



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

Note alla carta geologica e geomorfologica

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 / NI_001



Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica



NOTE ALLA CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA

Inquadramento geologico generale

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 1).

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 1 – 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.

Le aree di perimetrazione, 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.

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 2 a, b), nel quale si espongono le caratteristiche tettoniche e strutturali del settore geografico nel quale è inclusa l'area di studio (Figura 3).

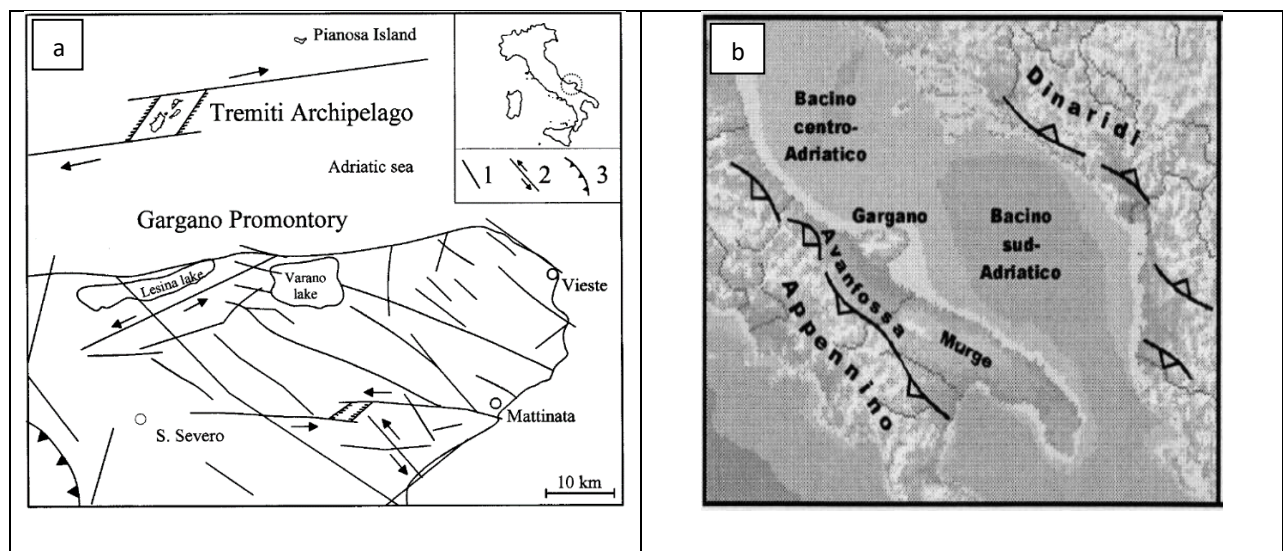


Figura 2 – a) estratto della carta strutturale schematica dell'arcipelago delle Isole Tremiti e del Promontorio del Gargano (Montone & Funicello, 1989); b) schema geologico di insieme del settore centro-meridionale del Mare Adriatico (Funicello, 1988).

