picchi è proporzionale, anche se non linearmente, all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente all'interfaccia fra il basamento roccioso e la copertura sedimentaria. Dato che il rumore sismico è presente in ogni parte della superficie della terra, questo tipo di misura definita “passiva” risulta più efficace proprio laddove le tecniche “attive” (sia di superficie che in foro) sono fortemente penalizzate dalla presenza di un forte rumore ambientale (come in aree urbane caratterizzate da un intenso traffico veicolare), sebbene l'ipotesi di base del metodo consideri strati orizzontali omogenei e paralleli con forte contrasto di impedenza rispetto al basamento rigido.

Alle isole Tremiti sono state eseguite complessivamente 19 indagini di rumore ambientale a stazione singola HVSR.

Le misure eseguite sono state ubicate in relazione alla complessità dell'assetto geologico e geomorfologico e alla necessità di stimare la frequenza di risonanza per aree di emergenza, aree di ricovero, vie di fuga e aree a ridosso degli edifici strategici riportati nel piano di emergenza comunale.

Per caratterizzare le proprietà di risonanza delle diverse microzone individuate, su ognuna di esse sono state eseguite più misure, in modo da valutare, al loro interno, l'eventuale presenza di frequenze di risonanza significativamente diverse.



Le misure sono state effettuate, per quanto possibile, lontano da sorgenti artificiali di vibrazioni del suolo (mezzi meccanici in attività, circolazione veicolare su strade adiacenti, passaggio continuo di pedoni, ecc.).

Il sito di misura su cui posizionare il sensore impiegato (tromografo) è stato scelto in modo da mantenere una certa distanza anche da oggetti quali alberi, pali e edifici in modo da scongiurarne gli effetti sulle frequenze stimate dovuti alla loro presenza.

Per ogni sito si eseguono due registrazioni di rumore, ciascuna di 20 minuti per consentire la successiva analisi spettrale su 60 finestre della durata di 20 secondi ciascuna. I due punti di misura sono distanti circa 10 metri l'uno dall'altro e le due registrazioni hanno una minima sovrapposizione temporale; in base alla coerenza tra i risultati delle due misure, è possibile valutare la rappresentatività delle proprietà di risonanza del sito di misura.

Nel caso delle isole Tremiti, in uno dei punti selezionati per l'acquisizione (071026P48) non è stato possibile effettuare due registrazioni di rumore, pertanto è stata acquisita una registrazione da 30 minuti.

Lo strumento è stato sempre orientato con i due sensori orizzontali disposti verso il Nord e l'Est geografico ed è stata controllata l'orizzontalità della superficie di appoggio mediante centratura della bolla nella livella di cui è dotato lo strumento. A conclusione di ogni misura è stata ricontrollata la posizione della bolla in modo da essere sicuri che, nel corso della misura, non fossero intervenuti spostamenti anche minimi nella posizione dello strumento.

È stata utilizzata molta cura nel garantire un buon accoppiamento sensore-terreno eliminando il tratto erboso del terreno ed eseguendo piccoli scavi per ottenere una superficie di appoggio il più compatta e stabile possibile. Il parziale interrimento dello strumento ha garantito anche la protezione dello stesso da movimenti d'aria (forte vento) e dal contatto con steli d'erba e foglie. Per ogni misura eseguita è stato redatto un modulo di acquisizione dati nel quale sono state riportate tutte le informazioni relative al sito e alle condizioni ambientali di misura (ubicazione, caratteristiche, condizioni meteo, tipologia di terreno, eventuali potenziali fonti di disturbo nelle vicinanze).

Sono stati utilizzati due tromografi identici (Tromino Blu della Moho s.r.l.) in grado di operare nell'intervallo di frequenze comprese tra 0.1 e 1024 Hz, impostati sul medesimo programma di acquisizione (Frequenza di campionamento: 128 Hz; durata dell'acquisizione: 1200 sec;

lunghezza delle finestre: 20 sec). È stato registrato l'orario di inizio e fine dell'acquisizione e l'antenna GPS integrata nello strumento ha consentito la misurazione della posizione del punto di misura in coordinate geografiche WGS84 (con relativa qualità).

L'analisi dei dati è stata eseguita con il software Grilla v9.7.1. Il dettaglio dell'elaborazione e della relativa interpretazione sono riportati nel par.7.2.

In Tabella 10 sono schematizzati i valori riportati sulla Carta delle Frequenze in allegato (Fr, Ar). Si precisa che al fine di valutare la frequenza di picco da riportare in carta, è stato valutato il valore medio della frequenza (e della relativa ampiezza) qualora le analisi abbiano fornito risultati simili e l'ampiezza maggiore quando le misure elaborate siano risultate piuttosto differenti (Tabella 10).

**Tabella 10: Sintesi delle elaborazioni delle indagini HVSR con indicazione del codice identificativo riferito al relativo report (Codice), del nome della prova (Prova), della litologia in affioramento (Litologia), delle frequenze di picco rilevate (f0-f1-f2-f3-f4-f5-f6-f7) e della relativa ampiezza (A0-A1-A2-A3- A4-A5-A6-A7), con indicazione di quanto riportato nella Carta delle Frequenze (Fr, Ar).**

Codice	Prova	Litologia	f0	A0	f1	A1	f2	A2	f3	A3	f4	A4	f5	A5	f6	A6	f7	A7	Fr	Ar
071026P44	HV01-1	P2	0.90	3.10	1.10	3.50	11.50	1.90	15.20	2.40	19.90	2.50							1.1	3.3
	HV01-2		0.90	2.70	1.10	3.10	1.30	2.60	4.40	2.50										
071026P45	HV02-1	P2	0.40	5.40	0.80	3.30	1.10	3.60	2.70	2.00									1.1	2.9
	HV02-2		0.40	2.50	0.80	2.50	1.10	2.80												
071026P46	HV03-1	P2	0.90	2.60	1.70	3.00	2.40	2.50	3.00	3.00	3.80	2.70	5.10	2.50	6.10	3.10	7.60	2.40	1.6	3.1
	HV03-2		1.00	3.10	1.50	3.20	2.10	3.70	3.50	3.30	4.80	3.00								
071026P47	HV04-1	P2	0.53	2.40	0.80	2.20	1.00	2.60	22.20	4.40									1.0	2.3
	HV04-2		0.50	2.30	1.00	2.30	23.90	5.00												
071026P48	HV05	M4-2	0.9	2.5	1.1	2.3	10.6	1.9											0.9	2.5
071026P49	HV06-1	e2	0.80	3.50	0.90	3.30	1.10	3.10	1.50	2.10									0.9	3.1
	HV06-2		0.70	3.00	0.90	2.80														
071026P50	HV07-1	E2	0.50	3.50	0.80	2.60	1.20	2.00											1.1	2.1
	HV07-2		0.50	2.90	0.80	2.30	0.90	2.20												
071026P51	HV08-1	e2	0.50	3.20	0.60	3.80	0.80	4.00	1.30	2.20	2.00	1.90							1.0	2.9
	HV08-2		0.50	3.20	0.60	3.60	0.80	4.00	1.00	2.90	1.40	2.30	2.60	2.00						
071026P52	HV09-1	e2	0.60	3.10	0.90	3.60	1.10	3.70	1.50	3.10	1.90	2.90							1.1	3.4
	HV09-2		0.40	2.40	0.60	2.60	0.90	2.80	1.10	3.10	1.60	2.80	2.00	2.60						
071026P53	HV10-1	e2	0.45	2.50	0.55	2.90	0.70	3.00	0.90	2.70	2.00	2.20	4.30	1.90					0.9	3.0
	HV10-2		0.47	2.80	0.55	2.80	0.70	3.30	0.90	3.20	1.60	2.40	2.00	2.50	4.30	1.90				
071026P54	HV11-1	e2	0.40	2.70	0.60	3.10	1.00	2.00											1.0	2.0
	HV11-2		0.58	3.70																
071026P55	HV12-1	P2	0.90	2.50	1.20	2.40													0.9	2.5
	HV12-2		0.47	2.90	0.90	2.50	1.20	2.50												
071026P56	HV13-1	P2	0.50	2.30	1.00	2.80	1.50	2.00											1.0	2.8
	HV13-2		0.50	2.70	0.80	2.70	0.90	3.00	1.10	2.70	1.40	2.40	8.00	2.00	10.70	2.00				
071026P57	HV14-1	e2	0.55	3.10	0.70	3.40	1.30	2.20											1.1	2.3
	HV14-2		0.56	2.90	0.80	3.00	1.00	2.30												
071026P58	HV15-1	e2	0.65	3.00	1.00	2.70	2.10	2.00	13.90	2.00	18.90	2.80							1.0	3.1
	HV15-2		0.48	2.90	0.60	2.80	1.00	3.40	1.70	2.20	15.30	4.30								
071026P59	HV16-1	M4-2	0.48	2.30	0.70	2.50	1.00	2.70	2.40	2.50	3.40	2.80	5.10	2.20					1.0	3.0
	HV16-2		0.44	2.50	0.95	3.20	1.60	3.00	2.60	3.10	3.40	3.00	5.00	2.30						
071026P60	HV17-1	M4-2	0.60	2.80	0.80	3.40	1.00	3.40	1.20	2.60	14.80	3.30							1.0	3.2
	HV17-2		0.50	2.70	0.66	3.00	0.90	2.90	1.00	2.90	1.30	2.40	14.10	4.90						
071026P61	HV18-1	e2	0.53	3.40	1.10	3.70	1.50	2.60	2.20	2.10									1.1	3.3
	HV18-2		0.55	3.00	1.00	2.90	1.50	2.00	2.20	1.80										
071026P62	HV19-1	M4-2	0.49	2.60	0.63	2.70	0.88	3.20	1.00	2.80	1.30	2.60	2.20	2.50	15.50	4.80			0.9	3.4
	HV19-2		0.50	2.70	0.72	3.20	0.90	3.50	1.40	3.00	2.20	2.90	12.60	3.90	15.70	3.40				

## **5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO FINALIZZATO ALLA MS**

### ***5.1 Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione***

#### ***5.1.1 Geotecnica di laboratorio***

Le formazioni geologiche rinvenute all'interno del perimetro di studio e dettagliatamente descritte nel cap. 3 sono state reinterpretate contestualmente alle prove geotecniche di laboratorio e alle prove geofisiche, allo scopo di costruire un modello geologico-tecnico del sito. Dal punto di vista geotecnico, sono stati associati i campioni di cui alle prove di laboratorio presentate nel par. 4.1, sulla base della loro posizione, profondità e caratteristiche fisico-meccaniche, alle formazioni geologiche proprie del sito in esame.

Si descrivono di seguito le caratteristiche peculiari di ciascuna unità litotecnica, codificata in accordo agli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2.

Il rilevamento geologico ha permesso di riconoscere la f. di San Nicola ("P2"), la f. del Cretaccio ("M4-2"), la f. di San Domino ("E2"), la f. di Caprara ("Edi") e la f. del Bue Marino ("E1") come afferenti al substrato geologico, in tutta l'area di studio. In alcune porzioni di territorio sono inoltre state identificate delle coperture, deposte in ambiente eolico (loess "ec1" e loess "e2") o di versante (conglomerati "tr1").

Come riportato nel par. 3.1, le formazioni affioranti di San Nicola, di San Domino, di Caprara e del Bue Marino si presentano come substrato litoide, calcarenitico o calcareo dolomitico, tutti stratificati e intensamente fratturati. Per tale motivo, tale substrato è stato codificato come "Lapideo, stratificato, fratturato/alterato ("SFLPS")".

Invece, la f. del Cretaccio si presenta principalmente sotto forma di marne di colore giallastro con intercalazioni decimetriche di arenarie e calcilutiti. Pertanto, la formazione è stata codificata come "Coesivo sovraconsolidato, stratificato, fratturato/alterato ("SFCOS")".

Per quanto riguarda le coperture "ec1", "e2" e "tr1", le prime sono state codificate come composte da "sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla ("SC")", le seconde come "limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML)"; le ultime, in virtù della loro natura litoide, sono state codificate come "litoide di copertura ("LC")".

Nello specifico, i campioni di laboratorio sono stati assegnati come in Tabella 11.

**Tabella 11. Classificazione dei campioni di laboratorio in funzione delle formazioni geologiche di provenienza.**

<b>ID SONDAGGIO-CAMPIONE</b>	<b>n. campioni</b>	<b>tipologia strato</b>
071026P10-C1, 071026P21-C1, 071026P67-6A, 071026P68-7A,	4	copertura limoso-sabbiosa (e2)
071026P9-C1, 071026P9-C2, 071026P10-C4, 071026P11-C1, 071026P12-C1	5	substrato (E2), lapideo, stratificato, fratturato/alterato
071026P6-C2, 071026P7-C1, 071026P7-C2, 071026P8-C1, 071026P8-C2, 071026P8-C3, 071026P8-C4, 071026P10-C2, 071026P10-C3, 071026P63-1A, 071026P64-2B, 071026P66-4A	12	substrato (M4-2), Coesivo sovraconsolidato, stratificato, fratturato/alterato

I campioni riportati in Tabella 1 e non menzionati in Tabella 11 afferiscono a unità di copertura di spessore non rilevante ai fini della Microzonazione Sismica. Si descrivono di seguito le caratteristiche peculiari di ciascuna unità litotecnica, codificata in accordo agli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2.

### **Unità litotecniche del substrato**

#### *Lapideo, stratificato, fratturato/alterato (SFLPS)*

Tra le formazioni riconosciute in sito, la f. di San Domino può essere classificata come una unità lapidea, stratificata e fratturata, e dunque secondo il codice SFLPS. Dal punto di vista dello stato fisico della roccia in sito, i provini testati in laboratorio hanno manifestato mediamente un peso per unità di volume  $\gamma$  pari a 22.6 kN/m<sup>3</sup> (Figura 66b), indice dei vuoti compreso tra 0.18 e 0.51 (media: 0.32), e contenuto naturale d'acqua  $w_n$  compreso tra 8% e 18%.

La Figura 66a mostra la distribuzione granulometrica dei campioni, nello specifico, con frazione argillosa (CF), compresa tra 6% e 16% (media: 9%), frazione limosa (MF) compresa tra 28% e 68% (media: 42%), frazione sabbiosa (SF) compresa tra 14% e 46% (media: 36%) e frazione ghiaiosa (GF) compresa tra 2% e 26% (media: 13%). Pertanto, non è possibile classificare in modo univoco tale famiglia di campioni, che comprendono distribuzioni granulometriche dal limo con sabbia alla sabbia con ghiaia (AGI, 1977). Una sintesi dei parametri è riportata in Tabella 12:

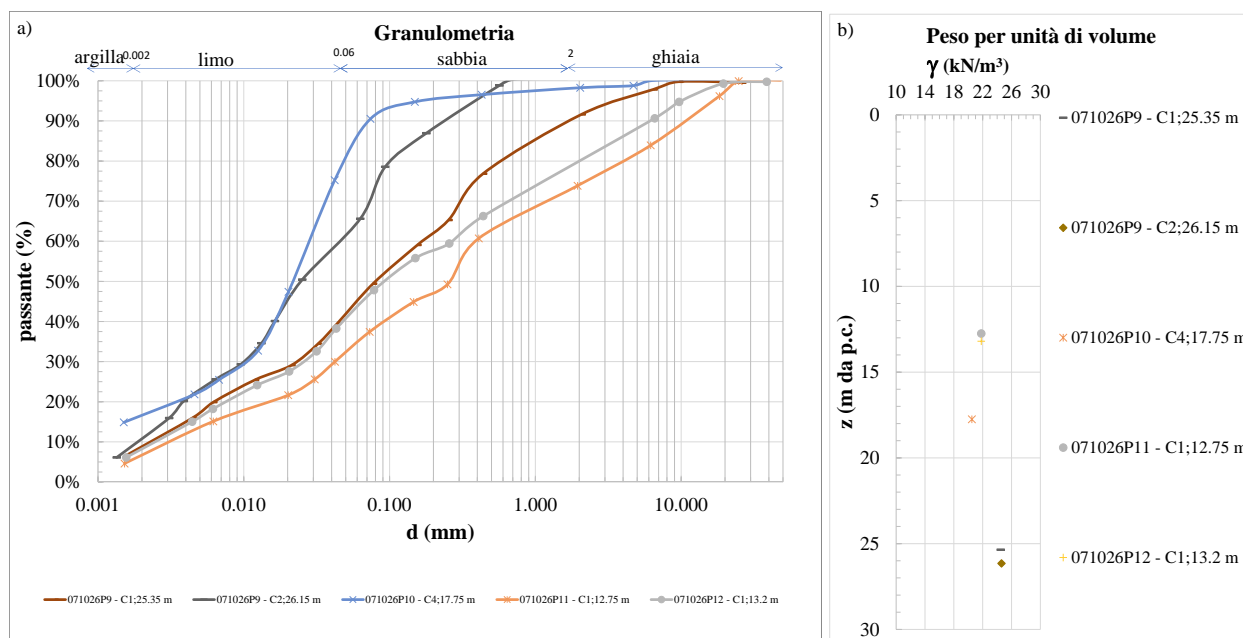
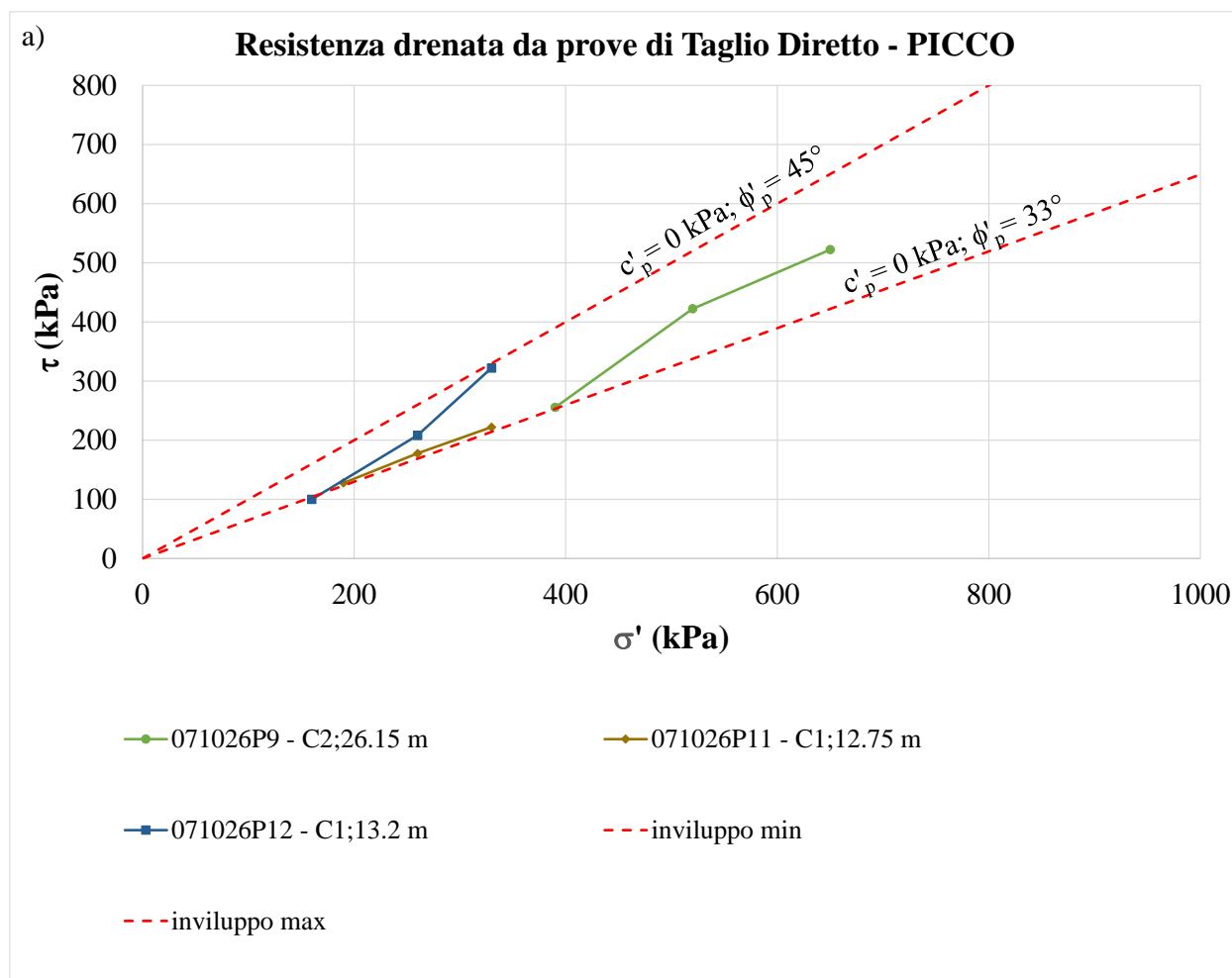


Figura 66. Riconoscimento fisico dei campioni afferenti a SFLPS relativi alla formazione di San Domino (“E2”), prelevati nell’area di studio.

Tabella 12. Sintesi dei parametri fisici e di stato per i campioni afferenti all’unità SFLPS.

SFLPS (E2)		n. cam- pioni	MEDIA	MIN	MAX
	$w_n$ (%)	5	11%	8%	18%
	$G_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	5	2.73	2.69	2.75
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	5	22.6	20.5	24.6
	CF (%)	5	9%	6%	16%

Le prove di Taglio Diretto (Figura 67a), volte a definire i parametri meccanici (relativi al criterio di rottura di Mohr-Coulomb) al picco di resistenza  $c'_p$  e  $\phi'_p$ , mostrano una scarsa omogeneità di risposta, con una dispersione non trascurabile dei risultati, probabilmente a seguito della presenza di clasti all’interno dei provini. Data l’esiguità dei campioni testati, non è possibile stimare un valore medio dei parametri di resistenza: in Figura 67 sono rappresentati degli intervalli di variabilità degli involucri di resistenza, con un angolo di attrito  $\phi'_p$  che varia da 33° a 45°.