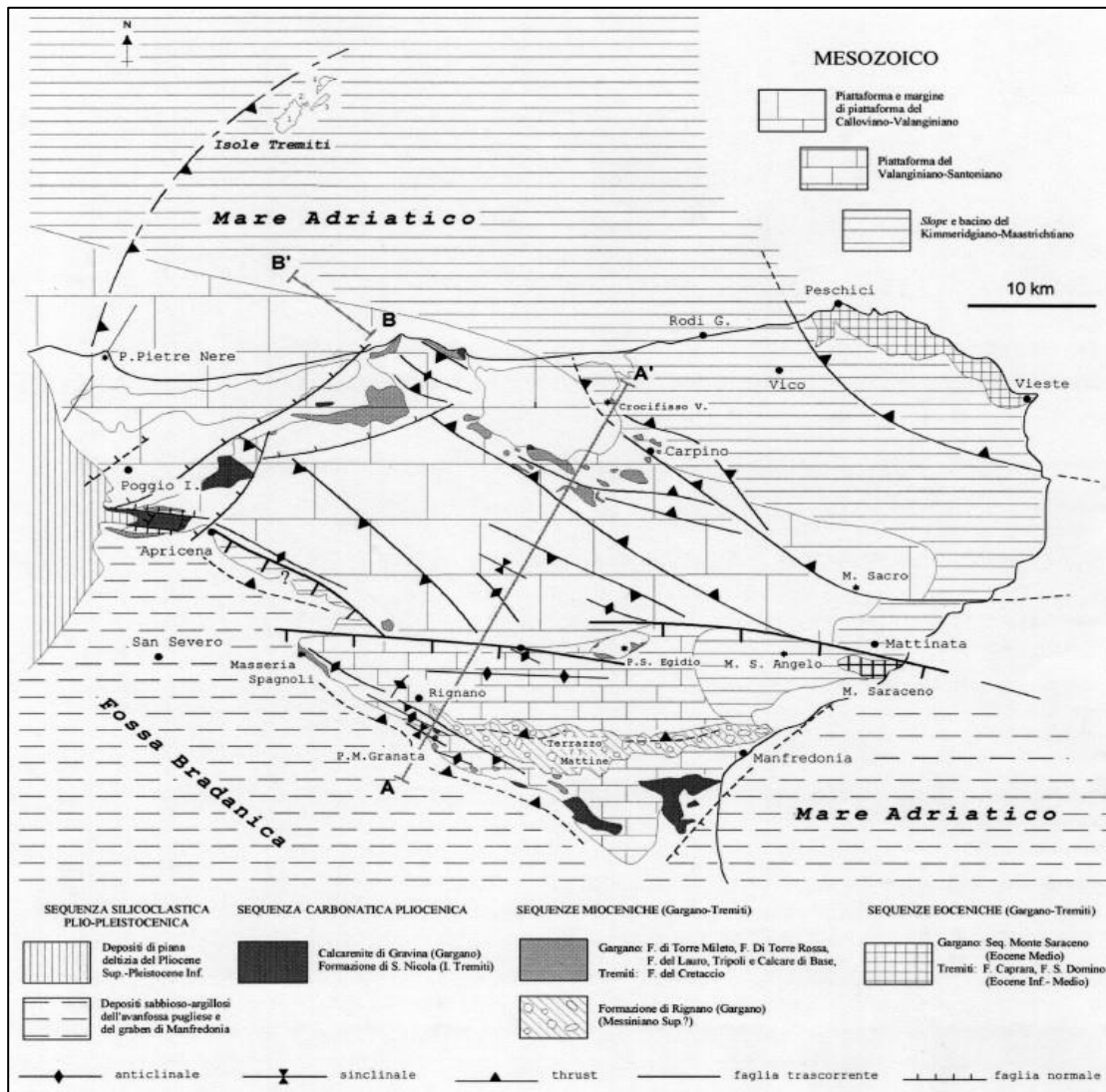


Figura 3 – schema tettonico di inquadramento del Promontorio del Gargano (Doglioni et al., 1996).

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 4).

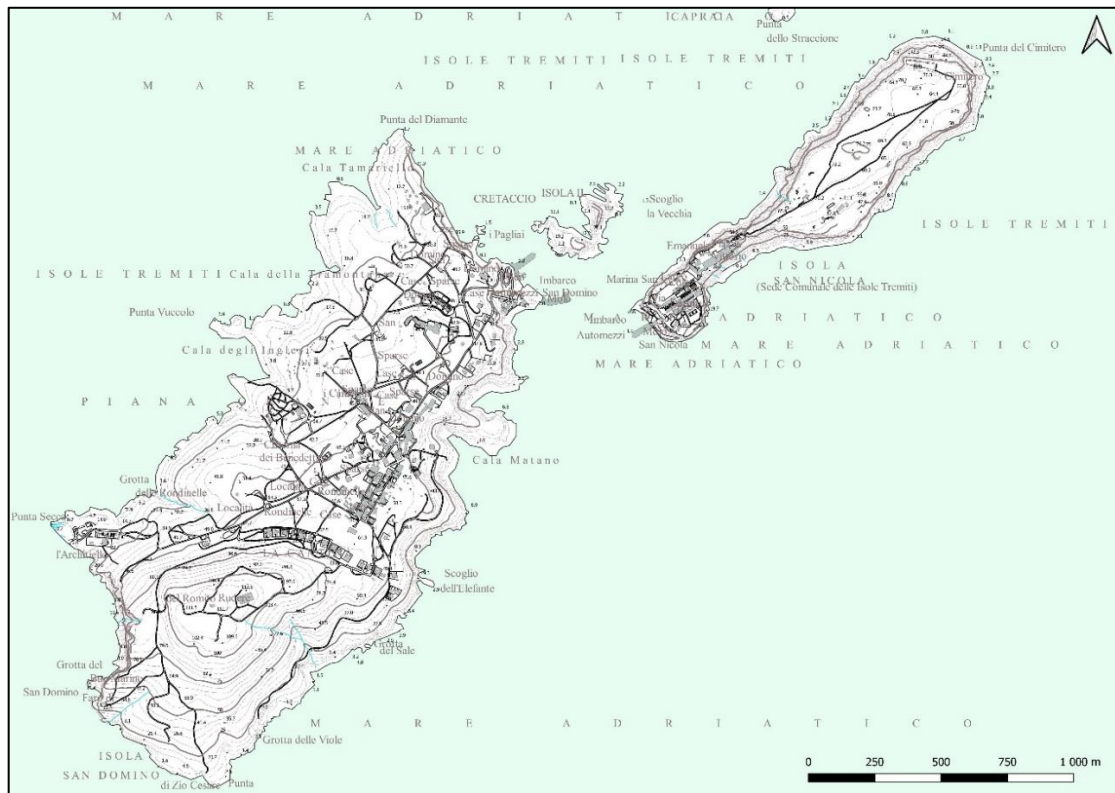


Figura 4 – area di perimetrazione che coincide con il contorno delle isole di "San Domino" e "San Nicola", incluse nelle sezioni della Carta Tecnica Regionale n. 383061-bis "Punta del Diamante", n. 383062-bis "San Domino", n. 383073-bis "San Nicola", n. 383074-bis "Capraia" in scala 1:5.000.

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 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 5).

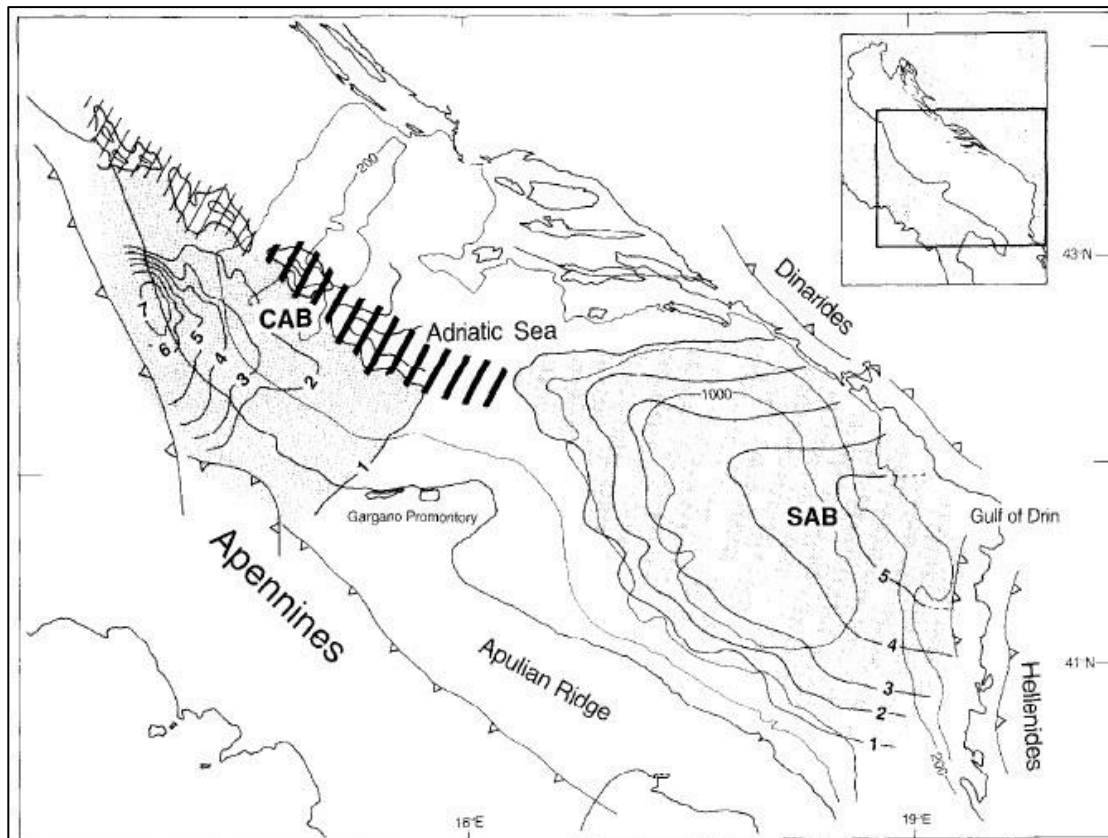


Figura 5 – schema delle isobate rappresentative del bacino adriatico centro-meridionale (De Alteriis, 1995).

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 afferenti al substrato geologico a quattro tipologie di formazioni descritte nella cartografia geologica, dalla più antica alla più recente identificate come: Formazione del Bue Marino (E^1); Formazione di Caprara (E_d^j); 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 o Terziarie [Paleogene – Neogene]:*
 - Formazione del Bue Marino (Paleocene);
 - 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);

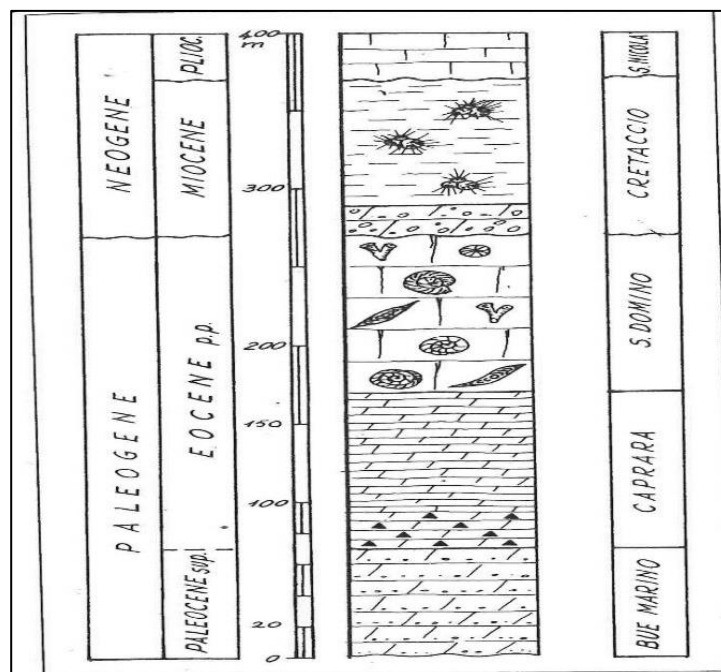


Figura 6 – colonna stratigrafica sintetica della successione cenozoica affiorante alle Isole Tremiti tratta dalle Note Illustrative del Foglio n. 156 "San Marco in Lamis".

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 di San Nicola e per buona parte di quello di San Domino.

Dalle osservazioni effettuate per la quasi totalità delle superfici ed in parte con spostamenti in barca 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^I); 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 alla legenda ed ubicati nell'estratto cartografico allegato alle note, con rispettiva documentazione fotografica riportata nel 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 circoscritte alle cale nei settori centro-orientale e settentrionale, nell'intorno dell'Isola di San Domino ed in un'esigua area prossima alla darsena dell'Isola di San Nicola.

Di seguito si riporta l'estratto cartografico delle aree di perimetrazione oggetto di rilevamento che coincidono rispettivamente al 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 7, Figura 8).