**Figura 67. Risposta meccanica dei campioni afferenti all'unità SFLPS, prelevati nell'area di studio.**

Tali valori di resistenza risultano poco rappresentativi dell'unità, trattandosi di rocce dolomitiche calcaree, probabilmente a causa anche del numero esiguo di campioni testati.

Per quanto riguarda la formazione di San Nicola (P2), non sono stati rinvenuti certificati di prova inerenti a campioni testati in laboratorio, e pertanto l'unità verrà caratterizzata sulla base delle informazioni di letteratura sintetizzate nel par. 4.2.

Si riportano in Tabella 13 i valori medi desunti dalla caratterizzazione fisica e meccanica su roccia intatta presentata da Andriani & Guerricchio (1996) e Cotecchia et al. (1998), e riportata in Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 5.

Per quanto riguarda le caratteristiche delle discontinuità, si rimanda a quanto presentato da Cotecchia et al. (1998) e riportato in Tabella 4.



**Tabella 13. Media dei valori afferenti alla formazione di San Nicola, come riportati da Andriani & Guerricchio (1996, Tabella 2, Tabella 3) e Cotecchia et al. (1998, Tabella 5).**

<b>membro</b>	$\gamma_g$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>n</b> (-)	<b>e</b> (-)	<b>C</b> (-)	<b>W</b> (%)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)	$\phi$ (°)	<b>c</b> (MPa)
P2a: membro sommitale, costituito da calcareniti dolomitiche	27.00	18.79	18.97	30.41%	0.45	0.70	1.50%	17.16	59.84	-	-
P2b: membro basale, costituito da dolomie e calcari dolomitici, da compatti a friabili	27.08	24.62	24.70	9.06%	0.11	0.91	0.45%	104.94	184.53	42	1.2

*Coesivo sovraconsolidato, stratificato, fratturato/alterato (SFCOS)*

Tra le formazioni riconosciute in sito, con riferimento all'isola di San Domino, la formazione del Cretaccio ("M4-2") può essere classificata secondo il codice SFCOS. Dal punto di vista dello stato fisico del terreno in sito, i provini hanno manifestato mediamente un peso per unità di volume  $\gamma$  pari a 18.0 kN/m<sup>3</sup> (Figura 66d), indice dei vuoti compreso tra 0.59 e 1.79 (media: 1.02), e contenuto naturale d'acqua  $w_n$  compreso tra 17% e 64%.

La Figura 66a mostra la distribuzione granulometrica dei campioni, nello specifico, con frazione argillosa (CF), compresa tra 25% e 63% (media: 39%), frazione limosa (MF) compresa tra 10% e 61% (media: 45%), frazione sabbiosa (SF) compresa tra 3% e 36% (media: 15%) e frazione ghiaiosa (GF) inferiore a 5% (media: 1%). Pertanto, non è possibile classificare in modo univoco tale famiglia di campioni, che comprendono distribuzioni granulometriche dall'argilla con limo al limo con sabbia (AGI, 1977).

In Figura 66b si riporta la carta di plasticità di Casagrande dei campioni afferenti a SFCOS, dalla quale si evince come i provini manifestino una certa variabilità delle proprietà indice,  $w_L$  e  $IP$ , ma comunque tale da poterli omogeneamente classificare come argille inorganiche di medio-alta plasticità, CH, secondo la classificazione USCS.

Analogamente, l'indice di attività dei campioni, diagrammato in Figura 66c, presenta una variabilità, ma comunque tale da poter definire i campioni come aventi attività mineralogica prevalentemente bassa ( $A \leq 0.75$ ). Una sintesi dei parametri è riportata in Tabella 12:

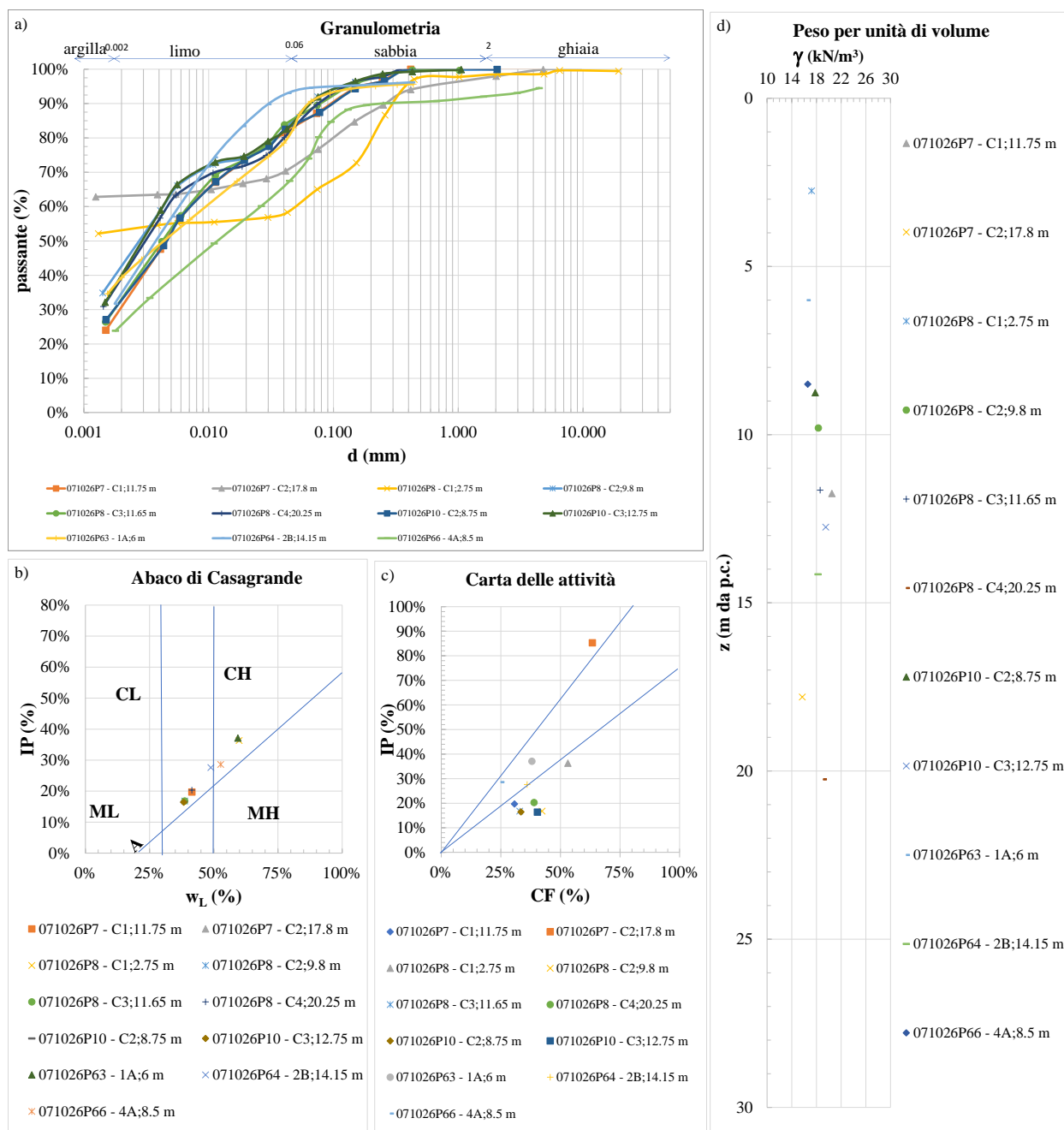


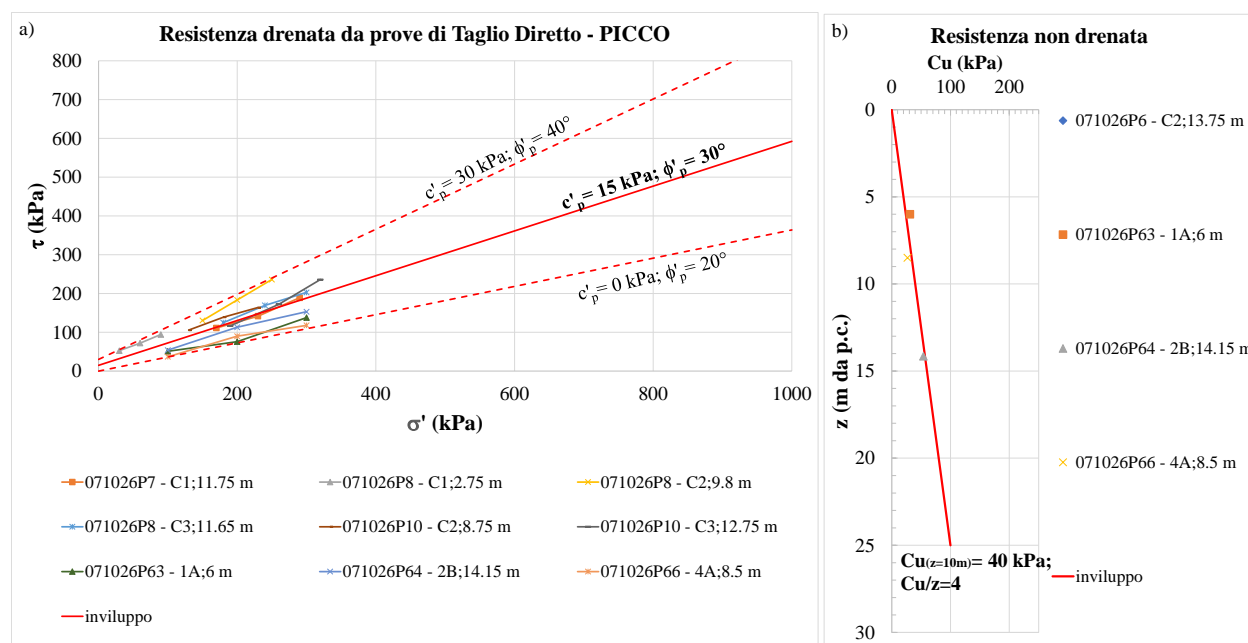
Figura 68. Riconoscimento fisico dei campioni afferenti a SFCOS, prelevati nell'area di studio.

**Tabella 14. Sintesi dei parametri fisici e di stato per i campioni afferenti alle intercalazioni calcilutitiche dell'unità SFCOS.**

SFCOS (M4-2)		n. cam- pioni	MEDIA	MIN	MAX
	$w_n$ (%)	11	34%	17%	64%
	$G_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	11	2.72	2.68	2.74
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	11	18.0	15.7	20.5
	CF (%)	11	39%	25%	63%
	$w_L$ (%)	11	53%	38%	123%
	IP (%)	11	29%	16%	85%
	A	6	0.63	0.56	0.75

Le prove di Taglio Diretto (Figura 67a), volte a definire i parametri meccanici (relativi al criterio di rottura di Mohr-Coulomb) al picco di resistenza  $c'_p$  e  $\phi'_p$ , mostrano scarsa omogeneità di risposta, con una dispersione dei risultati dovuta principalmente alla componente attritiva della resistenza. Mediamente, i campioni testati presentano un angolo di attrito  $\phi'_p$ , pari a circa 30°, e coesione  $c'_p = 15$  kPa. Gli intervalli di variabilità sono riportati in Figura 67a.

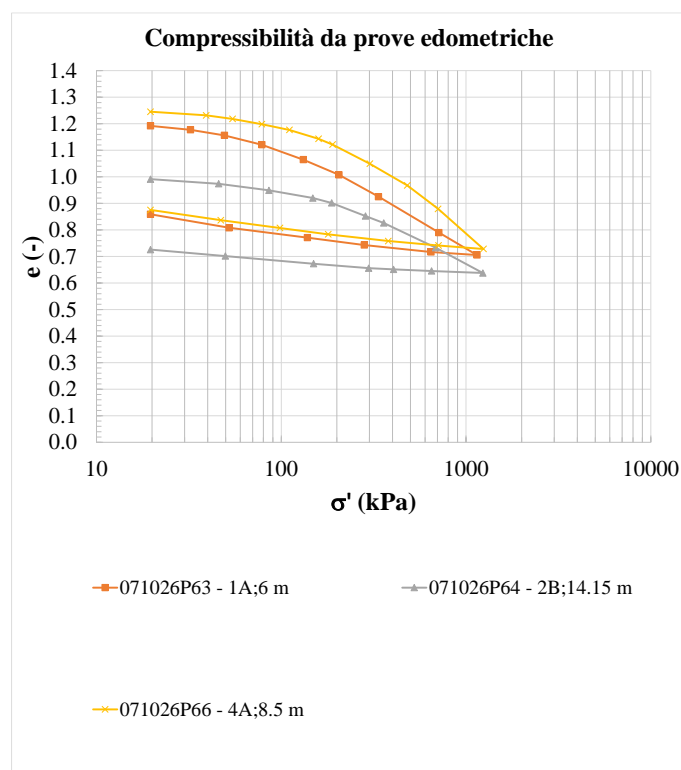
Per quanto riguarda la variazione con la profondità della resistenza non drenata  $C_u$ , da prove di tipo ELL, è stato possibile osservare un aumento di resistenza  $C_u$  con la profondità, stimata con un fattore  $C_u/z$  pari a 4.0, ed un valore pari a 40 kPa per  $z = 10$  m (Figura 69b).



**Figura 69. Risposta meccanica dei campioni afferenti all'unità SFCOS, prelevati nell'area di studio.**

Infine, per definire il grado di sovraconsolidazione delle M4-2 in posto, ci si è avvalsi dei risultati di prove edometriche svolte all'interno dell'area di studio. Sulla base di dette curve di compressione (Figura 70), è stato possibile determinare, secondo la costruzione grafica di Casagrande, la tensione verticale efficace di preconsolidazione, ossia quel valore di tensione attestante il passaggio dal tratto di curva di scarico-ricarico, a quello di normalconsolidazione.

Il rapporto tra detta tensione di preconsolidazione e la tensione verticale efficace di sito, calcolata in funzione del peso per unità di volume del provino, della profondità di prelievo del campione e del livello di falda rinvenuta in sito, permette di calcolare il grado di consolidazione OCR. Tutti i provini hanno esibito un  $OCR \gg 1$ , con valore minimo pari a 2, permettendo dunque di classificare la formazione M4-2 in posto come fortemente sovraconsolidata.



**Figura 70. Risultati delle prove edometriche svolte su campioni prelevati nell'area oggetto di studio.**

Per quanto riguarda la facies litoide, invece, può invece essere caratterizzata rispetto ai dati di letteratura riportati nel par. 4.2.

Si riportano in Tabella 15 i valori medi desunti dalla caratterizzazione fisica e meccanica su roccia intatta presentata da Andriani & Guerricchio (1996) e Cotecchia et al. (1998), e riportata in Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 5.

Per quanto riguarda le caratteristiche delle discontinuità, si rimanda a quanto presentato da Cotecchia et al. (1998) e riportato in Tabella 4.



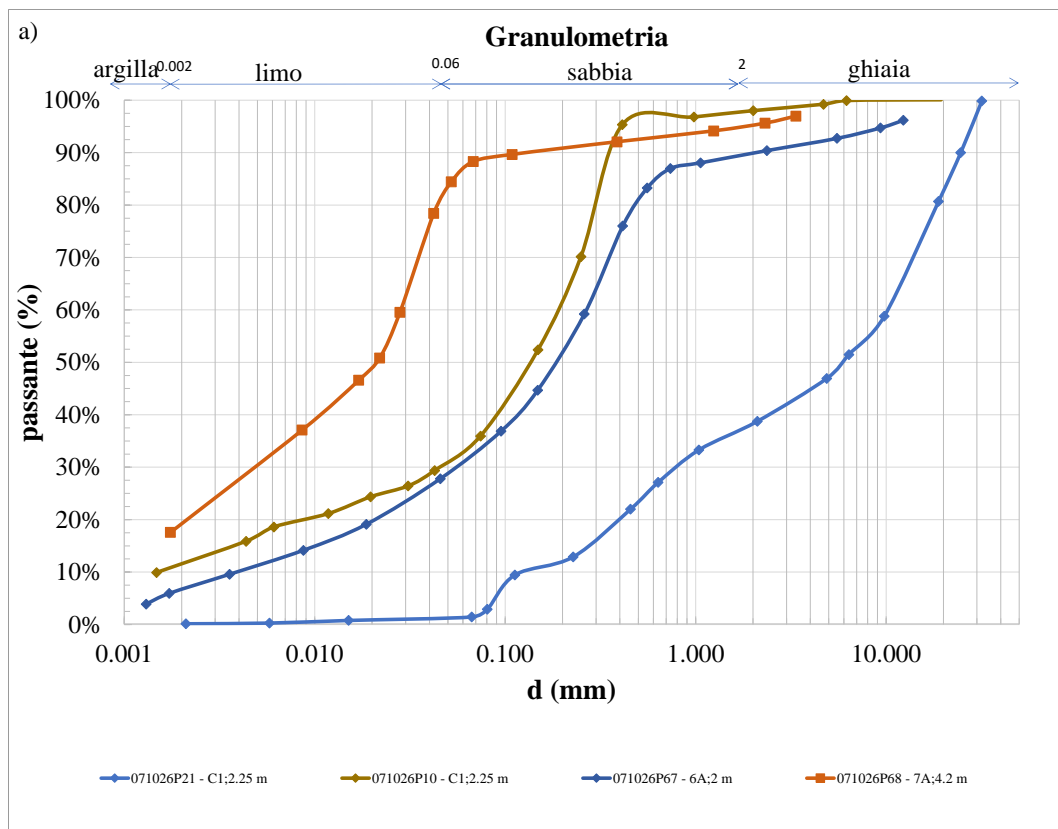
**Tabella 15. Media dei valori afferenti alla formazione del Cretaccio, come riportati da Andriani & Guerricchio (1996, Tabella 2, Tabella 3) e Cotecchia et al. (1998, Tabella 5).**

<b>membro</b>	$\gamma_g$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>n</b> (-)	<b>e</b> (-)	<b>C</b> (-)	<b>W</b> (%)	$\sigma_{c,min}$ (MPa)	$\sigma_{c,max}$ (MPa)	$\phi$ (°)	<b>c</b> (MPa)
M4-2: calcilutiti	26.90	18.45	19.06	31.44	0.52	0.68	5.35	4.84	44.00	28	0.5

### **Unità litotecniche di copertura**

**Litoide di copertura, deposta in ambiente di versante (eluvi/colluvi, LCec):** non sono stati acquisiti certificati di prova inerenti a campioni di copertura LC all'interno dell'area di studio; Tuttavia, da analisi visive e prove speditive, è stato possibile classificare tale copertura come “ad-densata”.

**Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasti-cità, deposte in ambiente eolico (loess, MLls):** sono stati rinvenuti certificati di prova di labora-torio finalizzati alla caratterizzazione fisica e meccanica dell'unità di copertura. In Figura 71 si riportano le curve granulometriche dei provini testati, che rappresentano un terreno prevalente-mente limoso con percentuali variabili di sabbia (da 5 a 60%). Per quanto riguarda il grado di consistenza, questo può essere determinato sulla base della resistenza non drenata  $C_u$  del cam-pione 071026P68-7A, prelevato a circa 4,2 m dal p.c., e testato con prova ELL. La resistenza è risultata pari a 53.5 kPa a cui, sulla base delle indicazioni fornite dalla tabella 3.4-14 degli I.C.M.S., può essere associato un grado di consistenza medio (“consistente”,  $C_u=50\div100$  kPa).



**Figura 71. Riconoscimento fisico dei campioni afferenti a MLs, prelevati nell'area di studio.**

**Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla, deposte in ambiente eolico (loess, SCIs):** non sono stati acquisiti certificati di prova inerenti a campioni di copertura SC all'interno dell'area di studio; Tuttavia, da analisi visive e prove speditive, è stato possibile classificare tale copertura come “moderatamente addensata”.

#### 5.1.2 Considerazioni sulla suscettibilità alla liquefazione delle unità litotecniche

Al fine di evidenziare aree potenzialmente instabili con rispetto al fenomeno della liquefazione, si farà riferimento ai criteri di valutazione preliminare riportati negli I.C.M.S., che prendono in considerazione:

- presenza di falda acquifera entro i 15 m dal p.c.;
- aspetti legati alle successioni litologiche;
- aspetti legati a eventi sismici attesi al sito.

Riguardo gli aspetti legati agli eventi sismici attesi al sito, l'accelerazione in superficie di riferimento, relativa ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (SLV), risulta superiore al valore soglia riportato negli I.C.M.S..

Dal punto di vista litologico, come si osserva in Figura 72 e dalle considerazioni precedentemente espresse, la formazione "M4-2" (unità "SFCOS") può considerarsi a composizione prevalentemente fine, mentre la restante parte del substrato geologico affiorante (unità "SFLPS"), può considerarsi litoide.

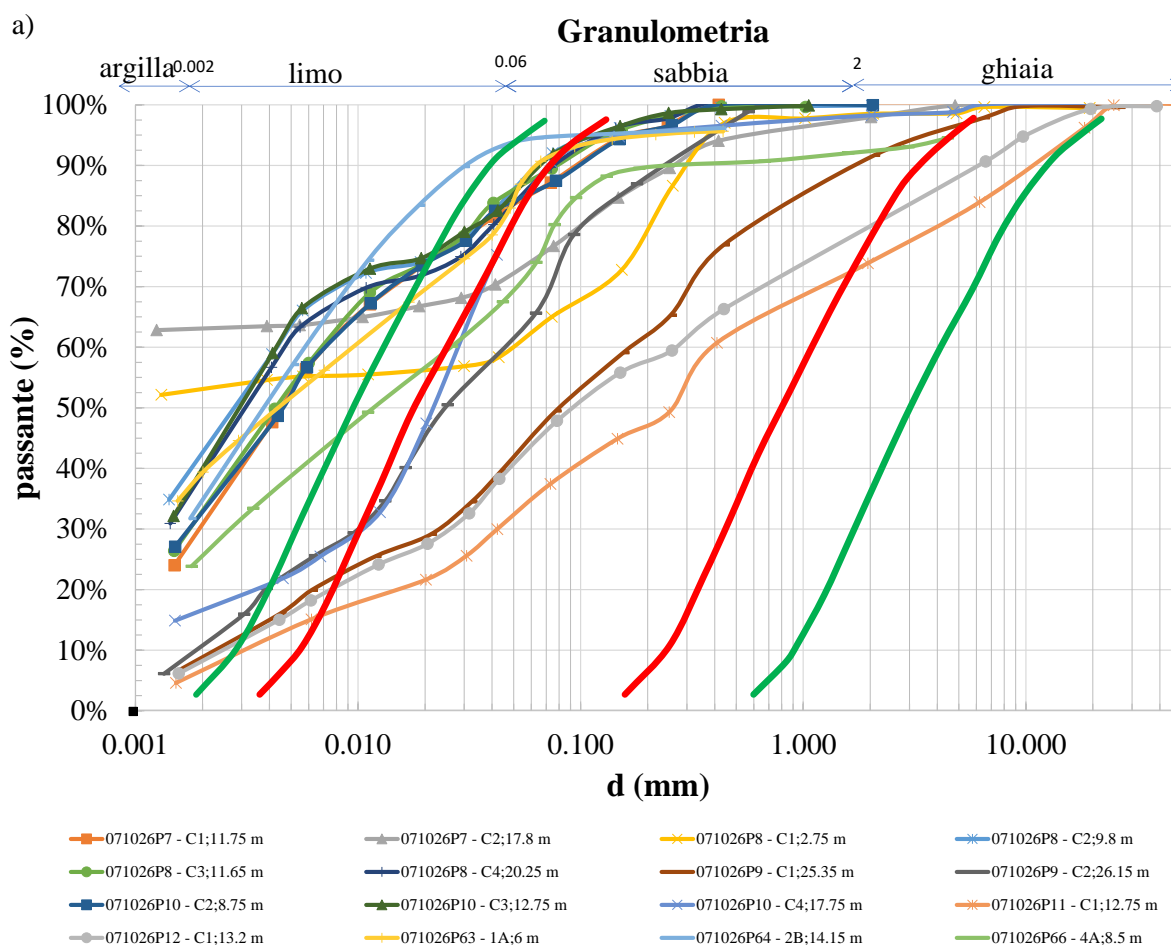
Tra le coperture, quelle eluvio-colluviali "tr1" (unità "LCec") si presentano come litoidi, la copertura eolica "ec2" è a prevalente composizione sabbiosa, mentre la copertura eolica "e2" è a prevalente composizione fine.

Riguardo la presenza di falda, come descritto nel par. 3.5.1 sugli aspetti idrogeologici del sito, non sono pervenute informazioni circa la presenza di eventuali falde all'interno delle unità, ad eccezione dei sondaggi 071026P63, 071026P64, 071026P65 e 071026P66, che però sono prossimi al mare.

Pertanto, alla luce delle considerazioni finora presentate, non sussistendo simultaneamente le tre condizioni con riferimento alla granulometria, alla presenza di falda e alle massime accelerazioni attese in sito, sarebbe possibile escludere a priori la possibilità che insorgano fenomeni di liquefazione all'interno delle unità SFLPS, SFCOS, LCec e SCIs.

Ulteriori considerazioni possono essere però presentate riferendosi a recenti studi scientifici (Seed et al., 2003; Boulanger e Idriss, 2006; Bray e Sancio, 2006; Kramer e Greenfield, 2019), basati su prove di laboratorio e di sito, in cui la suscettibilità di un terreno alla liquefazione viene legata all'indice di plasticità IP e al contenuto naturale d'acqua  $w_c$  (Tabella 16). Nello specifico, gli autori Boulanger e Idriss (2006) ritengono che il comportamento di un terreno possa essere assimilato a quello delle sabbie (e dunque, suscettibile alla liquefazione) per valori di IP inferiori a 3%, e viceversa a quello delle argille (i.e. non suscettibili alla liquefazione) per valori di IP superiori a 7%. Dalle prove di laboratorio acquisite, i valori di IP relativi a tutti i campioni testati, sono tutti superiori a 9%. I dati presi a riferimento per la stima della liquefacibilità sono sintetizzati in Tabella 17.

Alla luce di tali ulteriori considerazioni, si ritiene di poter ragionevolmente escludere la presenza di fenomeni evidenti di liquefazione dei terreni all'interno dell'area oggetto di studio.



**Figura 72. Confronto tra le curve granulometriche dei campioni prelevati nell'area oggetto di studio, con le fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno, elevata (linee rosse) e possibile (linee verdi) per i terreni a granulometria estesa (da Sherif e Ishibashi, 1977, riportato in AGI, 2005).**

**Tabella 16. Elenco non esaustivo dei criteri per la determinazione della suscettibilità alla liquefazione.**

Assessment Method	Potentially Liquefiable	Test for a Decision	Non-liquefiable
Andrews and Martin (2000)	- Clay content, $CC < 10\%$ - $LL < 32\%$	- $CC < 10\% \& LL \geq 32\%$ - $CC \geq 10\% \& LL < 32\%$	- $CC \geq 10\% \& LL \geq 32\%$
Seed et al. (2003)	- $PI < 12\%$ - $LL < 37\%$ - $w_c/LL > 0.8$	- $12 < PI < 20$ - $37 < LL < 47$ - $w_c/LL > 0.85$	Otherwise
Bray and Sancio (2006)	- $PI < 12\%$ - $w_c/LL > 0.85$	- $12 < PI < 18$ - $w_c/LL > 0.80$	Otherwise
Boulanger and Idriss (2006)	- $PI < 3\%$	- $3 \leq PI \leq 6$	- $PI \geq 7$

**Tabella 17. Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio su campioni afferenti all'area oggetto di studio, per la stima della liquefacibilità dei terreni.**

sondaggio	campione	z (m p.c.)	wc	LL	PI	CC	wc/LL
071026P7	C1	11.75	22.1%	41.5%	19.7%	30.7%	0.53
071026P7	C2	17.8	64.1%	123.4%	85.3%	63.4%	0.52
071026P8	C1	2.75	27.1%	59.9%	36.3%	53.1%	0.45
071026P8	C2	9.8	25.2%	38.7%	16.8%	42.3%	0.65
071026P8	C3	11.65	28.9%	38.7%	16.8%	32.9%	0.75
071026P8	C4	20.25	31.0%	41.5%	20.3%	38.9%	0.75
071026P9	C1	25.35	7.6%			8.3%	
071026P9	C2	26.15	7.8%			8.5%	
071026P10	C2	8.75	21.7%	38.4%	16.5%	33.4%	0.57
071026P10	C3	12.75	16.7%	38.3%	16.4%	40.3%	0.44
071026P10	C4	17.75	17.5%	45.2%	19.7%	16.1%	0.39
071026P11	C1	12.75	10.3%			6.3%	
071026P12	C1	13.2	10.3%			7.9%	
071026P63	1A	6	55.1%	59.4%	37.1%	38.0%	0.93
071026P64	2B	14.15	37.0%	48.9%	27.6%	36.0%	0.76
071026P66	4A	8.5	49.7%	52.7%	28.6%	25.0%	0.94
071026P21	C1	2.25	14.5%	41.8%	26.4%	0.0%	0.35
071026P10	C1	2.25	20.4%	25.7%	9.6%	11.4%	0.79
071026P67	6A	2	17.9%			6.0%	
071026P68	7A	4.2	18.8%	43.0%	20.9%	17.0%	0.44

## 5.2 Sezioni geologico-tecniche

La posizione dei passaggi stratigrafici, come disegnati all'interno delle sezioni geologico-tecniche allegate, è stata desunta sulla base dell'interpretazione dei sondaggi acquisiti, delle prove geofisiche e geotecniche acquisite, e sui risultati delle misure di rumore eseguite ad hoc e riportate nel par. 4.3. A titolo esemplificativo, si riporta in Figura 73 uno stralcio della sezione A-A', rimandando al relativo allegato per una visione di dettaglio. Ciascuna unità litotecnica è stata classificata, in affioramento, come fratturata/alterata (prefisso "SF") a seguito sia delle osservazioni in sito, sia a seguito dei risultati delle indagini geofisiche che non hanno evidenziato in superficie, all'interno del substrato geologico, velocità delle onde di taglio Vs compatibili con quelle di un bedrock sismico (cfr. par. 4.2). Per tutti gli altri numerosi corpi di frana non strumentati, e dunque in assenza di studi analitici sui singoli movimenti di massa, gli spessori dei cinematismi



rototraslazionali e dei movimenti di colata, sono stati stimati sulla base di riferimenti scientifici di settore. Nello specifico, la pubblicazione di Skempton e Hutchinson (1969) riporta, per diversi tipi di cinematismo, rapporti geometrici tipici tra estensione del corpo franoso e spessore massimo, desunti da casi di studio reali. Per i corpi di frana caratterizzati dalla presenza di una rotazione lungo una superficie di scorrimento (Figura 75), ricorrenti in versanti argillosi uniformi, il rapporto D/L può essere ragionevolmente compreso tra 0.15 e 0.33. Per quanto riguarda i movimenti di colata invece, in assenza di riferimenti bibliografici attraverso cui stimare lo spessore massimo, si è fatto riferimento alla classificazione dei corpi superficiale/profonda a corredo del database cartografico sulle frane, come descritto nel par. 3.2. Tale classificazione è stata letta in funzione della classificazione delle frane di Cruden e Varnes (1996), di seguito sinteticamente riportata:

- Superficiale: da superficiale a intermedia secondo Cruden e Varnes (1996)  $D < 30$  m;
- Profonda: da profonda a estremamente profonda secondo Cruden e Varnes (1996)  $D > 30$  m.

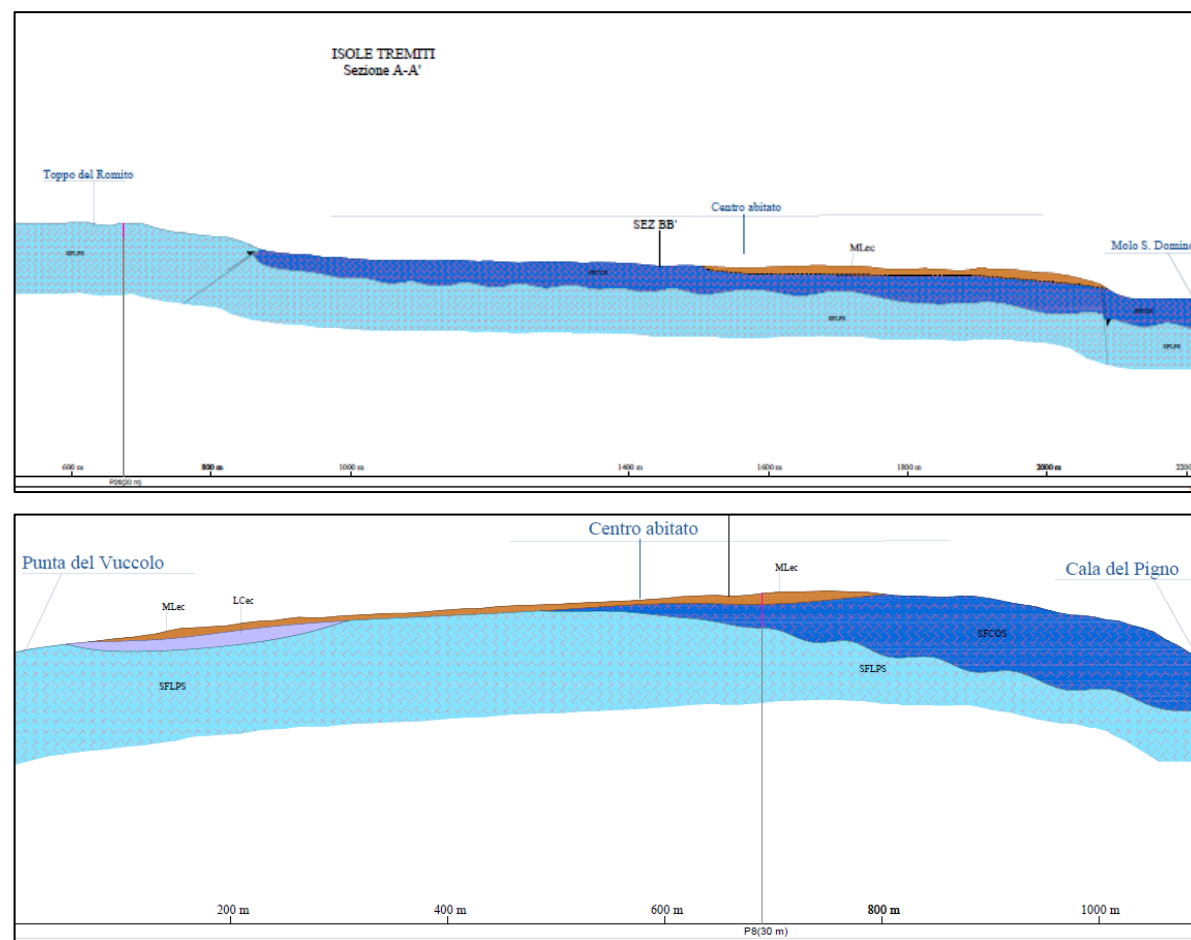


Figura 73. Stralci sezioni geologico-tecniche A-A' e B-B'.

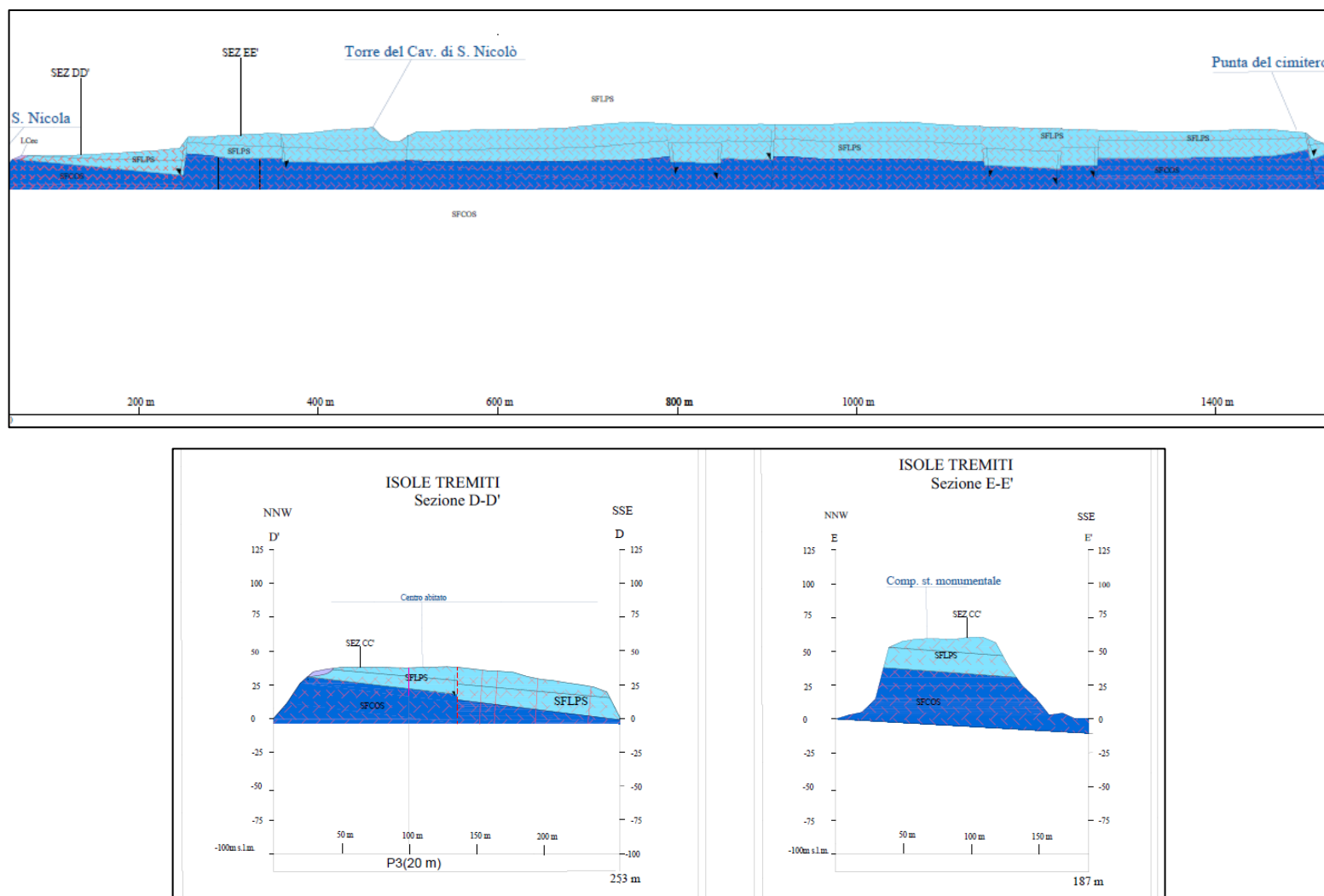
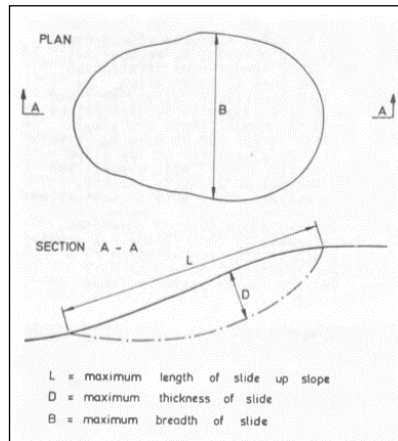


Figura 74. Stralci sezioni geologico-tecniche C-C', D-D', E-E'.



**Figura 75. Schema dei parametri geometrici richiamati nel testo (Skempton e Hutchinson, 1969).**

## **6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE**

Durante le attività svolte per la redazione del presente studio sono state riscontrate alcune criticità che hanno reso necessarie delle assunzioni o interpretazioni che in successivi livelli di approfondimento si dovranno verificare:

- le prospezioni sismiche pregresse non hanno consentito di stimare le velocità delle litologie presenti; a parità di litologia, alcune aree risultano comunque non investigate. Per tali ragioni, le MOPS associate a tali unità, non contengono informazioni circa i valori di velocità tipiche; si è per ora preferito non caratterizzare uno strumento pianificatorio (la Carta delle MOPS), seppur di Livello 1, con dati non misurati in sito e ci si è riservati di farlo con l'esecuzione di nuove prove in livelli successivi.
- i sondaggi acquisiti hanno raggiunto mediamente una profondità di 30 metri, pertanto gli spessori delle formazioni in profondità sono stati dedotti dall'interpretazione delle giaciture misurate in campagna, poco numerose e discontinue;
- Le prove geotecniche acquisite non si ritengono esaustive, sia perché non coprono tutte le litologie rinvenute durante i sopralluoghi, sia perché appaiono contrastanti con quanto rinvenuto nella letteratura scientifica di riferimento. Con particolare riferimento alla formazione del Cretaccio ("SFCOS"), tale unità si presenta come una fitta successione di strati doloarenitici e di marne, le cui caratteristiche geotecniche testate in laboratorio durante pregresse progettazioni non sono coerenti con le caratteristiche meccaniche dichiarate per la medesima formazione da Andriani & Guerricchio (1996) e da Cotecchia et al. (1998). E' tuttavia plausibile che le prove di laboratorio siano riferite alla componente marnosa, mentre i dati di letteratura siano riferiti alle doloareniti. Ulteriori approfondimenti risultano necessari.

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

### 7.1 Inquadramento ai fenomeni delle frane sismo-indotte

Dal Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT) dell'Università "Sapienza" di Roma si evince come nell'arcipelago delle isole non vi siano testimonianze di fenomeni sismoindotti passati, verificatisi in un arco temporale che va dall'anno 1000 d.C. al 2018 (Figura 76).

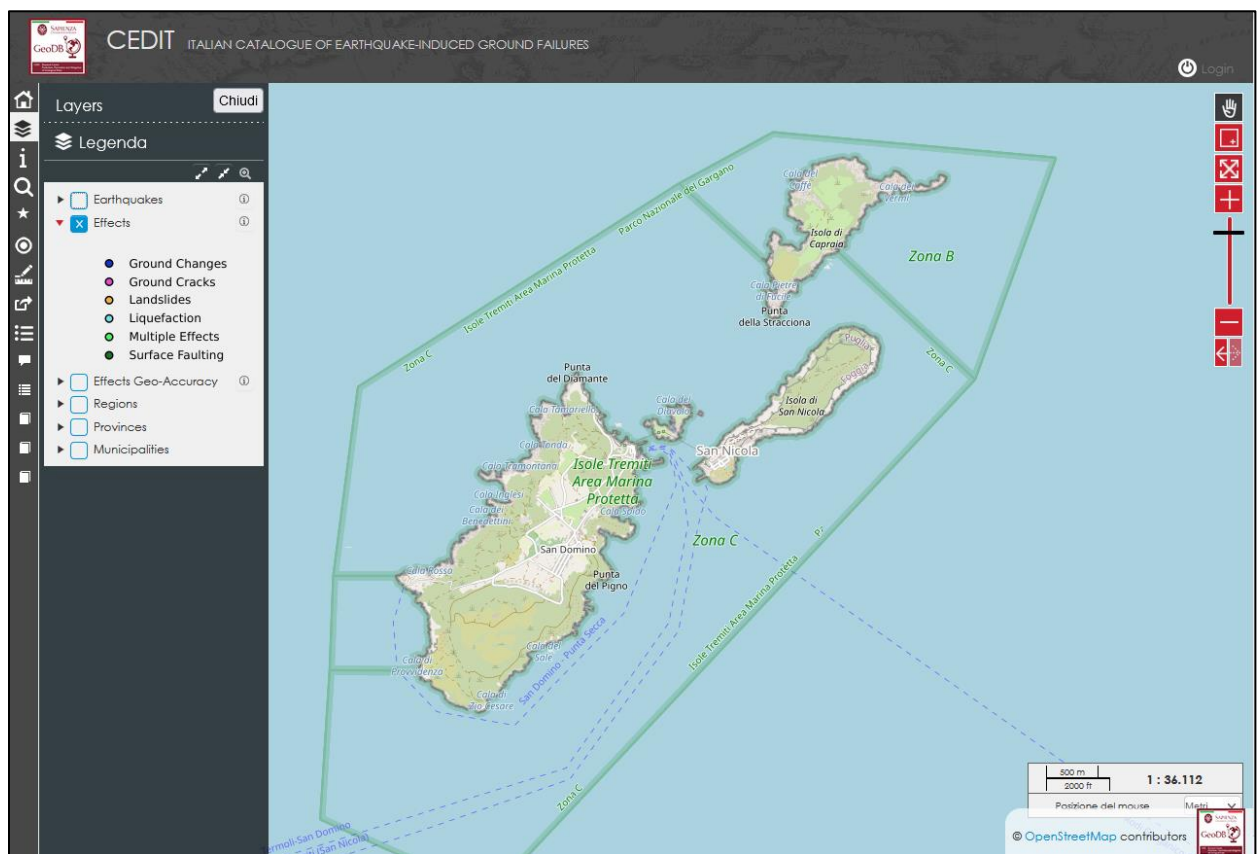


Figura 76. Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT) dell'Università "Sapienza" di Roma ([http://www.ceri.uniroma1.it/index\\_cedit.html](http://www.ceri.uniroma1.it/index_cedit.html)).

Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1, al fine di individuare le zone di instabilità di versante in condizioni sismiche, è stata analizzata dai tecnici ASSET la sussistenza delle condizioni sismiche necessarie per l'attivazione del fenomeno franoso.

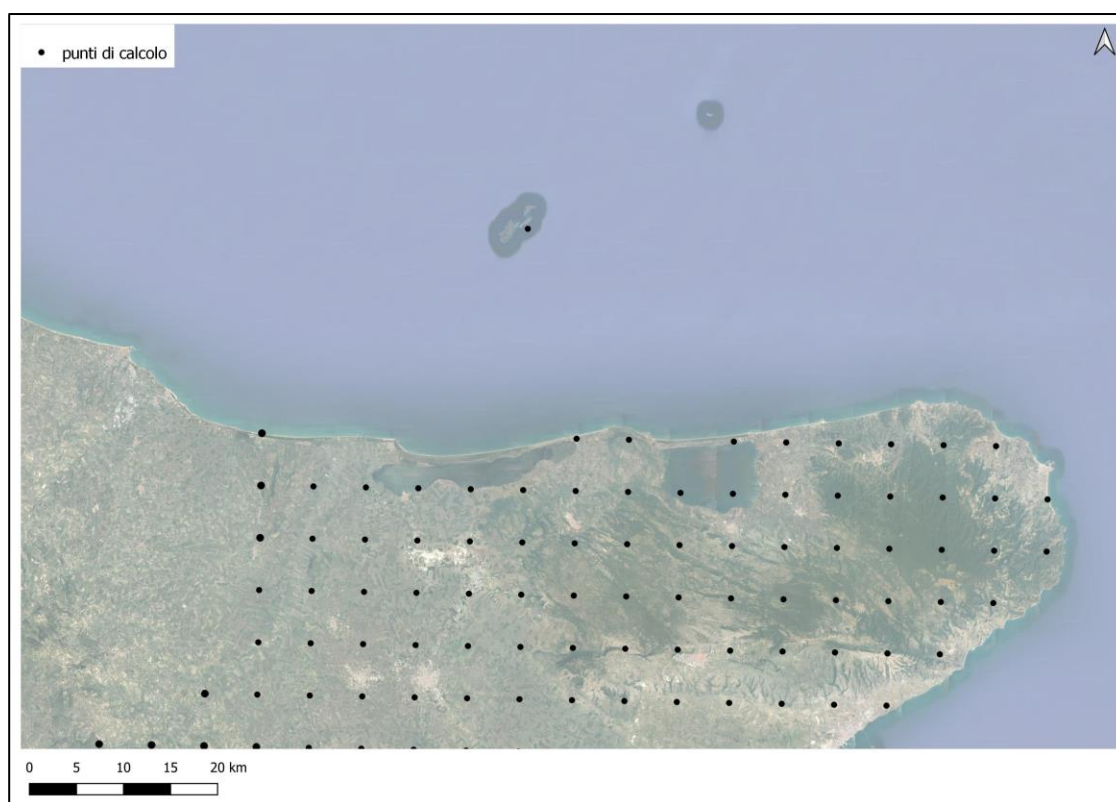
Come indicato nelle I.C.M.S. - Appendice 1, la metodologia proposta si basa sulle seguenti fasi di analisi:



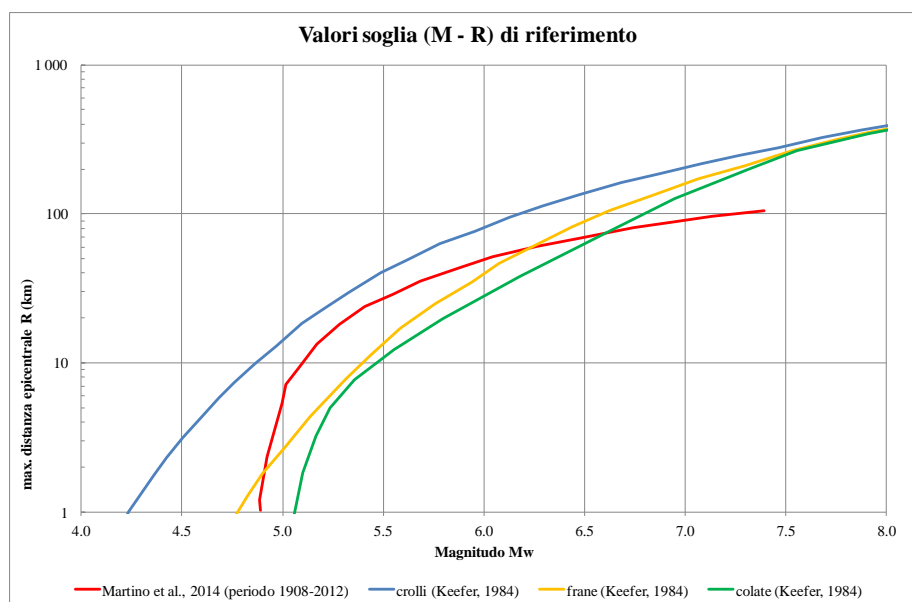
- ❖ disaggregazione della pericolosità sismica (Barani et al., 2009) in termini di Magnitudo e Distanza (M-R);
- ❖ confronto degli scenari M-R con i valori di soglia, o valori critici ( $M_c$ ), derivati da riferimenti scientifici per l'attivazione delle frane sismo indotte (e.g. Keefer, 1984);
- ❖ calibrazione della procedura attraverso una validazione ex-post.

L'operazione di disaggregazione è stata condotta da Barani (comunicazioni personali, 2021). In particolare, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (relativi al suolo rigido), espressi sia in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) sia rispetto a 3 periodi spettrali (0.2s, 1.0s, e 2.0s), per due periodi di ritorno  $T_R$  (30 anni e 475 anni). Per ciascun punto di calcolo, distante  $0.05^\circ$  dal successivo in entrambe le direzioni (Figura 77), i risultati sono stati restituiti considerando i valori medi e modali di M ed R di tali parametri.

Le coppie M-R così individuate per ciascuno dei 4 periodi spettrali, sono state confrontate con i valori soglia di riferimento. Gli I.C.M.S. (2008) suggeriscono come valori di confronto, quelli desunti dalla pubblicazione scientifica di Keefer (1984), le cui soglie sono state costruite per diverse tipologie di cinematismi (crolli, colate e frane) sulla base delle evidenze lasciate sul territorio a seguito di 40 fenomeni di instabilità verificatisi in tutto il mondo dal 1811 al 1980. Contestualmente, si è fatto riferimento anche ad un altro studio, pubblicato da Martino et al. (2014), in cui sono presentati valori soglia desunti dallo studio degli effetti di 166 eventi sismici avvenuti in Italia, dal 1117 al 2012, distinti in tre intervalli temporali. Tra questi, si è fatto riferimento a quello più recente, comprensivo degli eventi tra il 1908 ed il 2012 (Figura 79). Dal confronto tra i valori soglia dei due studi pubblicati, si osserva come la curva di Martino et al. (2014), per i cinematismi di tipo scorrimento e colate, sia più cautelativa per valori di Magnitudo inferiori a 6.5, mentre per valori più alti risultano più cautelative le curve presentate da Keefer (1984). Per i crolli invece, la curva di Martino et al. (2014) risulta sempre meno cautelativa.

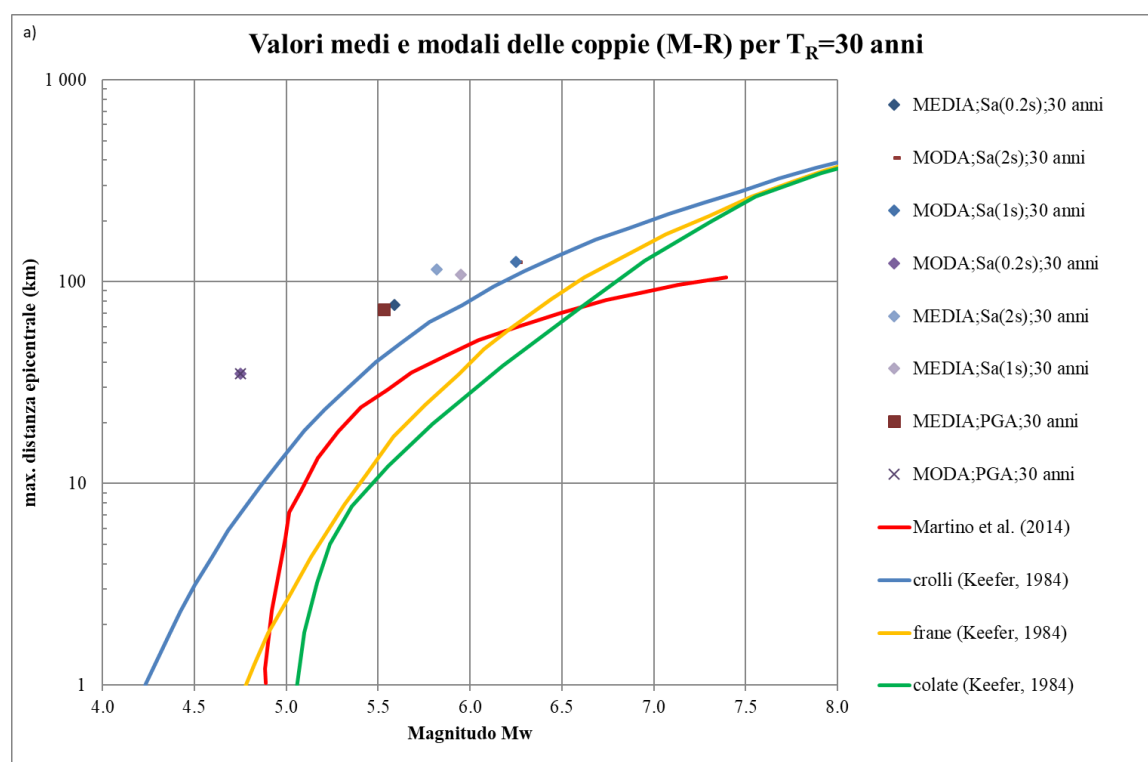


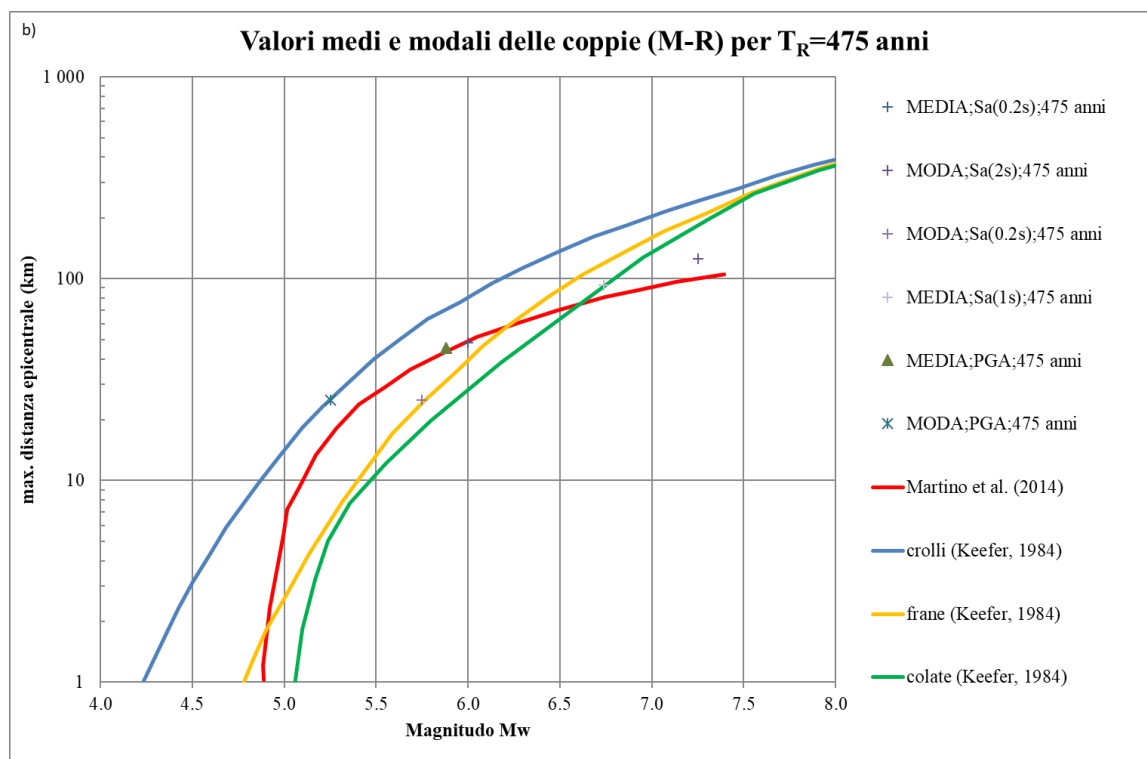
**Figura 77. Territori comunali facenti parte del Subappennino Dauno, e ubicazione dei punti di calcolo, di interasse  $0.05^\circ$ , per la disaggregazione della pericolosità sismica.**



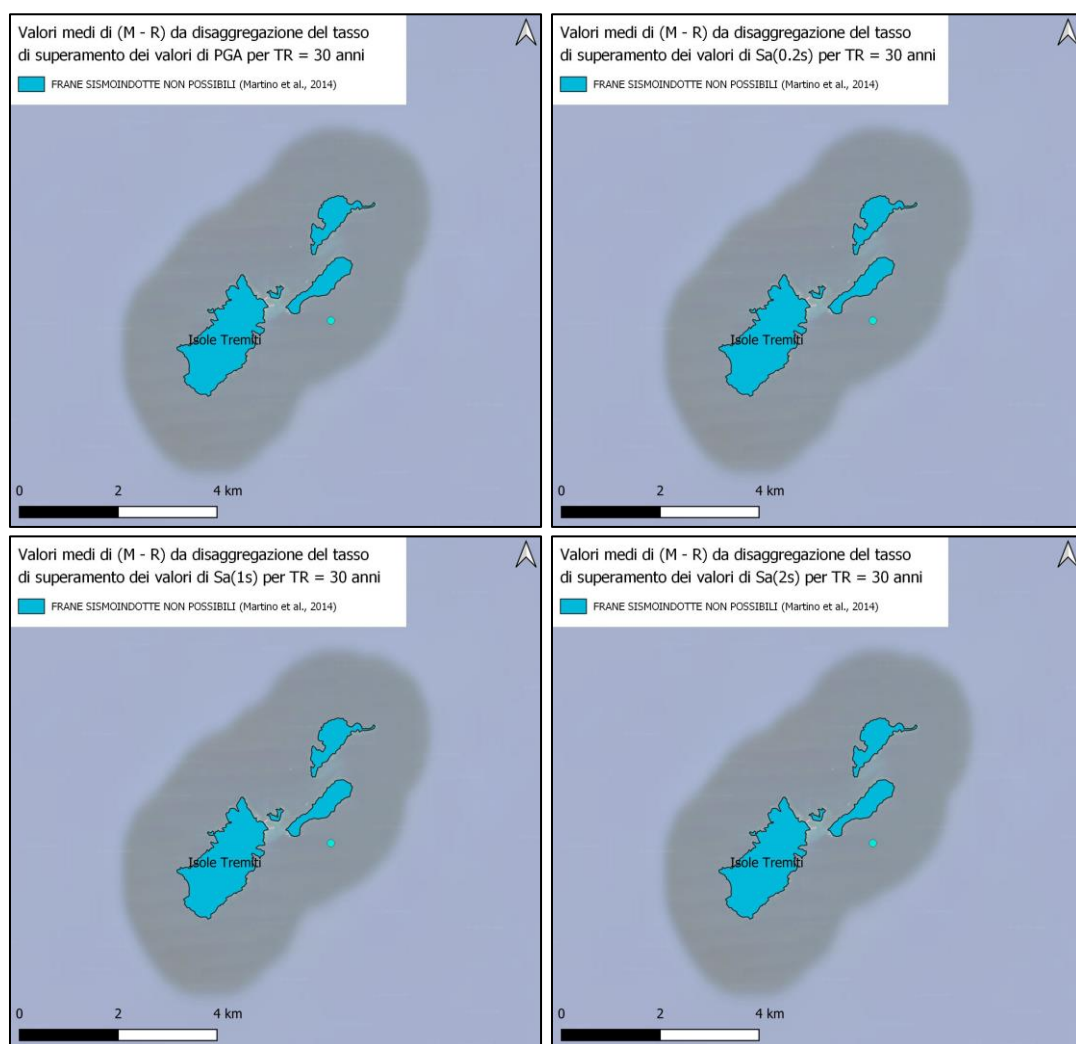
**Figura 78. Valori soglia di riferimento per il confronto con le coppie (M-R) calcolate attraverso disaggregazione della pericolosità sismica.**

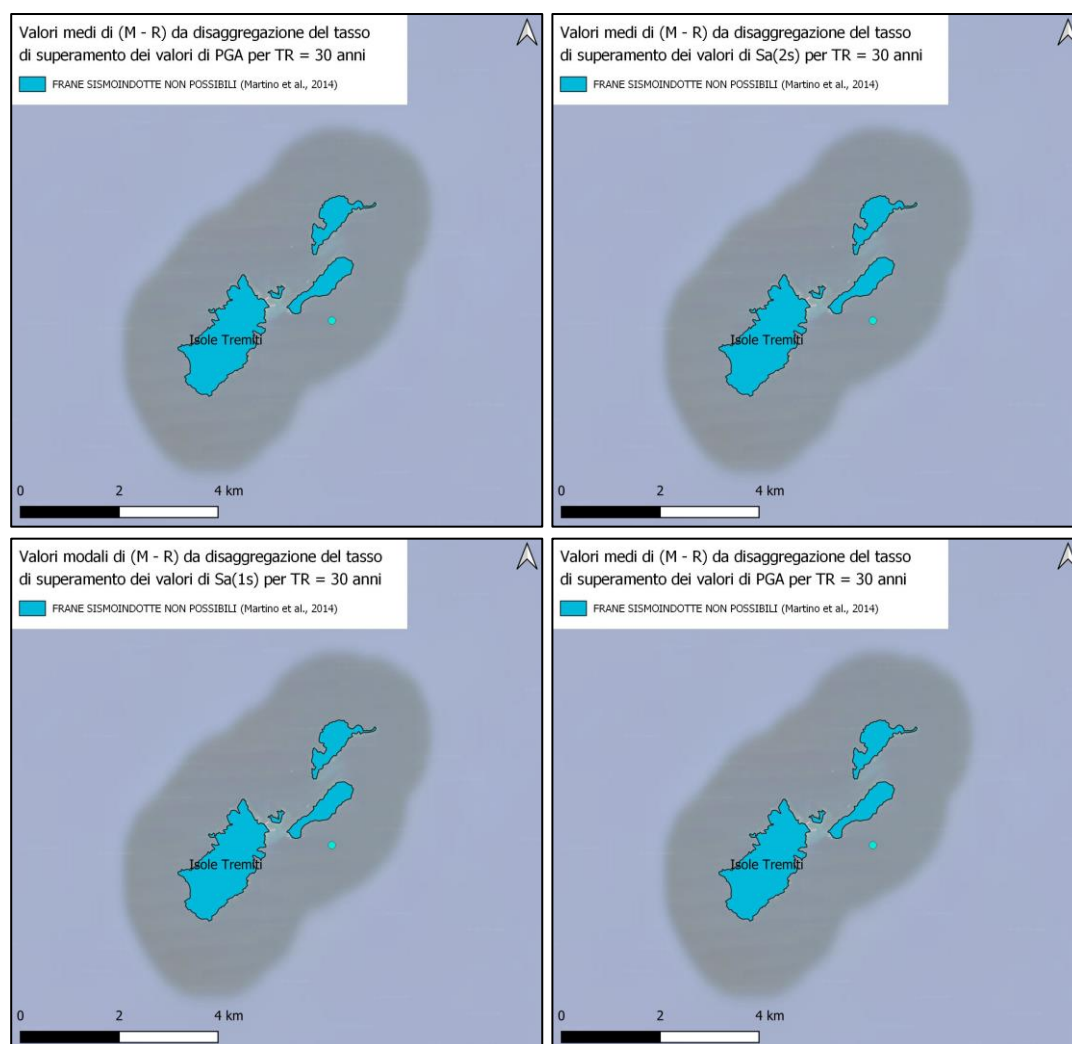
In Figura 79a e in Figura 79b, si riporta un confronto tra le suddette coppie, e i valori soglia, per i due tempi di ritorno considerati. Per  $T_R=30$  anni e  $T_R=475$  anni, è possibile osservare sia coppie (M-R) al di sopra che al di sotto delle soglie proposte e dunque rappresentativi di siti in cui è possibile preliminarmente escludere, su base storica, l'attivazione o riattivazione di frane sismoindotte. Associando ai siti di calcolo l'intero territorio comunale in cui essi ricadono, è possibile rappresentare il territorio in funzione della possibilità, o meno, che alcune sue porzioni risentano di frane sismoindotte, per il tempo di ritorno pari a 30 o a 475 anni. Nelle mappe riportate in Figura 80a e Figura 80b per  $T_R=30$  anni, e Figura 81a e Figura 81b per  $T_R=475$  anni, l'intero territorio del Subappennino Dauno è stato suddiviso in aree comunali. In ogni area sono stati calcolati i valori medi e modali delle coppie (M-R) che sono state confrontate con i valori di soglia relativi alle curve di Keefer (1984) e Martino et al. (2014). Dalle figure si desume che buona parte del territorio Dauno, in riferimento alle condizioni predisponenti di Magnitudo M e distanza R per l'instabilità di versante sismoindotta, è preliminarmente classificabile come suscettibile di questa instabilità. Pertanto, non si può escludere in nessun comune del Subappennino Dauno l'innescarsi di instabilità di versante sismoindotte.