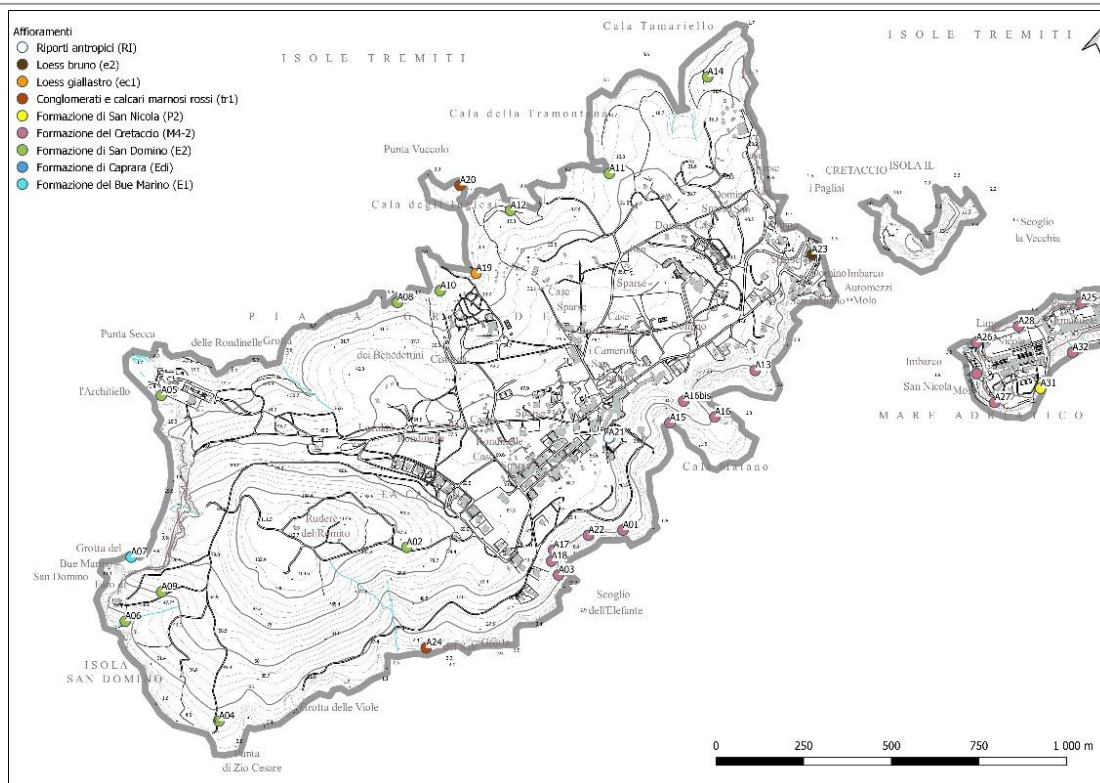


Figura 7 – distribuzione dei principali affioramenti individuati nell’area di perimetrazione che coincide con il contorno dell’Isola di San Domino esaminata su base cartografica CTR (Carta Tecnica Regionale).

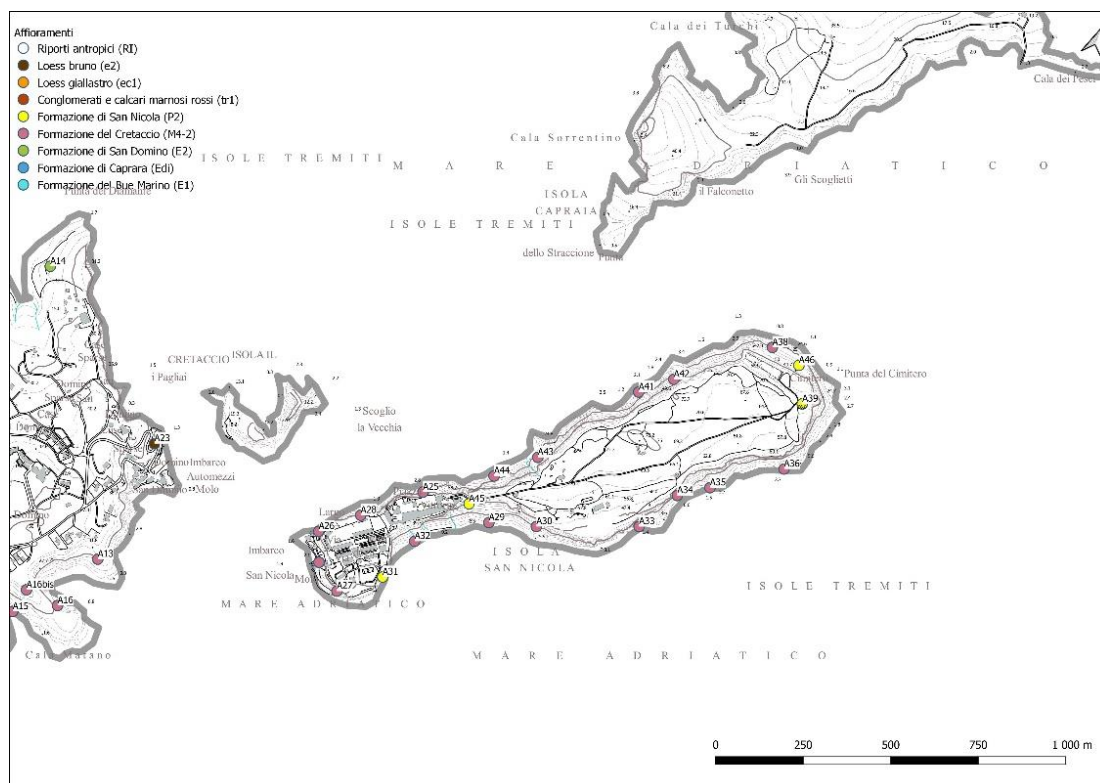


Figura 8 – distribuzione dei principali affioramenti individuati nell’area di perimetrazione che coincide con il contorno dell’Isola di San Nicola esaminata su base cartografica CTR (Carta Tecnica Regionale).

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.

- *Unità del Substrato Geologico*

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

Tale Unità, è stata suddivisa in due parti: la parte 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 $50 \div 60$ 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 dal quale ne trae l'identificativo del nome.

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 paleogenica 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 9, 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".