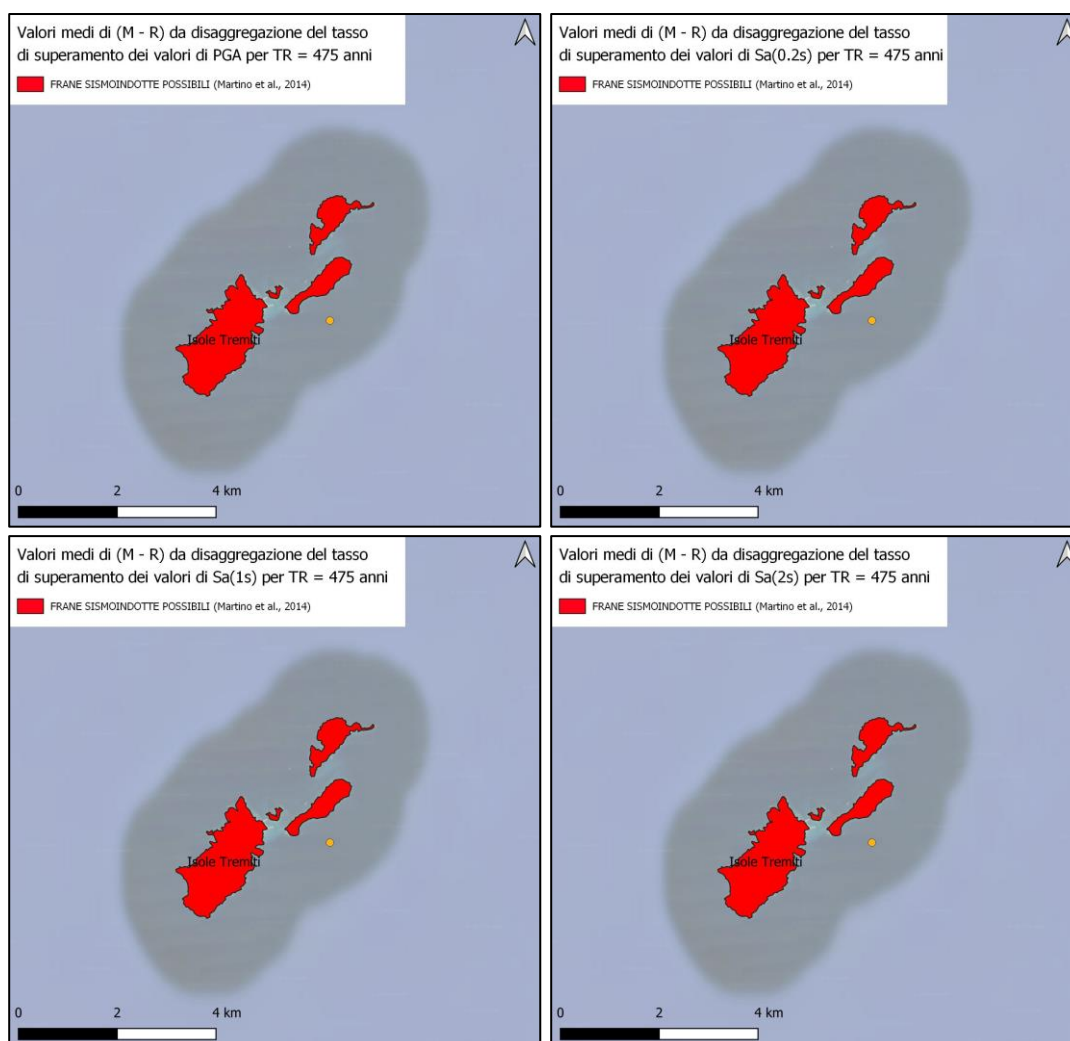


**Figura 79. Confronto tra i valori soglia delle coppie (M-R), con i valori medi e modali calcolati attraverso la disaggregazione: a) per  $T_R=30$  anni; b) per  $T_R=475$  anni.**

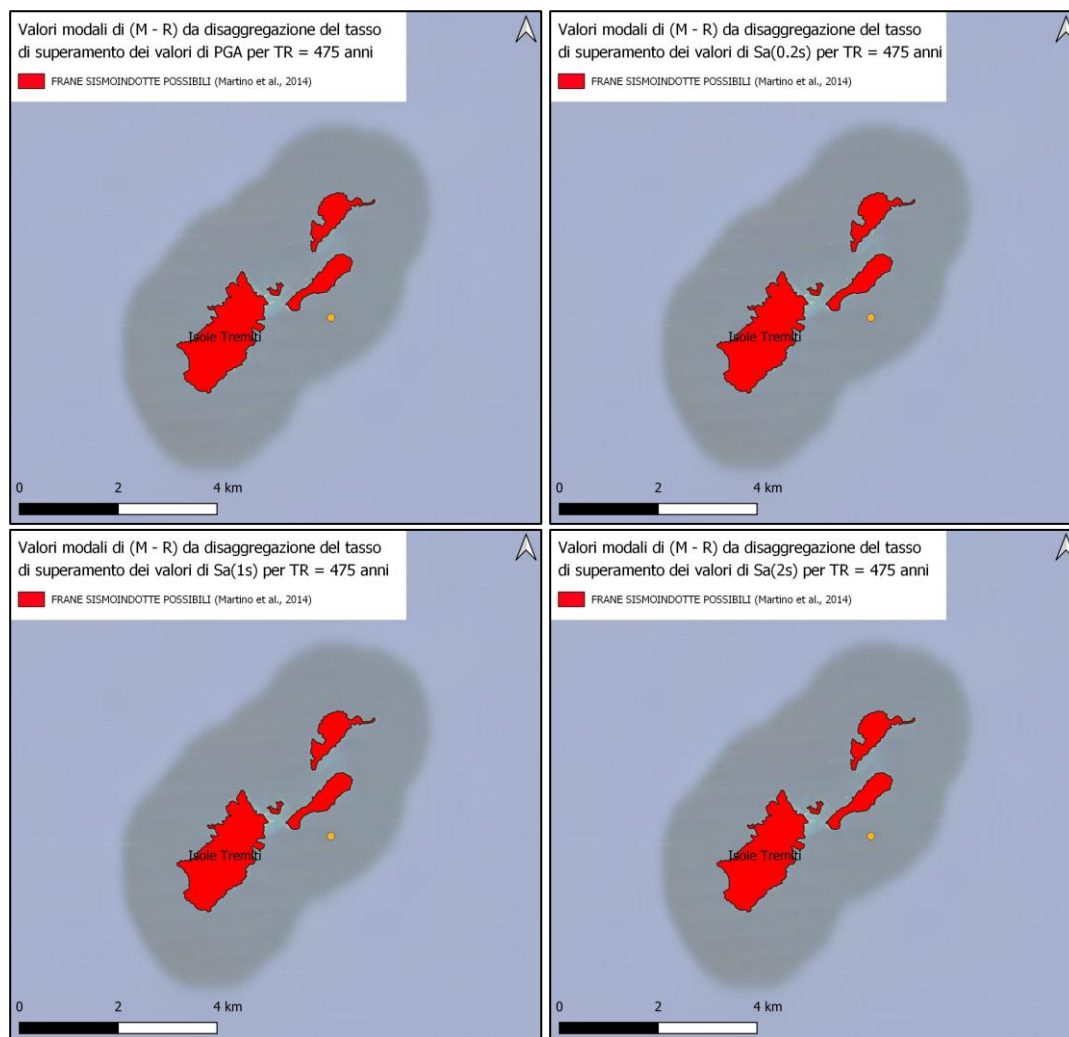




**Figura 80. Mappe delle isole Tremiti, passibili di fenomeni franosi sismoindotti così come derivate dal confronto delle coppie M-D medie e modali ottenute dalla disaggregazione della pericolosità sismica (in termini di PGA e diverse accelerazioni spettrali per un periodo di ritorno di 30 anni con la curva limite di Keefer et al. (1984).**







**Figura 81. Mappe delle isole Tremiti, passibili di fenomeni franosi sismoindotti così come derivate dal confronto delle coppie M-D medie e modali ottenute dalla disaggregazione della pericolosità sismica (in termini di PGA e diverse accelerazioni spettrali per un periodo di ritorno di 475 anni con la curva limite di Keefer et al. (1984).**

Alla luce di tali considerazioni, ed in ottemperanza alle “Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)”, è possibile ritenere le aree instabili come potenzialmente attivabili a seguito di sisma, e pertanto tali aree costituiranno zone instabili all’interno della carta delle MOPS.

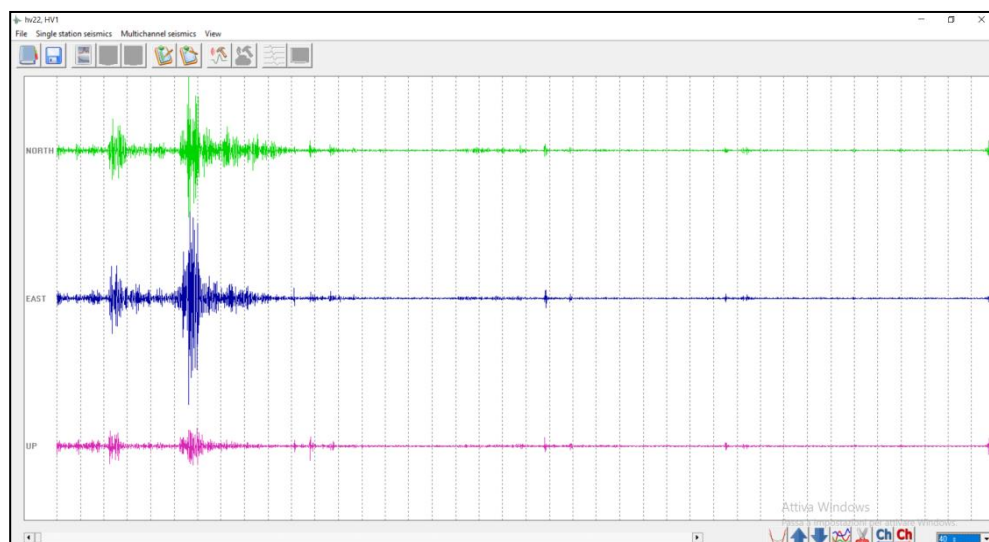
## 7.2 Metodologia di elaborazione ed interpretazione delle prove HVSR

I dati acquisiti sono stati elaborati con software specifico. In particolare è stato impiegato il pacchetto software Grilla (Rel. 9.6.3), prodotto dalla ditta distributrice (MoHo s.r.l.) del tromografo impiegato per eseguire le misure.

Le procedure utilizzate per elaborare i dati hanno rispettato le linee guida del progetto SESAME.

Le fasi di elaborazione possono essere sintetizzate come di seguito:

- scaricamento dei dati acquisiti;
- lettura delle tracce (componente Nord, Est e verticale come in Figura 82);
- filtraggio ulteriore eventuale;
- filtraggio manuale dei transienti residui da esaminare con l'ausilio dello spettrogramma che consente di evidenziare i rapporti H/V che deviano notevolmente dall'andamento medio;
- calcolo degli spettri delle tre componenti del moto;
- applicazione di una procedura di lisciamento ("smoothing") degli spettri ottenuti. Per i dati in esame si è utilizzata quella di Konno e Ohmachi con window con  $b=40$ , secondo quanto suggerito sempre dalle linee guida SESAME (Figura 83);
- filtraggio automatico delle frequenze comprese nel range 0.7-64.0 Hz (Figura 84);
- calcolo dei rapporti tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali H e verticale V;
- calcolo dei valori medi e della deviazione standard dei rapporti spettrali H/V;
- stima della direzionalità del picco eventualmente individuato;
- valutazione della qualità delle misure;
- estrazione del report di elaborazione.



**Figura 82. Misure di rumore ambientale. Esempio di una traccia di acquisizione.**

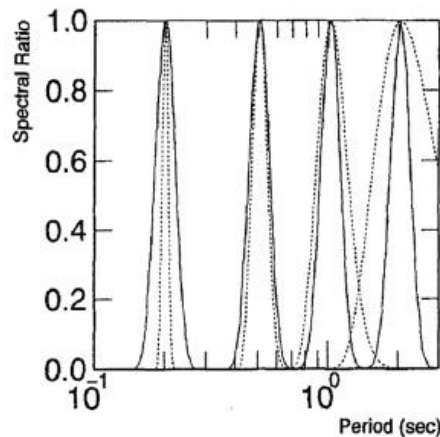


Figura 83. Andamento del valore del peso per la funzione di smoothing di Konno e Ohmachi (1998).

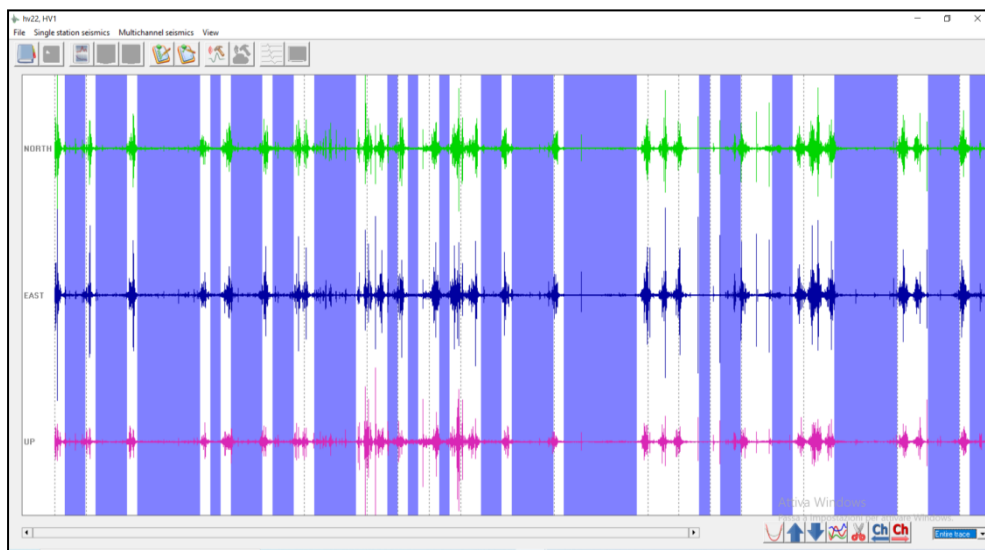
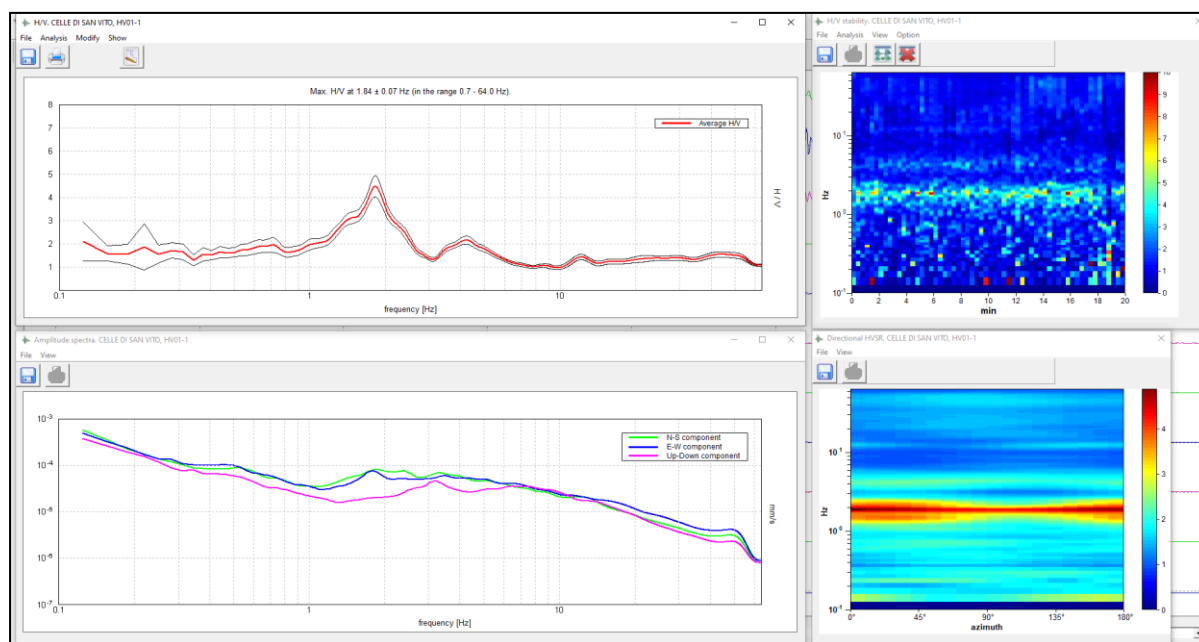


Figura 84. Misure di rumore ambientale. Filtraggio delle tracce acquisite.

L'analisi eseguita è composta da quattro finestre che forniscono un quadro completo delle tracce elaborate e del rapporto H/V ricavato, riportate in Figura 85.

A sinistra, il grafico in alto mostra il rapporto spettrale H/V calcolato in funzione della frequenza e permette di identificare il picco caratteristico e definire la frequenza di risonanza per il sito in esame; il grafico in basso, invece, rappresenta gli spettri di ampiezza delle tre componenti (NS, EW, verticale) i cui andamenti forniscono informazioni sull'origine degli eventuali picchi individuati: origine stratigrafica se vi è un minimo nella componente verticale e un massimo nelle componenti orizzontali, oppure antropica se vi è un massimo in tutte le componenti. A destra, il grafico in alto rappresenta lo spettrogramma della funzione H/V e fornisce indicazioni sulla

stabilità del rapporto spettrale nel tempo, mentre il grafico in basso rappresenta la direzionalità del rapporto spettrale e indica la direzione prevalente del rumore ambientale registrato per le diverse frequenze.



**Figura 85. Visualizzazione dei grafici di uscita dell'elaborazione col software Grilla.**

Il posizionamento definitivo delle misure ha previsto il controllo della qualità del dato GPS registrato (numero minimo di satelliti, regolarità dell'acquisizione). Controllato il posizionamento orizzontale, l'altimetria dei singoli punti di misura è stata ricavata proiettando i punti su DTM da rilievo LiDAR.

Riguardo l'interpretazione dei dati, si rimanda ai singoli report allegati e definiti per ciascuna misura eseguita per una visione di dettaglio degli andamenti della curva media H/V, degli spettri delle singole componenti, dello spettrogramma delle variazioni dei rapporti H/V durante la registrazione e del diagramma delle variazioni direzionali.

Alle isole Tremiti otto indagini sono state eseguite nelle vicinanze di misure di rumore pregresse:

- sull'isola di San Nicola: 071026P55 e 071026P56 nei pressi della pregressa 071026P13 e 071026P46 nelle vicinanze della pregressa 071026P14;

- sull'isola di San Domino: 071026P58 vicino la pregressa 071026P16, 071026P52 vicino la pregressa 071026P17, 071026P49 vicino la pregressa 071026P18, 071026P51 vicino la pregressa 071026P19, 071026P52 vicino la pregressa 071026P20.

La prima delle otto misure pregresse, 071026P13 sull'isola di San Nicola, restituisce come risultato una curva del rapporto H/V piatta, pertanto risultano utili le due nuove indagini eseguite a circa 30-40 m di distanza da essa, le quali hanno evidenziato risonanze di valore di ampiezza massimo pari a 3 tra 0.8 e 1.5 Hz, a 8 Hz e a 10 Hz.

Sulla stessa isola, la misura pregressa 071026P14 è caratterizzata da un massimo di ampiezza 3 a circa 2.5 Hz; anche la prova di nuova esecuzione nelle sue vicinanze, 071026P46, ha evidenziato, tra le altre, una risonanza coerente con la pregressa, restituendo (nelle due misure condotte con la sovrapposizione temporale) un picco tra 2.1 e 2.4 Hz, di ampiezza variabile nelle due misure tra 2.5 e 3.7.

Le tre indagini pregresse 071026P16, 071026P17 e 071026P18 mostrano tutte una amplificazione a 1 Hz con ampiezza pari a 3; tale amplificazione si riscontra anche nelle nuove misure, relative ai punti 071026P58, 071026P52 e 071026P49, in cui tuttavia sono emersi picchi anche di ampiezza superiore a 3 in un range di frequenze tra 0.4 Hz e 0.9 Hz.

La misura pregressa 071026P19 individua un picco a 1 Hz, seppur considerato dall'esecutore poco attendibile per una mancata diminuzione di ampiezza della componente verticale del segnale rispetto a quelle orizzontali; la prova di nuova esecuzione, 071026P51, ad essa molto prossima, ha fatto emergere amplificazioni anche a 0.5 Hz, 0.6 Hz, 0.8 Hz e tra 1 e 2 Hz, coerentemente con le altre misure condotte nell'area circostante, evidenziando in generale fenomeni di amplificazione rilevanti a frequenze comprese tra 0.5 e 1 Hz.

Anche la prova pregressa 071026P20 è stata ripetuta nell'ambito di questo studio, dal momento che risulta fortemente disturbata probabilmente a causa della pioggia presente durante il periodo di acquisizione; la nuova misura eseguita, 071026P52, ha dato in ogni caso risultati analoghi a quella descritta precedentemente, con picchi a 0.5 Hz, 0.9 Hz, 1 Hz, 1.5 Hz e 2 Hz.