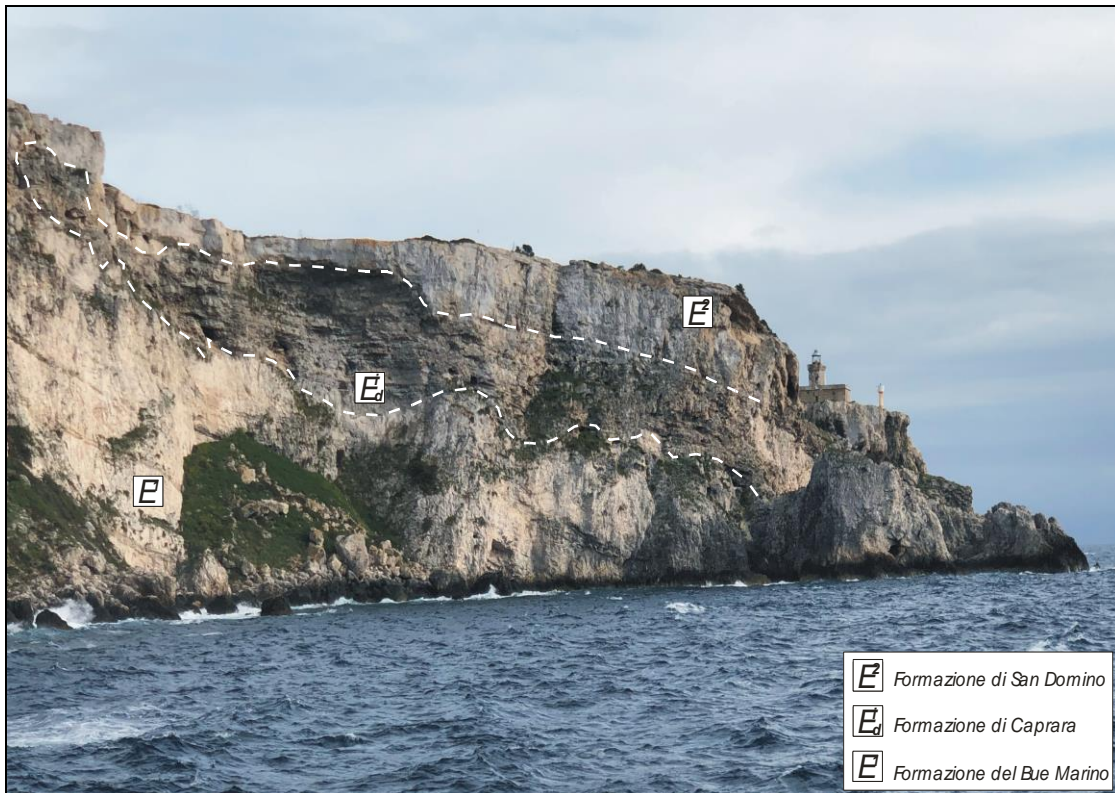


Figura 9 – falesia di "Cala del Bue Marino" presso il Faro di San Domino, la linea in stile tratteggio evidenzia e suddivide le formazioni riportate in legenda.

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 paleogenica 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 bio-costruiti con abbondanza di macro-foraminiferi, 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 10.

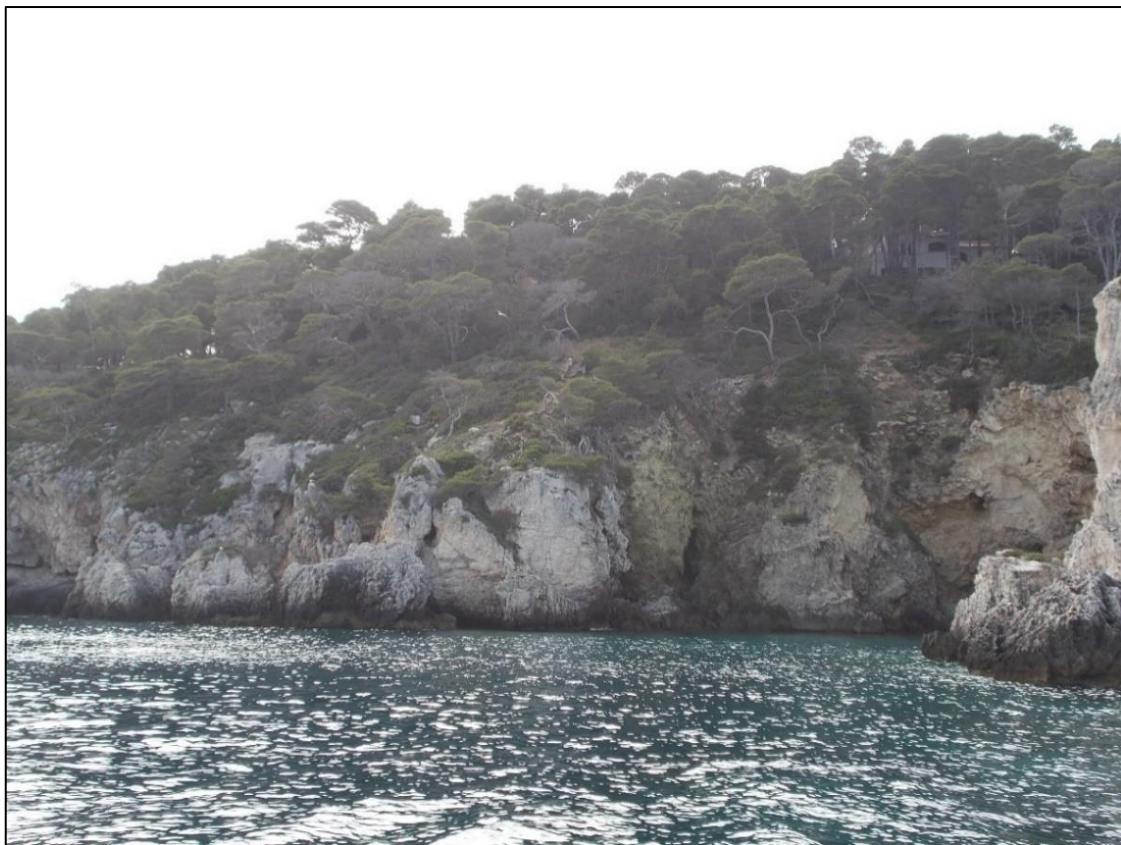


Figura 10 – contatto tettonico tra la Formazione di San Domino [E^2] e la Formazione del Cretaccio [M^{4-2}] in prossimità dello "Scoglio dell'Elefante" posto sul versante orientale dell'isola.

Il contatto di natura tettonica che pone in adiacenza le due unità, è individuabile anche 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 obliterate dalle coperture

continentali pleistoceniche ed a contatto con le calcareniti ed i calcari organogeni della Formazione di San Domino (Figura 11).



Figura 11 – 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 12 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 12 b).

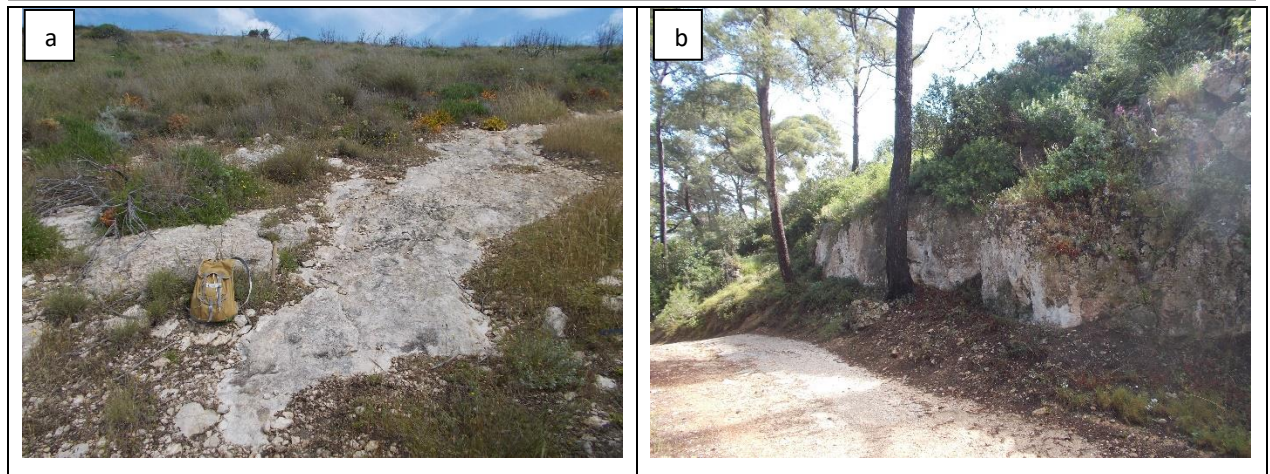


Figura 12 – a) stop geologico (Aff. 09 in Figura 7), calcareniti e calcari organogeni a stratificazione indistinta lungo il sentiero che conduce al Faro di San Domino; b) gradone morfologico con altezza nell'ordine del metro lungo il sentiero sul fianco meridionale del "Poggio del Romito".

Procedendo via mare si osservano numerose grotte di varia dimensione "Grotta del Sale" ed in località "Cala delle Roselle", 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 13 a, b).

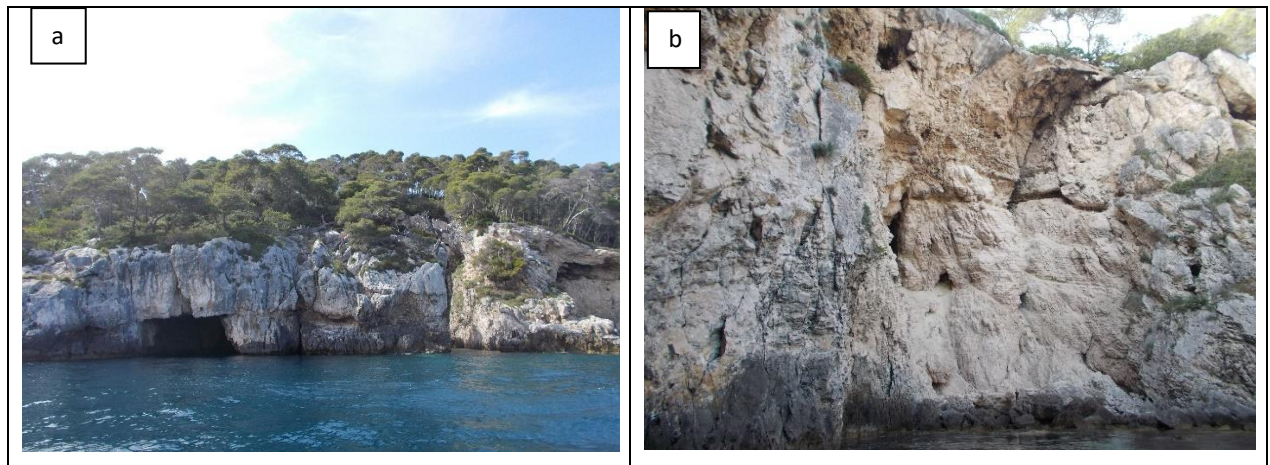


Figura 13 – a) vista panoramica della "Grotta del Sale" caratterizzata da dolomie calcaree e calcareniti cristalline [E²]; b) volta di una cavità parzialmente crollata in località "Cala delle Roselle".