I grafici della direzionalità delle misure condotte hanno messo in evidenza una direzione di polarizzazione dell'effetto di amplificazione alle basse frequenze che è circa pari a 30°-40° nelle misure effettuate sull'isola di San Nicola e pari a circa 40°-60° nelle misure effettuate sull'isola di San Domino.

È tuttavia da sottolineare che la maggior parte di queste misure è stata effettuata con la presenza di vento di intensità variabile e talvolta pioggia, seppur di leggera entità, quindi non sempre l'interrimento dello strumento è stato sufficiente per ridurre il disturbo sulle registrazioni.

Per le isole Tremiti non è stato possibile stimare, anche approssimativamente, gli spessori delle formazioni geologiche coinvolte, per la mancanza di dati attendibili sulle rispettive velocità.

## **8. ELABORATI CARTOGRAFICI**

### ***8.1 Carta delle indagini***

In accordo con quanto indicato negli Standard di rappresentazione cartografica e archiviazione informatica – Versione 4.2 (<http://www.protezionecivile.gov.it>) la Carta delle Indagini riporta la posizione cartografica di tutte le indagini acquisite nel precedente lavoro di Microzonazione di primo livello, di tutte le indagini acquisite dal gruppo di Lavoro ASSET nel corso dell'attività di ricognizione svolta negli uffici delle amministrazioni pubbliche consultate, in questo caso il Comune delle isole Tremiti, la Regione Puglia e il Commissariato per il Dissesto della Regione Puglia.

Anche le indagini pregresse sono state archiviate secondo il nuovo Standard e pertanto le informazioni sono state adeguate a quanto richiesto con l'aggiornamento 4.2.

Sono state inoltre rappresentate le indagini di rumore effettuate sul territorio oggetto di studio tramite l'acquisizione diretta effettuata dal gruppo ASSET con il supporto del CNR/Irpi.

Tutti i punti di indagine sono rappresentati con l'indicazione del loro codice identificativo e con la simbologia idonea a distinguerne la tipologia. Si riporta uno stralcio in Figura 86.

L'archiviazione documentale in accordo con gli Standard, comprende tutto il materiale di supporto, identificato con un codice in parte ereditato dalla precedente operazione di archiviazione che pertanto è stato ampliato con l'arricchimento di nuovo materiale documentale che è stato numerato in successione al materiale preesistente.



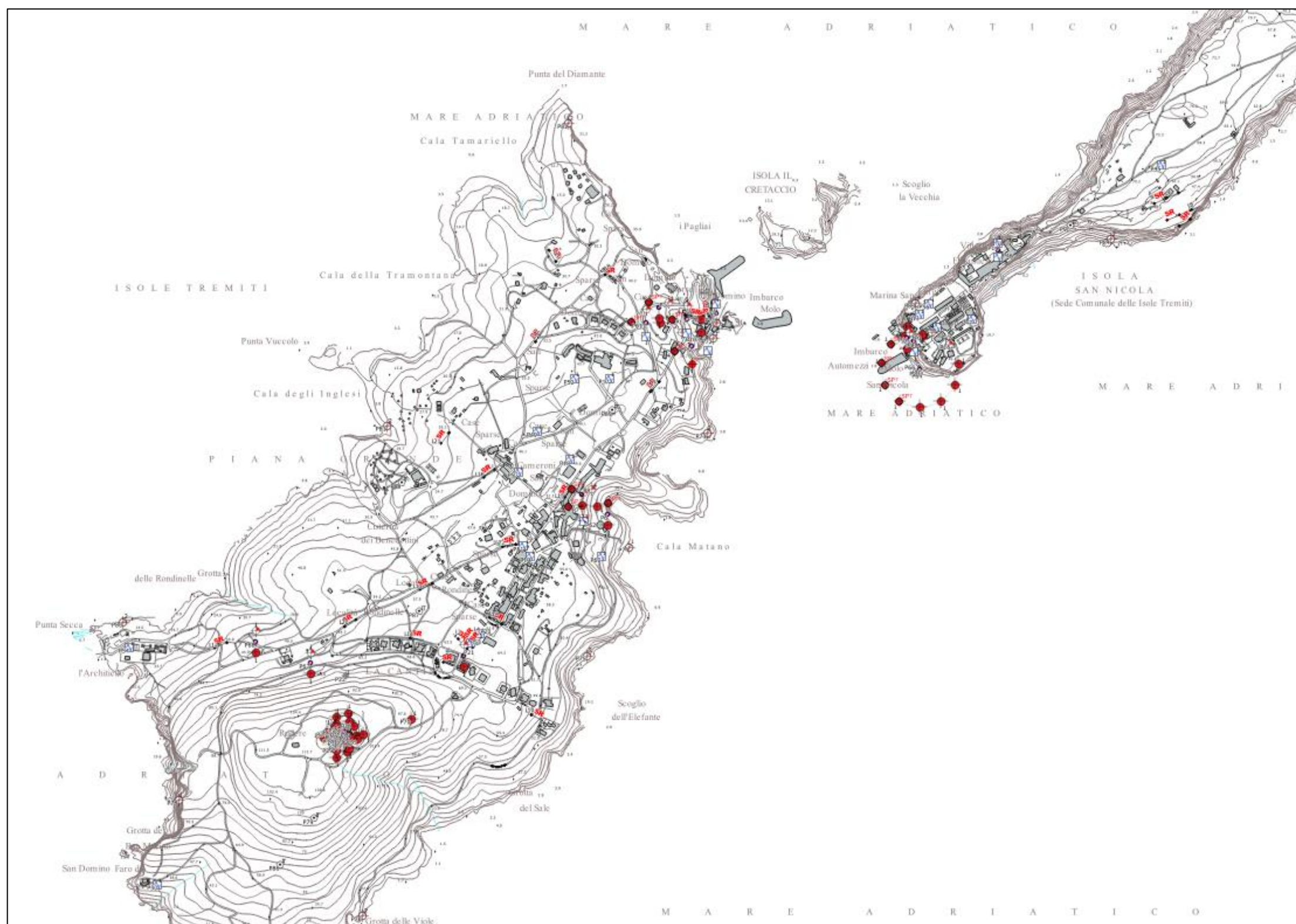


Figura 86. Stralcio della carta delle indagini delle isole Tremiti.

## **8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica**

Il modello geologico descritto nel cap. 3, reinterpretato alla luce delle risultanze sia di prove geofisiche (cap. 4), sia di prove geotecniche (cap. 5), ha permesso di costruire il modello geologico-tecnico del sito, rappresentato nell'elaborato grafico allegato secondo gli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica 4.2. La planimetria presenta, oltre alle unità del substrato geologico e alle coperture, gli elementi tettonico-strutturali come descritti nel par. 3.5, gli elementi geologici e idrologici come descritti nel par. 3.5.1, gli elementi relativi alle instabilità di versante, come descritte nel par. 3.2. Nell'ambito di tale revisione è stata posta particolare attenzione alla mappatura dei depositi di copertura, alla ricostruzione dettagliata delle forme geomorfologiche, dei fenomeni gravitativi di versante e/o delle aree instabili ed all'individuazione del substrato. Per meglio comprendere i rapporti litostratigrafici fra le diverse formazioni presenti, sono state tracciate due sezioni geologico tecniche significative, descritte nel par. 5.2, le cui tracce sono riportate nella Carta Geologico – Tecnica (CGT) in allegato.

Il passaggio dalle unità geologiche alle unità geologico-tecniche è avvenuto mediante l'arricchimento della caratterizzazione geologica, frutto di rilievi di superficie e interpretazione dei sondaggi, con informazioni quantitative sulle velocità di propagazione delle onde S (mediante indagini geofisiche, cfr. parr. 4.2 e 4.3) e sul comportamento fisico-meccanico (mediante interpretazione di prove geotecniche di laboratorio, cfr. par. 5.1), da cui è stato possibile caratterizzare le unità litotecniche delle coperture.

Le geometrie e gli spessori delle unità identificate sono presentate nelle sezioni geologico-tecniche in allegato (cfr. par. 5.2).

Si riporta in Figura 81 uno stralcio della carta geologico-tecnica.



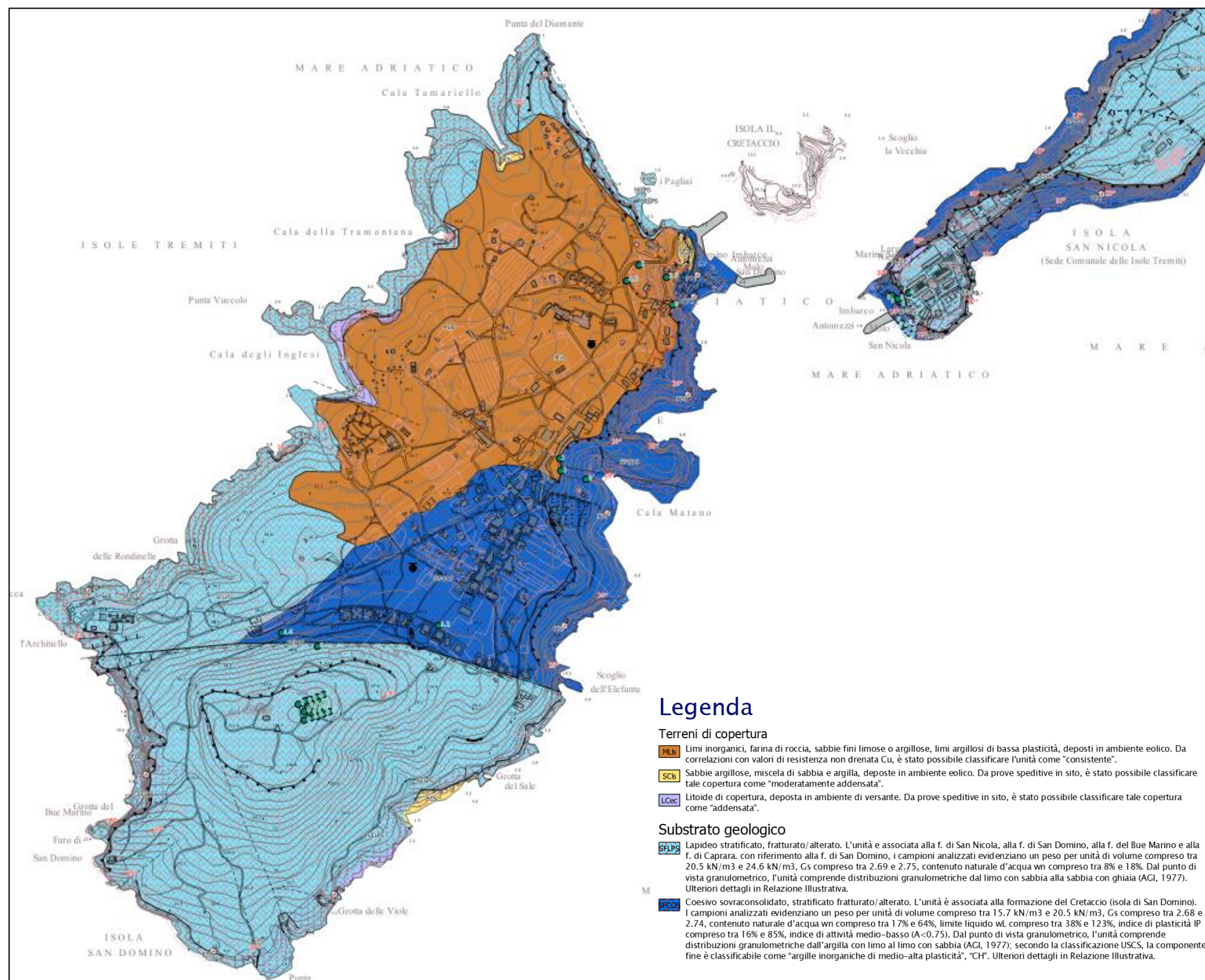


Figura 87. Stralcio della carta geologico-tecnica di isole Tremiti.

### **8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (carta delle MOPS)**

Le informazioni acquisite (rilevamento di campagna, dati da cartografia ufficiale, risultati di indagini pregresse e di nuova esecuzione) hanno permesso di realizzare la **“Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica”** (MOPS). Tale cartografia è stata redatta in linea con gli I.C.M.S., e individua le microzone per le quali, sulla base delle osservazioni geolitologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche e l'interpretazione dei dati acquisiti ex novo possono essere ipotizzati diversi tipi di effetti di amplificazione. La cartografia corrisponde ad un approfondimento di Livello 1 ed individua qualitativamente e sommariamente la geometria delle aree potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici locali. Ciò costituisce una utile base per la progettazione delle necessarie indagini da eseguire nelle successive fasi di approfondimento (livelli 2 e/o 3).

Le prove di sismica pregresse eseguite nell'area di interesse, riportate nel database e descritte nel paragrafo 4.2, come già evidenziato, hanno consentito di definire la velocità solo di alcune litologie di substrato.

Per quanto riguarda le aree stabili suscettibili di amplificazione locale va sottolineato che la caratterizzazione dei litotipi presenti sul territorio indagato, con particolare riguardo agli spessori e alle geometrie laterali, presenta ancora diversi aspetti indeterminati.

Le microzone rappresentate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica sono classificate nelle seguenti categorie:

- a) Zone stabili suscettibili di amplificazione locale: in funzione di quanto ricostruito elaborando le indagini pregresse, i rilievi geologici e le risultanze delle indagini è stato possibile discriminare 5 MOPS, afferenti alle tipologie “20xx” (substrato lento/substrato e copertura/substrato);
- b) Zone di attenzione per instabilità: sono distinte dalle precedenti per la presenza di fenomeni di instabilità, censiti nello studio.

Nel territorio investigato delle isole Tremiti non sono state individuate Zone stabili, cioè zone a morfologia sub-pianeggiante e/o con inclinazione  $<15^\circ$ , con substrato sismico affiorante (caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s).

Di seguito si riportano le descrizioni sintetiche delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali attraverso le loro colonne stratigrafiche. Mancano dati di velocità  $V_s$  attendibili (si veda il paragrafo 5.1) e gli spessori sono indicati solo dove vi sono indagini eseguite che permettono una

stima delle due grandezze o dove l'osservazione diretta ne ha consentito il riconoscimento. Lo spessore massimo rappresentato per tutte le MOPS è pari a circa 100 m (spessore ritenuto significativo per lo studio di MS), ma da considerare puramente indicativo per la mancanza di informazioni precise a profondità superiori.

La Figura 88 e la Figura 89 mostrano le colonnine rappresentative delle MOPS, raggruppate per tipologia (solo substrato, copertura su substrato).

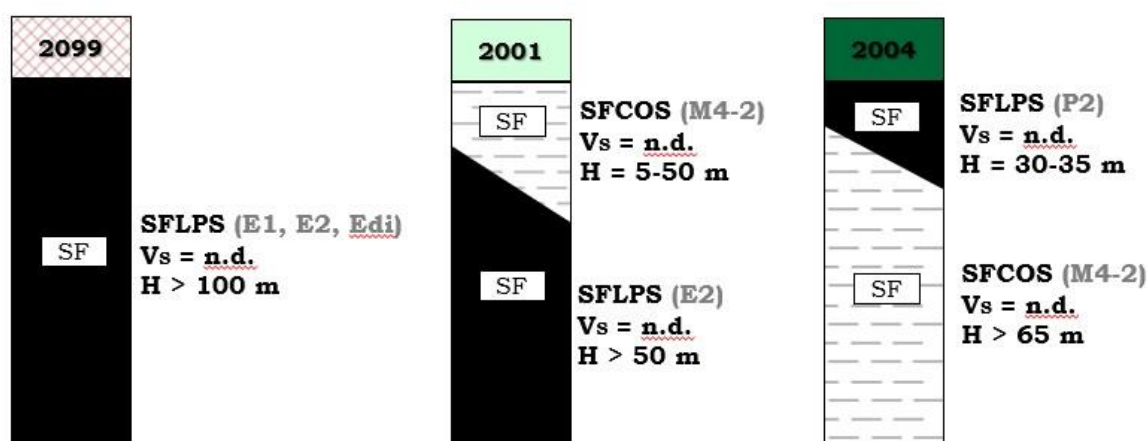


Figura 88. Isole Tremiti. Schema delle MOPS relative alle aree in cui è presente solo litologia di substrato. Nella rappresentazione grafica sono riportati, per ogni unità litotecnica, quando noti, il valore delle relative velocità e degli spessori.

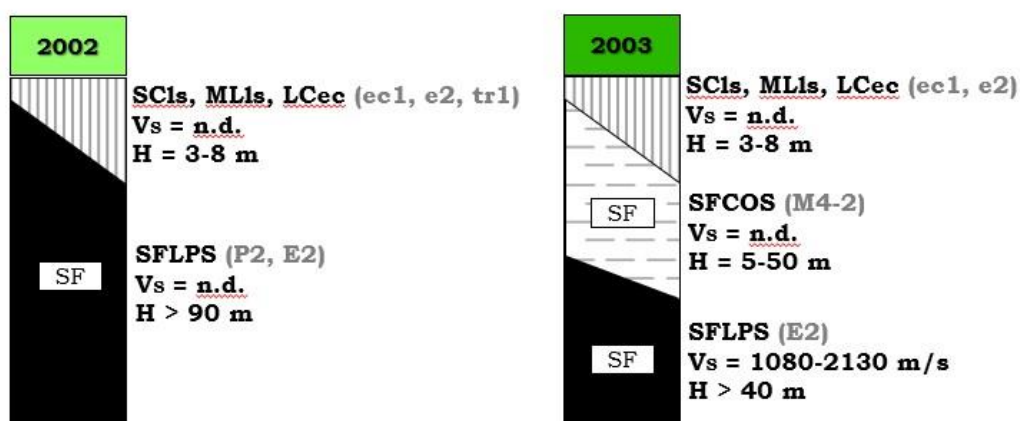


Figura 89. Isole Tremiti. Schema dell'unica MOPS relativa alle aree che presentano coperture su substrato. Nella rappresentazione grafica sono riportati, per ogni unità litotecnica, quando noti, il valore delle relative velocità e spessori.

MOPS 2099. È rappresentativa di aree di affioramento di SFLPS ( $E^1$ ,  $E^2$ ,  $E_d^i$ ) sull'isola di San Domino; occupa il settore più meridionale e quello centro settentrionale costiero. Sono pochi gli edifici o i fabbricati qui presenti, ma tra questi il depuratore comunale, il faro e la cisterna di Poggio del Romito. Come accennato, non sono disponibili dati di velocità per questa MOPS, e gli spessori sono superiori a 100 m (non essendo nota la profondità della base). Qui sono state eseguite le prove HVSR 071026P50 e 071026P54.

MOPS 2001. Occupa il settore centro-orientale e costiero dell'isola di San Domino. In questa MOPS, SFCPS ( $M^{4-2}$ ) poggia su SFLPS ( $E^2$ ); su di essi, in spessori non cartografabili alla scala del presente lavoro, localmente è presente anche  $e^2$ . SFCOS ha uno spessore compreso tra 5 m e 50 m, mentre di SFLPS non è nota la profondità della base. Qui sono presenti numerosi fabbricati, di tipo prevalentemente residenziale. Su questa MOPS sono state eseguite le misure HVSR 07126P51, 07126P53, 07126P59, 07126P60 e 07126P62.

MOPS 2002. Rispetto alla MOPS 2099, questa è caratterizzata dall'affioramento dei terreni di copertura SCIs ( $ec^1$ ), MLIs ( $e^2$ ) a San Domino e LCec ( $tr^1$ ) a San Nicola su SFLPS ( $E^2$  a San Domino,  $P^2$  a San Nicola); è presente nel settore nord-occidentale non costiero dell'isola di San Domino e una piccola area nel settore sud-occidentale di San Nicola; SCIs, MLIs e LCec hanno spessori compresi tra 3 m e 8 m; interessa alcuni resort turistici e alcune case sparse (San Domino) e parte delle mura di cinta dell'isola di San Nicola. Su questa MOPS non sono state eseguite misure HVSR.

MOPS 2003. Rispetto alla MOPS 2001, questa è caratterizzata dall'affioramento dei terreni di copertura SCIs ( $ec^1$ ), MLIs ( $e^2$ ) a San Domino su SFCOS ( $M^{4-2}$ ), a sua volta poggianti su SFLPS ( $E^2$ ). Gli spessori delle coperture sono compresi tra 3 m e 8 m. In merito all'interessamento di fabbricati, in questa MOPS ricadono numerosi edifici privati residenziali e turistici, gli uffici dei Carabinieri e della Guardia Costiera, la Guardia Medica, gli uffici postali. Le prove HVSR eseguite sono: 071026P49, 071026P52, 071026P57 e 071026P61.

MOPS 2004. Occupa gran parte dell'isola di San Nicola, con SFLPS ( $P^2$ ) che poggia su SFCOS ( $M^{4-2}$ ). Interessa numerosi fabbricati ad uso residenziale, ma anche l'eliporto, la chiesa principale, la sede del Comune e il cimitero. SFLPS ha spessore di circa 30-35 m, mentre di SFCOS non è

possibile stimare lo spessore (non è osservabile la base). Su questa MOPS sono state eseguite le misure HVSR 071026P44, 071026P45, 071026P46, 071026P47, 071026P55 e 071026P56.

Per tutte le MOPS vale la considerazione che spesso i sondaggi riportano la presenza di terreni di copertura (o interpretabili come tali) spessi meno di 3 o 5 m, per cui non rappresentabili sulla carta in esame.

Di seguito si riportano (Tabella 18) le Zone di Attenzione per instabilità di versante, con le associazioni stato di attività/cinematismo/MOPS, riconosciute all'interno dell'area oggetto di studio.

**Tabella 18. Zone di attenzione per instabilità associate alle MOPS.**

<b>Instabilità</b>			
<b>ID</b> (Standard 4.2)	<b>Stato di attività</b>	<b>Cinematismo</b>	<b>MOPS</b>
<b>3015</b>	Attiva	Non definito	2001, 2002, 2003, 2099
<b>3025</b>	Quiescente	Non definito	2001, 2002, 2003, 2099
<b>3045</b>	Non definito	Non definito	2001

Completa la carta delle MOPS un profilo topografico che definisce una zona in cui negli studi di livello superiore sono da tenere in conto amplificazioni di tipo topografico oltre che stratigrafico.