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 14 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 mesostrutture tettoniche ad andamento Est-Ovest (Figura 14 b).

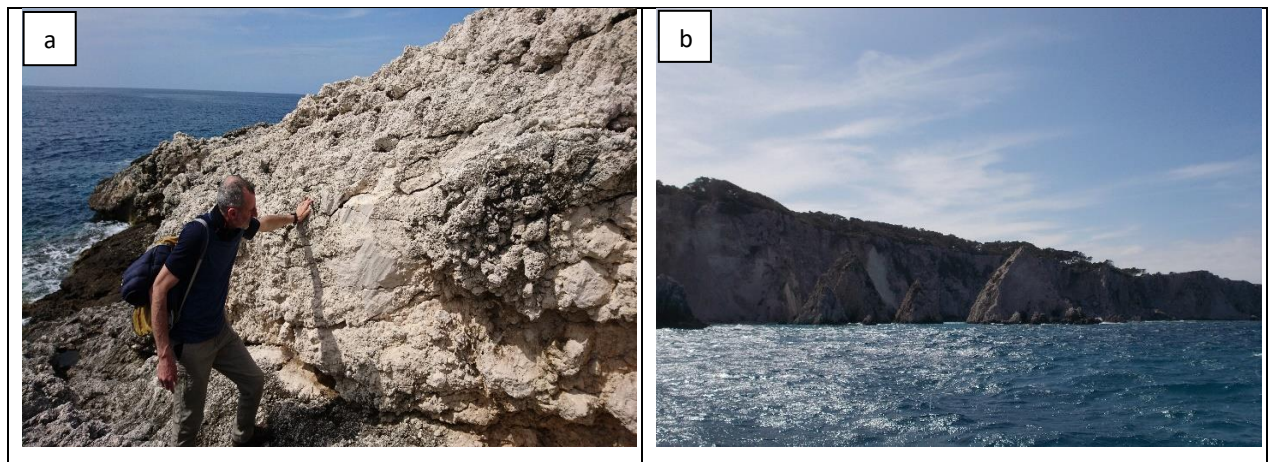


Figura 14 – a) stop geologico (Aff. 14 in Figura 7), gradino di faglia con tracce associabili a strie di trascinamento in prossimità di "Cala Tomariello"; b) falesia di "Cala del Diamante" con i faraglioni denominati "I Pagliai".

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 15).

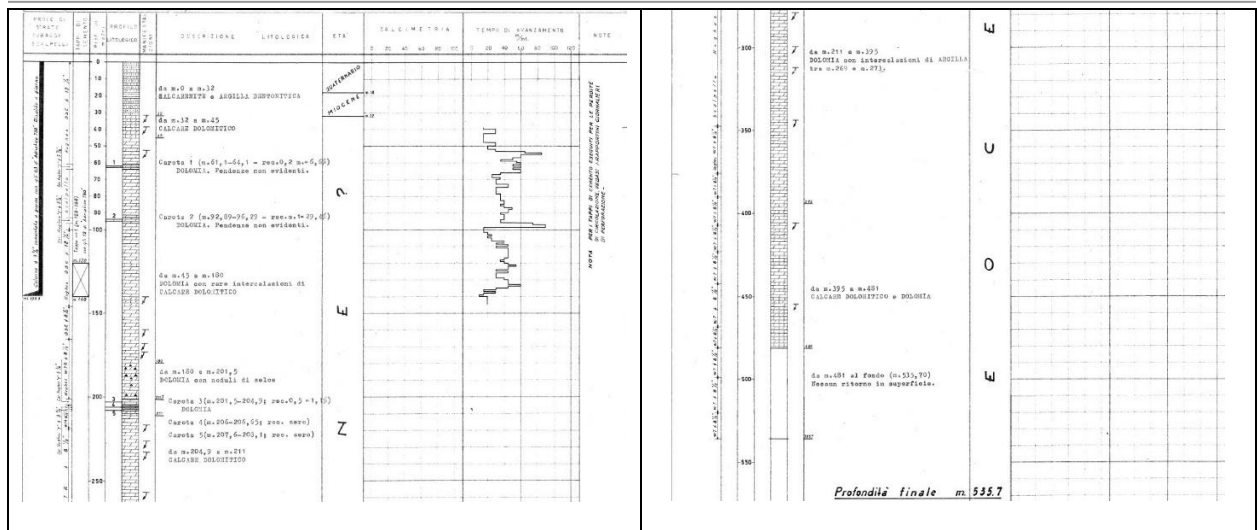


Figura 15 – sondaggio rappresentativo dei termini afferenti alla Formazione di San Domino $[E^2]$, affioranti da piano campagna fino al fondo foro della verticale geognostica a 535,70 metri (P22_071026).

Formazione del Cretaccio M^{4-2} (Burdigaliano – Tortonianiano), come denominata nelle Note Illustrative del Foglio n. 156 da Cremonini et al., 1971, è una formazione geologica terziaria neogenica poggianti 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 torbido, 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 16) e buone esposizioni del contatto trasgressivo del "Cretaccio" con la sottostante Formazione di San Domino (Figura 17 a, b).



Figura 16 – 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".