Si riporta in Figura 90 uno stralcio dell'elaborato.



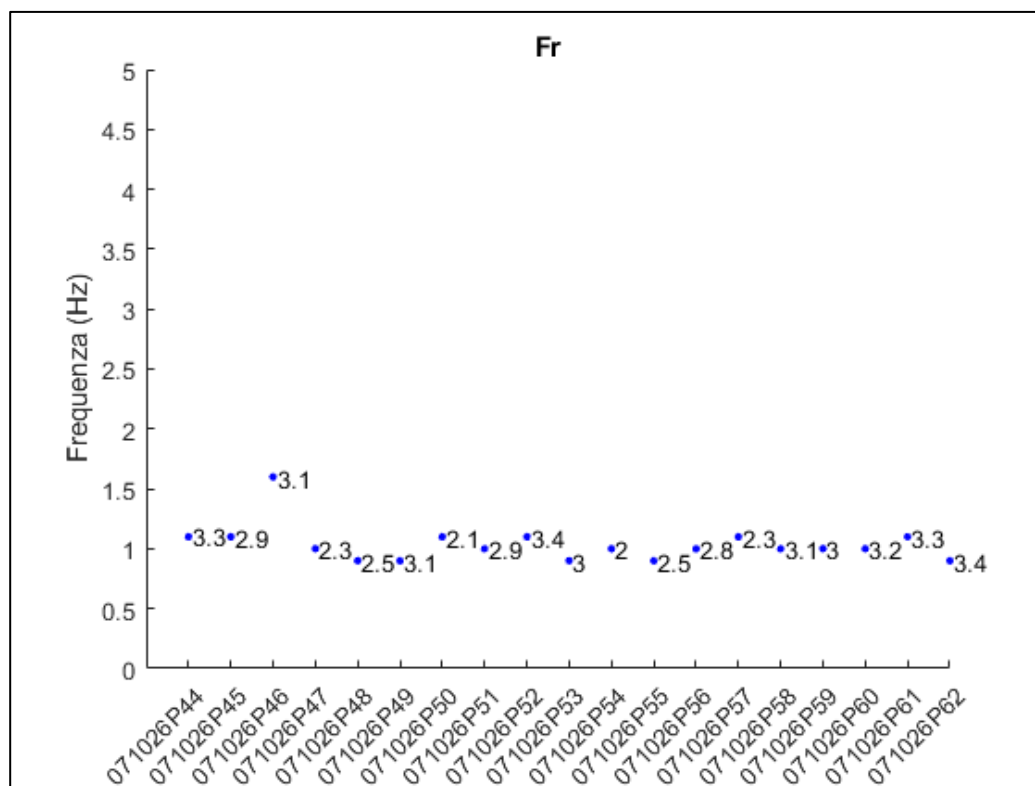


#### 8.4 Carta delle frequenze naturali

Alle isole Tremiti sono state elaborate complessivamente 37 misure di rumore sismico ambientale distribuite sul territorio in studio.

Tutte le misure presentano picchi abbastanza ben riconoscibili, sebbene in alcuni casi sono stati rilevati picchi non del tutto chiari secondo i criteri SESAME, ma i cui grafici fanno comunque ritenere probabile il verificarsi di effetti di risonanza.

La Figura 91 mostra la distribuzione delle frequenze di risonanza  $F_r$  individuate; le etichette indicano il relativo valore di ampiezza.



**Figura 91. Distribuzione delle  $F_r$  individuate per ogni misura effettuata.**

Si può facilmente notare che le frequenze di risonanza individuate ricadono in un range di variabilità molto ristretto, compreso tra 0.9 Hz e 1.6 Hz, e senza rilevanti variazioni tra le due isole investigate.

E' da sottolineare, infatti, che tutte le misure hanno fatto emergere la presenza delle maggiori amplificazioni a basse frequenze, in particolare tra 0.4 Hz e 1 Hz (vedi Tabella 10).

I valori di ampiezza, invece, variano complessivamente da 2 a 3.4, indicando in generale amplificazioni non particolarmente elevate.

I valori maggiori di amplificazione sono stati registrati sull'isola di San Domino in prossimità dell'eliporto, nei pressi dell'Hotel Eden (zona est dell'isola) e in via Cristoforo Colombo (a nord dell'isola), mentre sull'isola di San Nicola nei pressi del cimitero (a nord dell'isola).

**Uno stralcio della risultante Carta delle Frequenze delle due isole è riportato in**

**Figura 92 e**

Figura 93, rispettivamente riferite all'isola di San Domino e all'isola di San Nicola.



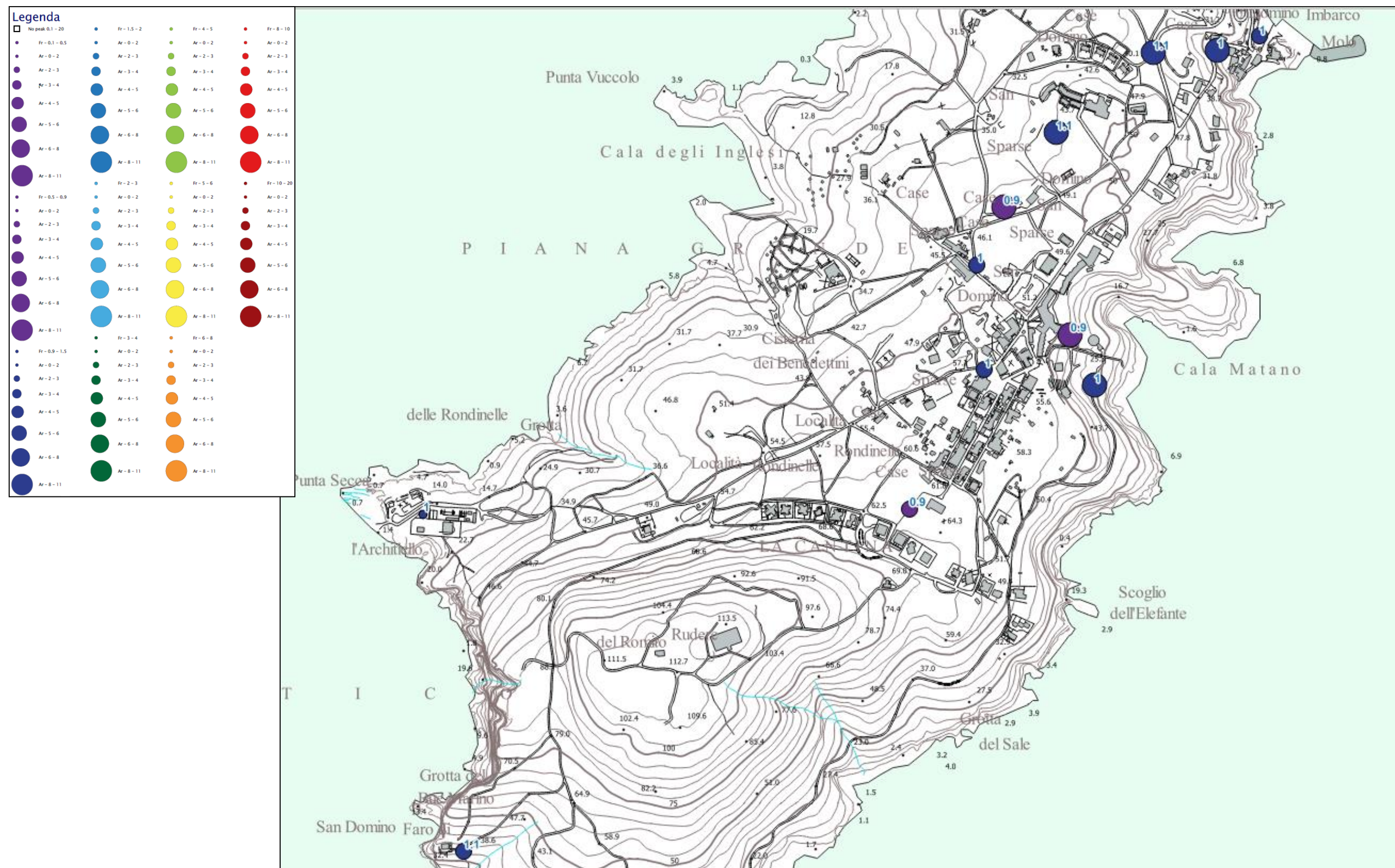
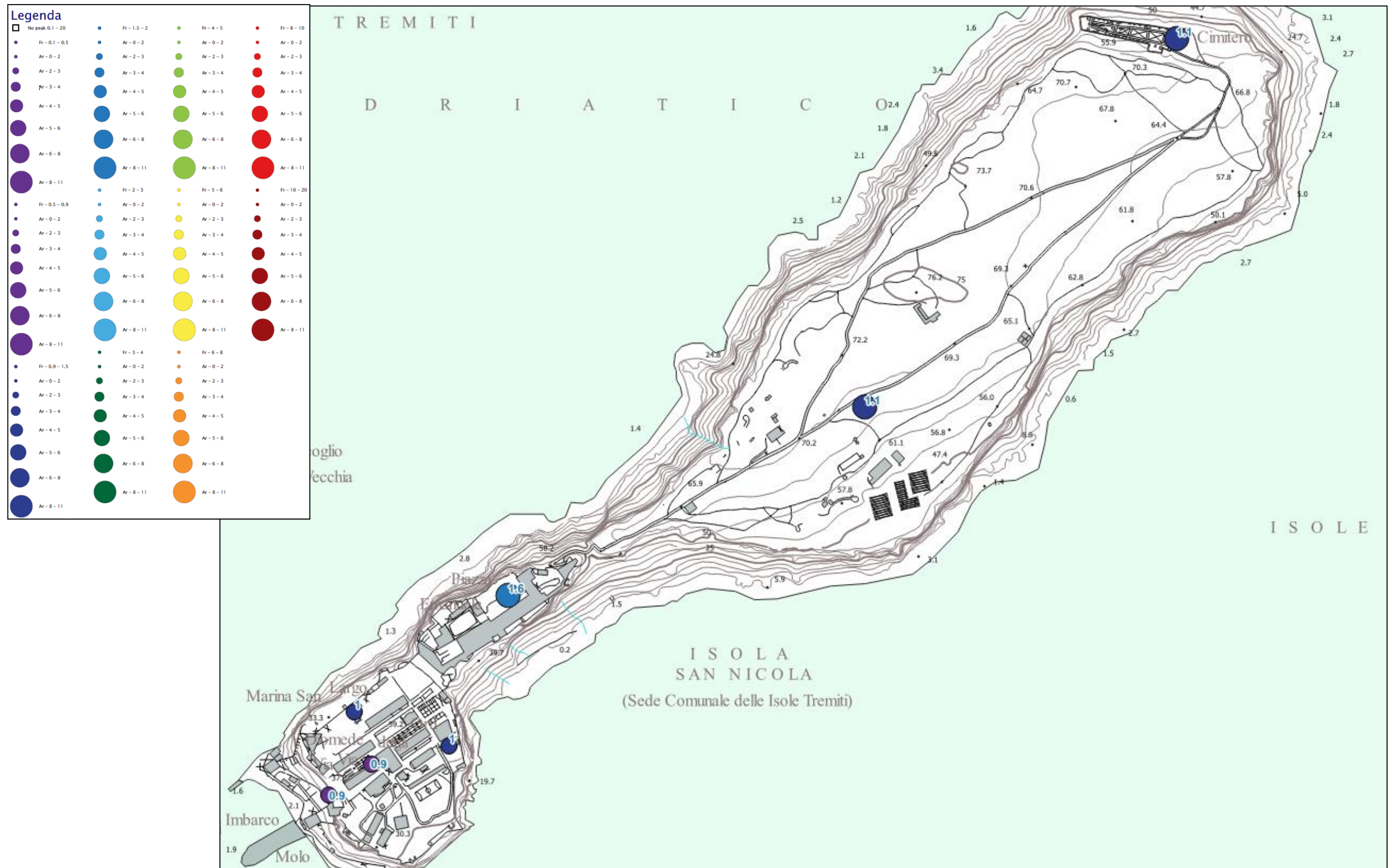


Figura 92. Stralcio di Carta delle Frequenze di risonanza dell'isola di San Domino.





**Figura 93. Stralcio di Carta delle Frequenze di risonanza dell'isola di San Nicola.**

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

La storia sismica del territorio comunale delle isole Tremiti (FG) è stata illustrata nel capitolo 2 dove sono riportati i principali eventi sismici che lo hanno interessato. Il catalogo contempla solo eventi dai primi anni del 1600 in poi; ciò è dovuto alla mancanza di fonti storiche generalmente legate all'importanza politica ed economica del luogo. Le notizie sui danni subiti dall'abitato in occasione dei terremoti storici sono ridotte e frammentarie, e a volte discordanti, basate sulle sole testimonianze tramandate.

La Puglia settentrionale risente degli effetti dei centri sismici del Matese, del Beneventano e dell'Alta Irpinia, aree nelle quali si sono verificati alcuni dei maggiori terremoti della storia italiana; si ricordano, ad esempio, il terremoto del 5 dicembre 1456, il più forte dell'Italia centro – meridionale con epicentro nel settore molisano, del 30 luglio 1627 in Capitanata, del 5 giugno 1688 nel beneventano, del 14 marzo 1702 e del 29 novembre 1732 nel Sannio-Irpinia, del 14 agosto 1851 nel Vulture e dei terremoti in Irpinia del 16 dicembre 1857, del 23 luglio 1930, del 21 agosto 1962 e da ultimo del 23 novembre 1980.

Il territorio delle isole Tremiti ha risentito in particolare dell'evento catastrofico in Capitanata del 30 luglio 1627 con intensità IMCS=7, sul Gargano del 31 maggio 1646 e dell'8 dicembre 1889 entrambi con intensità IMCS=7-8, sulla costa molisana del 22 novembre 1821 con intensità IMCS=7-8 e sulle stesse isole Tremiti del 6 giugno 1892 con intensità IMCS=7. Il catalogo poi riporta tra gli eventi sismici più recenti avvertiti con intensità più elevata a isole Tremiti quello del 23 novembre 1980 in Irpinia-Basilicata (IMCS=4-5), del 30 settembre 1995 sul Gargano (IMCS=4-5) e del 30 agosto del 2000 proprio alle isole Tremiti (IMCS=4-5).

La sismicità recente al di sopra della soglia di danno, come riportato in dettaglio nel paragrafo 2.2, è monitorata da una rete di stazioni digitali permanenti e temporanee, conosciuta come rete accelerometrica nazionale (RAN) gestita dalla Dipartimento della Protezione Civile Nazionale.

Contrariamente a quanto registrato per vari Comuni della Provincia di Foggia in area di catena dell'Appennino Meridionale, negli ultimi anni il territorio di isole Tremiti non è stato interessato da eventi sismici di intensità pari o superiore a IMCS 5. Tra gli eventi sismici recenti maggiormente risentiti sulle isole Tremiti si ricordano il terremoto del 4 Ottobre 2006 con epicentro lungo la Costa Garganica e del 6 dicembre 2015 con epicentro nell'Adriatico Centrale entrambi con intensità IMCS=4.

Con l'ausilio del "Bollettino Sismico Italiano" (Italian Seismic Bulletin)/Sistema ISIDE, l' "Italian Seismic Instrumental and parametric Data-basE", è possibile evidenziare la totalità degli eventi

sismici che caratterizzano il territorio comunale. La quantità degli eventi (n. 407) con ML pari o superiore a 2 circoscritti al centro abitato delle isole Tremiti per 40 Km, con rilievi eseguiti a partire dal 16 aprile 2005, data di immissione operativa del servizio, evidenzia la forte esposizione a cui il territorio comunale è soggetto soprattutto per quelli con epicentro lungo la Costa Garganica.

I sopralluoghi effettuati dai tecnici ASSET, in occasione della redazione degli elaborati relativi alla verifica della CLE, hanno permesso di mettere in evidenza che gli edifici del centro storico sull'isola di San Nicola, i più datati, abbiano risentito maggiormente gli effetti degli eventi sismici. In quest'ottica, gli studi di Microzonazione Sismica sono orientati all'individuazione delle possibili cause dei danneggiamenti, indotte dalla particolare conformazione del territorio urbanizzato, e dalle unità litotecniche presenti.

La ricognizione condotta sinora, preliminare, evidenzia il ragionevole contributo degli effetti topografici sul danneggiamento della porzione antica dell'edificio dell'isola di San Nicola. La concentrazione di edifici danneggiati diminuisce man mano che ci si allontana dal centro storico di San Nicola dove sono presenti costruzioni edificate, con tecniche e materiali differenti, entro la seconda metà del secolo scorso. Sull'isola di San Domino gli effetti degli eventi sismici passati sono poco evidenti; si tratta di edifici realizzati in muratura agli inizi del secolo scorso e di edifici in cemento armato realizzati a partire dagli anni '70.

Nel caso specifico delle isole Tremiti è da tenere sotto controllo il livello di vulnerabilità sismica degli edifici con struttura di muratura in pietrame non consolidata e con struttura in cemento armato fortemente degradato che potrebbero determinare, in caso di evento sismico, un aumento esponenziale del rischio sismico complessivo con coinvolgimento anche delle unità isolate limitrofe.

Il territorio delle isole Tremiti è stato interessato da una scarsa espansione edilizia negli ultimi anni. Gli interventi edilizi recenti hanno riguardato prevalentemente attività di ristrutturazione e demolizione seguita da ricostruzione piuttosto che nuove costruzioni.

Pertanto, sulla base di quanto rilevato, la parte con alta vulnerabilità è sicuramente quella del centro storico sull'isola di San Nicola, ambito territoriale che, per tipologia di materiali costruttivi, rappresenta quella maggiormente esposta a rischio alto per danno grave. Il rischio passa a medio per gli edifici in muratura del centro abitato di San Nicola, sino a diventare basso per gli edifici di più recente realizzazione sull'isola di San Domino, in muratura e in cemento armato.

La maggior parte dei danni causati dalle calamità naturali e antropiche si possono evitare attuando un'azione preventiva di salvaguardia e di controllo sul territorio, di programmazione delle attività



compatibili che su di esso si svolgono, di prevenzione degli eventuali effetti negativi rispetto ai fattori di rischio individuati e studiati in precedenza, di riduzione della vulnerabilità strutturale e di pianificazione del territorio in chiave sismica. Determinando preventivamente le possibili cause, la maggior parte dei danni successivi al verificarsi di un evento calamitoso può essere notevolmente ridotta. Ciò può avvenire predisponendo un'ideale organizzazione di prevenzione e pianificazione degli interventi.

## BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. 1963. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio n. 156 "San Marco in Lamis". Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- AA. VV. 2006. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 384 "Vico del Gargano". Servizio Geologico d'Italia, Firenze.
- Aiello G., De Alteriis G., 1993. Il margine adriatico della Puglia: Fisiografia ed evoluzione terziaria. Mem. Soc. Geol. It., 47, 197-212.
- AGI 2005. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida.
- Alessio, G., E. Esposito, A. Gorini, S. Porfido (1995). Detailed study of the Potentino seismic zone in the Southern Apennines, Italy. Tectonophysics, 250, 113-134.
- Andriani G. & Guerricchio A. (1996). *Caratteri Litostratigrafico-tessiturali e geomeccanici delle rocce affioranti nell'isola di San Nicola (isole Tremiti)*. Estratto da GEOLOGIA APPLICATA E IDROGEOLOGIA. Bari, Volume XXXI.
- Andriani G., Walsh N., Pagliarulo R. (2005). *The influence of the geological setting on the morphogenetic evolution of the Tremiti Archipelago (Apulia, Southeastern Italy)*. Natural Hazards and Earth System Science. 5. 10.5194/nhess-5-29-2005.
- Argnani A., Favali P., Frugoni F., Gasperini M., Ligi M., Marani M., Mattiotti G., Mele G. (1993). *Foreland deformational pattern in the Southern Adriatic Sea*. Annali di Geofisica 36, 229-247.
- Argnani, A., Bortoluzzi, G., Favali, P., Frugoni, F., Gasparini M., Ligi M., Marani M., Mattiotti G., Mele, G. (1994). *Foreland tectonics in the Southern Adriatic Sea In The Northern Apennines*. Mem. Soc Geol. It.
- Argnani A., Frugoni F. (1997). *Foreland deformation in the Central Adriatic and its bearing on the evolution of the Northern Apennine*. Annali di Geofisica 40, 1-10.
- Balduzzi A., Casnedi R., Crescenti U., Tonna M., (1982). Il Plio-Pleistocene del sottosuolo del Bacino Pugliese (Avanfossa appenninica). Geologica Romana 21 (1) 1-28.
- Barani S., Spallarossa D., Bazzurro P. (2009). *Disaggregation of Probabilistic Ground-Motion Hazard in Italy*. Bulletin of the Seismological Society of America, 99 (5): 2638–2661.
- Baratta M. (1901). *I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana*. Ristampa anastatica, Sala Bolognese, 1979. Torino, 1901 949 pp.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E. (2008). *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)*, v. 3:

- summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*, 453(1-4): 20-43.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P. (2000). *Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 BC to 1997*. *Annals of Geophysics*, 43(4): 609-868 (Appendix to volume 43 N° 4, 2000). Doi: 10.4401/ag-3668
  - Bosi V., Galli P., Gallipoli M.R., Del Mese S., Massucci A., Rossi A., Camassi R., Ercolani E., Piccarreda C., Bernardini F., Tertulliani A., Vecchi M., Maramai A., Mucciarelli M., (2002). *Rilievo degli effetti prodotti dalla sequenza sismica molisana dell'ottobre-novembre 2002*. Rapporto tecnico QUEST, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Roma, 13 pp. <https://doi.org/10.13127/QUEST/20021031>
  - Bray J.D., Sancio R.B. (2006). *Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9): 1165-1177.
  - Burrato, P. Vannoli P., Fracassi U. (2016) DISS ITIS088 -Bisaccia Commentary. INGV Database.
  - Butler R.W., Pinter P.R., Maniscalco R., Hartley, A.J. (2020). *Deep-water sand fairway mapping as tool for tectonic restoration: decoding Miocene central Mediterranean palaeogeography using the Numidian turbidites of Southern Italy*. *Journal of the Geological Society of London*.
  - Calamita F., Satolli S., Scisciani V., Esestime P., Pace P. (2011). *Contrasting styles of fault reactivation in curved orogenic belts: Examples from the Central Apennines (Italy)*. *Geological Society of America Bulletin* 123 (5). 1097-1111.
  - Calcagnile G., Panza G.F. (1980). *The main characteristics of the lithosphere-asthenosphere system in Italy and surrounding regions*. *Pageophysics*, 119: 865-879.
  - Camassi R., Castelli V., Molin D., Bernardini F., Caracciolo C. H., Ercolani E., Postpischl L. (2011). *Materiali per un catalogo dei terremoti italiani: eventi sconosciuti, rivalutati o riscoperti*. Quaderni di Geofisica, 96, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Roma, 53 pp.
  - Carrozzo M.T., De Visintini, G., Giorgetti, F., Iaccarino, E., (1973). *General Catalogue of Italian Earthquakes*. CNEN, RT/PROT (73)12, Roma.
  - Casero R., Roure F., Endignoux L., Moretti I., Sage L., Vially R. (1988). *Neogene geodynamic evolution of the southern Apennines*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41: 109-120.

- Casnedi R. 1988. La Fossa Bradanica: origine, sedimentazione e migrazione. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 41: 439-448.
- Casnedi R., Crescenti U., Tonna M. 1982. Evoluzione della avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene, sulla base di dati di sottosuolo. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 24: 243-260.
- Casolari E., A.A. 1998-1999. Geologia dei sedimenti neogenici del Gargano e delle Isole Tremiti: L'espressione sedimentaria di tettonica, eustasia e clima. Dottorato di Ricerca in Sedimentologia XI. Università degli Studi di Bologna - Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali - Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali.
- Castellano C., Del Mese S., Fodarella A., Graziani L., Maramai A., Tertulliani A., Verubbì V., (2018). *Quest-Rilievo Macrosismico per i terremoti del Molise del 14 e 16 agosto 2018*. Rapporto interno INGV. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1405385>.
- Cello C, Mazzoli, S. (1999). *Apennines tectonics in southern Italy: a review*. *Journal of Geodynamics* 27:191-211 doi:10.1016/S0264-3707(97)00072-0.
- Chiarabba C, Jovane, L., Di Stefano, R. (2005). A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings *Tectonophysics* 395:251-268 doi:10.1016/j.tecto.2004.09.013
- Chilovi C., De Feyter AJ, Pompucci, A. (2000). *Wrench zone reactivation in the Adriatic Block: the example of the Mattinata Fault System (SE Italy)*. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 119 3-8.
- Checchia Rispoli, G.1926. Osservazioni geologiche sull'isola di S. Nicola di Tremiti (Mare Adriatico), *Boll. R. Uff. Geol. It.*, 51, 1-3.
- Cinque, A., Patacca, E., Scandone, P., Tozzi, M. (1993). *Quaternary kinematic evolution of the Southern Apennines. Relationships between surface geological features and deep lithospheric structures*. *Annali di Geofisica*, 36: 249-260.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (2017). (art.5, comma 7, O.P.C.M. 13 Novembre n. 3907) *Microzonazione Sismica Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)*.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (2020). (art.5, comma 7, O.P.C.M. 13 Novembre n. 3907) *Microzonazione Sismica Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – Versione 4.2*.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (1983). *Structural model of Italy and gravity map*. *Quaderni della Ricerca Scientifica*, 114(3).

- Crostella A. e Vezzani L. (1964). *La geologia dell'Appennino Foggiano*. Bollettino della Società Geologica Italiana 83(1):121-141.
- Cotecchia V., Guerricchio A., Melidoro G., 1995. Geologia e Processi di Demolizione Costiera dell'Isola di San Nicola (Tremiti). Primo Convegno del Gruppo Nazionale di Geologia Applicata, Giardini Naxos (ME), Geologia Applicata e Idrogeologia, XXX, Parte I, 491-507, 1 tav. f.t., Bari.
  - Cremonini G., Elmi C., Selli R., 1971. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio 156 "San Marco in Lamis". Servizio Geologico d'Italia, 1-65.
  - Cresta, S., Mastronuzzi G., Pampaloni L., Sansò P., 1999. Itinerario n. 1 "Le Isole Tremiti" in Guide Geologiche Regionali. Puglia e Monte Vulture, Vol. 8 (prima parte). 108-125. Soc. Geol. It., BE-MA editrice, Milano.
  - Crostella A., Vezzani L. 1964. La Geologia dell'Appennino Foggiano. Bollettino della Società Geologica Italiana, 83(1): 121-141.
  - Cruden D.M., Varnes D.J. (1996). *Landslide Types and Processes*. Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247.
  - Convertito V., Cubellis E., Marturano A., Obrizzo F., Petrazzuoli S.M. (2014). *Terremoto del 29 dicembre 2013 nel Matese (Mw = 5.0). Indagine speditiva degli effetti nell'area epicentrale e analisi preliminare della sequenza sismica*. Rapporti Tecnici, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, 38 pp.
  - De Alteris G. (1995). *Differential foreland basins in Italy: examples from the central and southern Adriatic Sea*. Tectonophysics 252:349-373
  - Delli Muti F. (1961). *Le isole Tremiti*. Marietti Editori. Terza edizione.
  - Di Bucci D., Mazzoli S., Nesci O., Savelli D., Tramontana M., De Donatis M., Borraccini F. (2003). *Active deformation in the frontal part of the Northern Apennines: insights from the lower Metauro River basin area (northern Marche, Italy) and adjacent Adriatic off-shore*. Journal of Geodynamics, 36(1-2): 213-238.
  - Di Bucci D., Ravaglia A., Seno S., Toscani G., Fracassi U., Valensise G. (2006). *Seismotectonics of the Southern Apennines and Adriatic foreland: Insights on active regional E-W shear zones from analogue modelling*. Tectonics, 25: TC4015 4011-4021.
  - Di Bucci D., Burrato P., Vannoli P., Valensise G. (2010). *Tectonic evidence for the ongoing Africa-Eurasia convergence in central Mediterranean foreland areas: A journey among long-lived shear zones, large earthquakes and elusive fault motions*. Journal of Geophysical Research, 115(B12404)

- Di Luccio F, Piscini, A., Pino, A., Ventura G. (2005). *Reactivation of deep faults beneath Southern Apennines: Evidence from the 1990-1991 Potenza seismic sequences*. Terra Nova 17:586-590 doi: 10.1111/j.1365-3121.2005.00653.x
- DISS Working Group 2021 e 2022. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.
- Doglioni C. (1991). *A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions-possible applications to the Tyrrhenian - Apennines system*. Terra Nova, 3: 423-434.
- Doglioni C., Mongelli F., Pieri P. (1994). The Puglia uplift (SE Italy): *An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics, 13(5): 1309-1321.
- Doglioni C., Di Stefano A., Rio D., Negri A. (1996). *Middle-late Pleistocene uplift of Puglia: an “anomaly” in the Apenninic Foreland*. Mem Soc Geol It, 51: 101-118.
- Doglioni C., Tropeano M., Mongelli F., Pieri P. 1996. Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an “anomaly” in the Apenninic foreland. Mem. Soc. Geol. It., 51, 101-117.
- Felici F., Pierantoni P.P., Milia A., Schettino A., Turco E. (2008). *Il limite di placca Adria-Apulia durante il Cretacico Superiore*. Rendiconti Online Società Geologica Italiana, 1, Note Brevi: 80-82.
- Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. (2012). *New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05.
- Fracassi U., Burrato P., Basili R., Bencini R., Di Bucci D., Valensise G. (2004). *Shallow NE-SW extension and deep E-W right-lateral slip: coexisting seismogenic mechanisms as an expression of Southern Italy geodynamics*, GNGTS- Atti del 23 Convegno Nazionale.
- Fracassi U., Valensise G. (2007). *Unveiling the sources of the catastrophic 1456 multiple earthquake: hints to an unexplored tectonic mechanism in Southern Italy*. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(3): 725–748. DOI: 10.1785/0120050250
- Fracassi U., Burrato P., Vannoli P. (2015). DISS Composite seismogenic sources ITCS063 Andretta Filano – Commentary. <https://diss.ingv.it/diss330/sources.php?ITCS063>.



- Galli P., Molin D., Galadini F., Giaccio B. (2002). *Aspetti sismotettonici del terremoto irpino del 1930*. In: S. Castenetto e M. Sebastiano (eds.), *Il "terremoto del Vulture" 23 luglio 1930, VIII dell'Era fascista*. Roma, 217-262.
- Galli, P., Molin, D., Bosi, Giuliani, R., Mattone, M.; Gruppo QUEST. (2003). *Il terremoto del 31/10/2002: sismicità storica di San Giuliano, rilievo macrosismico e deformazione superficiale cosismica*. *Ingegneria Sismica*, 33, 8-18
- Galli, P. (2020). *Roman to Middle Ages Earthquakes sourced by the 1980 Irpinia fault: historical, archeoseismological, and paleoseismological hints*. *Geosciences*, 10, 286 DOI: 10.3390/geosciences10080286.
- Giornale Costituzionale del Regno delle Due sicilie, 1821.11.22, n. 208.
- Giornale Costituzionale del regno delle Due sicilie, 1821.12.08, n. 222.
- Gruppo di lavoro MS (2008). *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome*. Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd
- Gruppo di lavoro CPTI v.4.0 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. 2022. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia -INGV-. <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>).
- Guerricchio A., 2022. Tremiti, geologia e processi di demolizione costiera dell'isola di San Nicola. Convivere con i grandi movimenti di massa *Rivista Italiana di Geotecnica* - Anno LVI - n. 3-4, 58-65.
- Guidoboni E., Comastri A. (2005). *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – SGA, Bologna, 1037 pp
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G. (2007). CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C. - 1997) and Mediterranean Area (760 B.C. - 1500)*, <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018). CFTI5Med, *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>
- Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019). CFTI5Med, the new release of the catalogue of

- strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, Scientific Data 6, Article number: 80. doi: 10.1038/s41597-019-0091-9.
- Istituto Nazionale di Statistica (2012). 15° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.
  - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia. ITHACA – ITaly HAZard from CAPable faults - Inventario delle faglie capaci in Italia. Guida alla consultazione e all'utilizzo. Tavolo tematico “tettonica attiva e faglie capaci” della rete italiana dei servizi geologici. Giugno 2022.
  - Kastelic V., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Tiberti M.M., Valensise G. (2013). *Seismogenic sources in the Adriatic domain*. Marine and Petroleum Geology, 42: 191-213.
  - Kàrník V., (1971). *Seismicity of the European Area*. Part 2. Dordrecht.
  - Keefer D.K. 1984. *Landslides caused by earthquakes*. Geological Society of America Bulletin.
  - Konno K., Ohmachi T. (1998). *Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor*. Bulletin of the Seismological Society of America, 88(1): 228-241.
  - CNR-IGAG 2020. *Linee Guida Per La Realizzazione Della Carta Geologico-Tecnica Per La Microzonazione Sismica Con Adattamento Ai Contesti Vulcanici*.
  - Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertuliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2019). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International CCBY-SA4.0.
  - Lollino P., Pagliarulo R. (2008). *The interplay of erosion, instability processes and cultural heritage at San Nicola Island (Tremiti Archipelago, Southern Italy)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 31 (2008), 161-169.
  - Magri G., Molin D. (Eds) (1983). *Il terremoto del dicembre 1456 nell'Appennino centro-meridionale*. ENEA, RT/AMB 83/08, 180 pp.
  - Malinverno, A., Ryan, W.B.F. (1986). *Extension in the Tyrrhenian sea and the shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics, 5: 227-245.
  - Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W. (2014). *Earthquake-induced ground failures in Italy from a reviewed database*. Natural Hazards and Earth System Science, 14(4): 799-814. DOI: /10.5194/nhess-14-799-2014

- Mazzotti A., Stucchi E., Fradelizio G., Zanzi L., Scandone P. (2000). *Seismic exploration in complex terrains; a processing experience in the Southern Apennines*. Geophysics, 65: 1402-1417.
- Meletti C., Patacca P., Scandone P., Figliuolo B. (1988). *Il Terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino Meridionale*. Figliuolo, B. (Ed) Osservatorio Vesuviano, Storia e Scienze della Terra 71-108 (I), 35-163 (II)
- Meletti C., Valensise G. (eds) (2004). *Zonazione sismogenetica ZS9*. In: Gruppo di Lavoro, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, App 2, 38 pp
- Meloni F., Molin D. (1985). *I terremoti garganici del 6 dicembre 1875 e 8 dicembre 1889*. Atti del 4° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, 1, 297-312.
- Miccadei E., Mascioli F., Piacentini T. (2011). *Quaternary geomorphological evolution of the Tremiti Islands (Puglia, Italy)*. Quaternary International. 233. 3-15. 10.1016/j.quaint.2010.04.028.
- Milia, A, Torrente M.M, Iannace, P. (2017). *Pliocene- Quaternary orogenic systems in Central Mediterranean: The Apulia- Southern Apennines- Tyrrhenian Sea example*. Tectonics, 36, 1614-1632 DOI: 10.1002/2017TC004571.
- Montone P., Funiciello R., 1989. Elementi di tettonica trascorrente alle Isole Tremiti. Rend. Soc. Geol. It., 12, 7-12.
- Montone P., Mariucci T., Pondrelli S., Amato A. (2004). *An improved stress map for Italy and surrounding regions (central Mediterranean)*. Journal of Geophysical Research, 109(B10410).
- Ortolani F., Pagliuca S., 1987. Tettonica transpressiva nel Gargano e rapporti con le catene appenninica e dinarica. Mem. Soc. Geol. It., 38, 205-224.
- Patacca E., Scandone P. (1989). *Post- Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*, in Baoriano, a Bonafede, M Piccardo GB e Vai GB Eds., The lithosphere in Italy. Advances in Earth Sciences Research It. Nat. Comm Int Lith. Prog. Mid Term Conf (Rome 5-6 May 1987). Atti Conv. Lincei
- Patacca, E., Sartori, R., Scandone, P. (1990). *Tyrrhenian basin and Appenninic arc Kinematic relations since late Tortonian times*. Memorie della Società Geologica Italiana, 45: 425-451
- Patacca E., Scandone P. (2007). *Geology of the Southern Apennines*. Bollettino della Società

Geologica Italiana n.7, 75-119.

- Pescatore T. (1988). *La sedimentazione miocenica nell'Appennino campano-lucano*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 431-438.
- Piccardi L. (1998). *Cinematica attuale, comportamento sismico e sismologia storica della faglia di Monte Sant'Angelo (Gargano, Italia): La possibile rottura superficiale del 'leggendario' terremoto del 493 D. C.*. Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 21(1):155-166.
- Pino NA, Palombo, B., Ventura, G., Perniola, B., Ferrari, G. (2008). *Waveform modeling of historical seismograms of the 1930 Irpinia earthquake provides insight on "blind" faulting in Southern Apennines*. Journal of Geophysical Research 113: B05303 05301-05316
- Pondrelli S., Salimbeni S., Ekström G., Morelli A., Gasperini P., Vannucci G. (2006). *The Italian CMT dataset from 1977 to the present*. Physics of the Earth and Planetary Interior v. 159 (3-4) 286-303
- Postpischl D., Branno A., Esposito E., Ferrari G., Marturano A., Porfido S., Rinaldis V. e Stucchi M., *The Irpinia earthquake of November 23, 1980*, in "Atlas of Iseisismal Maps of Italian Earthquakes", a cura di D. Postpischl, CNR-PFG, Quaderni de «La Ricerca Scientifica», n.114, vol.2A, pp.152-159. Roma
- Postpischl D., (1985). *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. Progetto Finalizzato Geodinamica. "Quaderni de «La Ricerca Scientifica»", n.114, v.2B.
- Regione Puglia 2007. *"Delibera di Giunta Regionale n. 130 del 26/02/2007: Presa d'atto del progetto IFFI - inventario dei fenomeni franosi in Puglia"*. BURP n. 34 del 07/03/2007. Regione Puglia (2007).
- Ricchetti G., Ciaranfi N., Luperto Sinni E., Mongelli F. e Pieri P. (1988). *Geodinamica ed evoluzione stratigrafica – tettonica dell'avampese apulo*. Mem Soc Geo It 57-82
- Ridente, D., Trincardi, F. (2002). *Eustatic and tectonic control on deposition and lateral variability of Quaternary regressive sequences in the Adriatic basin (Italy)*. Marine Geology 184, 273e293.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). *The Italian earthquake catalogue CPTI15*. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds) (2022). *Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15), version 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

- Schettino A., Turco E. (2011). *Tectonic history of the western Tethys since the Late Triassic*. Geological Society of America Bulletin, 123: 89-105.
- Scrocca D., Doglioni C., Innocenti F., Manetti P., Mazzoti A., Bertelli L., Burbi L., D'Offizi S. (2003). CROP Atlas: seismic reflection profiles of the Italian crust. *Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia*, 62: 15-46.
- Scrocca D. (2006). *Thrust segmentation induced by differential slsb retreat in the Apennines (Italy)*. Terra Nova 18, 154-161 <http://dx.doi.org/10.1111/j.13653121.2006.00675.x>
- Scrocca D. (2010). *Southern Apennines: structural setting and tectonic evolution*, Journal of the Virtual Explorer.
- Seed H.B., Cetin K.O., Moss R.E.S., Kammerer A.M., Wu J., Pestana J.M., Riemer M.F., Sancio M.F., Bray J.D., Kayen R.E., Faris A. (2003). *Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework*. 26<sup>th</sup> Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar. 2003
- Selli R. (1971) - *Isole Tremiti e Pianosa*. In: G. Cremonini, C. Elmi & R. Selli (Eds.), «*Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 156 San Marco in Lamis*». Servizio Geologico d'Italia, Roma, 49-64.
- SESAME European research project WP12 Deliverable D23.12, 62 pp, ([http://sesame.geopsy.org/Papers/HV\\_User\\_Guidelines.pdf](http://sesame.geopsy.org/Papers/HV_User_Guidelines.pdf)).
- Skempton A.W., Hutchinson, J. (1969). *Stability of natural slopes and embankment foundations*. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico, State of the Art Volume.
- Sgrosso I., 1990. Sedimenti miocenici discordanti nell'Appennino centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 45, 613-615.
- Spallarossa D., Barani S. (2007). *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-e*. Deliverable D14- Task 1 Completamento delle elaborazioni relative a MPS04. Convenzione INGV-DPC2004-2006.
- Teofilo G., Festa V., Sabato L., Spalluto L., Tropeano M., 2016. 3D modelling of the Tremiti salt diapir in the Gargano offshore (Adriatic Sea, Southern Italy): constraints on the Tremiti Structure development. Soc. Geol. It., Vol. 135, No. 3, 474-485.
- Valduga A. (1973). *Fossa Bradanica*. In Geologia dell'Italia, a cura di Desio A., UTET, 692-695.
- Valensise G., Pantosti, D. (Editors) 2001. *Database of potential sources for earthquakes larger than M=5.5 in Italy*. Ann. Geophys. 44 (1) 797- 807

- Valensise G., Pantosti D., Basili R. (2004). *Seismology and Tectonic Setting of the 2002 Molise, Italy, Earthquake*. Earthquake Spectra, 20(S1): 23-37.
- Vannoli P., Bernardi, F., Palombo B., Vannucci G., Console, R. Ferrari, G. (2016). *New constraints shed light on strike slip faulting beneath the southern Apennines (Italy): The 21 August 1962 Irpinia multiple earthquake*. Tectonophysics, 691: 375-384 doi:10.1016/j.tecto.2016.10.032
- Vezzani, L., Festa, A., Ghisetti, F.C. (2010). *Geology and tectonic evolution of the Central- Southern Apennines, Italy*. Geological Society of America Special Paper, 469.
- Zezza F., Merenda L., Bruno G., Crescenzi E., Iovine G. (1994). *Condizioni di instabilità e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno pugliese*. Geologia applicata e idrogeologia, XXIX, Bari.

#### Sitografia:

- Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centro Meridionale sede Puglia: <https://www.adb.puglia.it/public/news.php>
- Catalogo ITHACA – Catalogo delle Faglie Capaci ISPRA-Dipartimento del Servizio Geologico d'Italia (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/>)
- Centro MS: <https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/>
- Dati ISTAT: [dati-censimentipermanenti.istat.it](https://dati-censimentipermanenti.istat.it)
- Google Earth
- Isole Tremiti: <https://www.leisoletremiti.it/index.php/puglia/la-raccolta-dellacqua-alle-tremiti.html>
- Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione dell'Ambiente (ISPRA): <https://www.isprambiente.gov.it/it>
- Ministero della Transizione Ecologica: <https://www.va.minambiente.it>
- Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR): <https://pugliacon.regione.puglia.it/web/sit-puglia-paesaggio/ambiti-paesaggistici>
- Portale del Servizio Geologico d'Italia: <http://portalesgi.isprambiente.it/it>
- Portale Ambientale della Regione Puglia: <https://www.regione.puglia.it/web/ambiente>
- Portale informativo e cartografico della Microzonazione Sismica e della Condizione Limite per l'Emergenza: <https://www.webms.it/ms>



- Progetto IFFI: <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>
- Protezione Civile Microzonazione Sismica: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/microzonazione-sismica>
- Sistema Informativo Territoriale della regione Puglia: <http://www.sit.puglia.it/>
- Repertorio Nazionale per gli Interventi di Difesa del Suolo: <http://www.rendis.isprambiente.it/rendisweb/>
- Sistema Puglia: <http://www.sistema.puglia.it/>
- Sportello Telematico Unificato della Provincia di Foggia: <https://sportellotelematico.provincia.foggia.it/autorizzazione-sismica>
- Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore: <http://adbpcn.regione.molise.it/autorita/index.html>