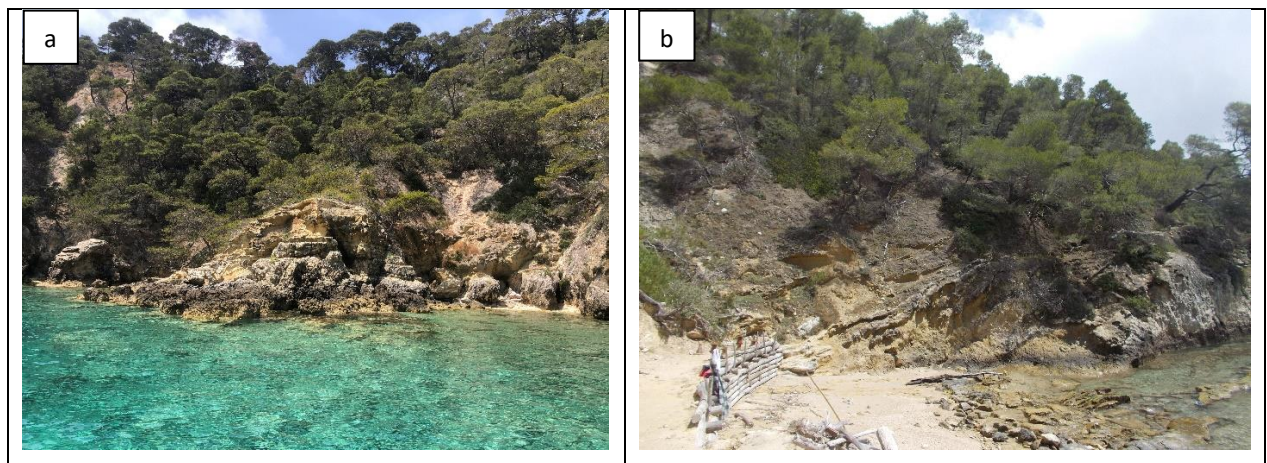


Figura 17 – a) strati doloarenitici della Formazione del Cretaccio [M^{4-2}] in contatto trasgressivo sui calcari organogeni e calcareniti della Formazione di San Domino [E^2] nella caletta dell'Hotel Eden; b) termini della sequenza [M^{4-2}] in contatto trasgressivo sulla sequenza [E^2] con direzione 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 18).



Figura 18 – 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 19).

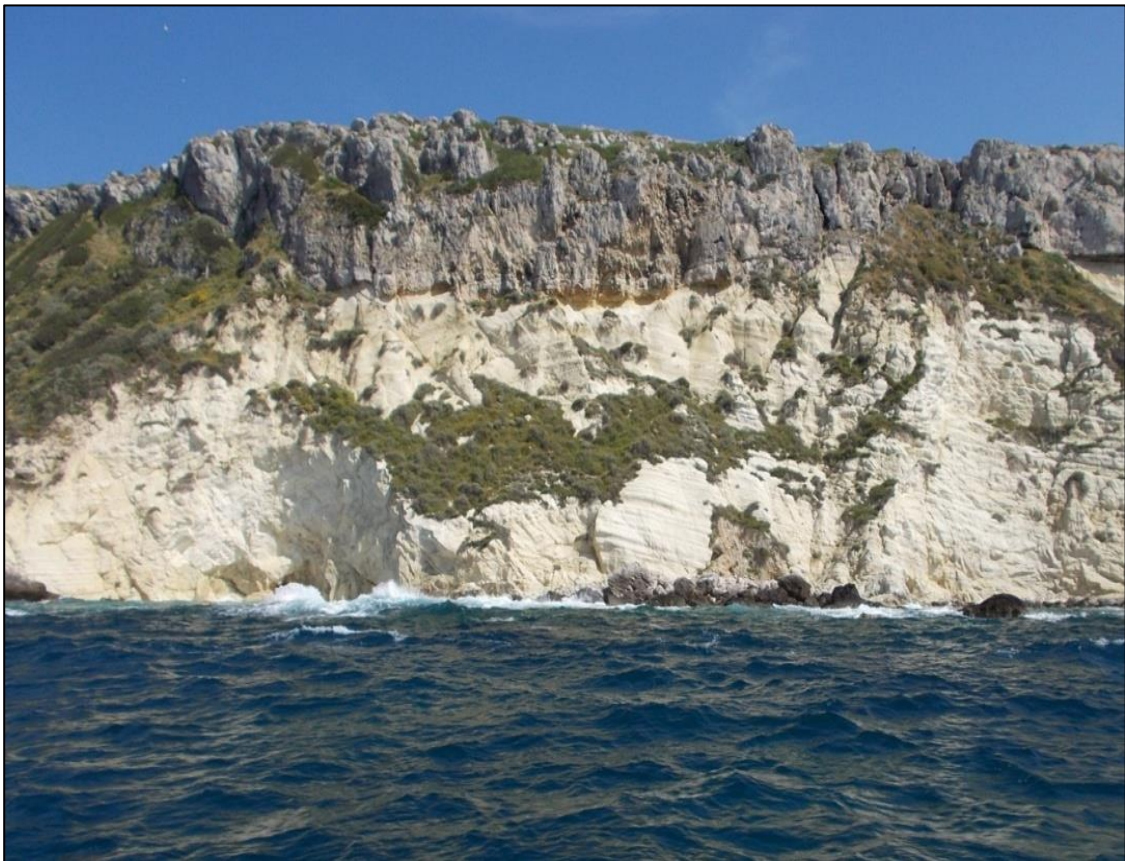


Figura 19 – falesia dell'isola di San Nicola esposta verso l'isola di Caprara a Nord in cui è ben evidente il contatto trasgressivo tra la Formazione del Cretaccio [M^{4-2}] e la sovrastante Formazione di San Nicola [P^2].

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 20 a, b) e dislocazioni lungo faglie normali a basso rigetto.

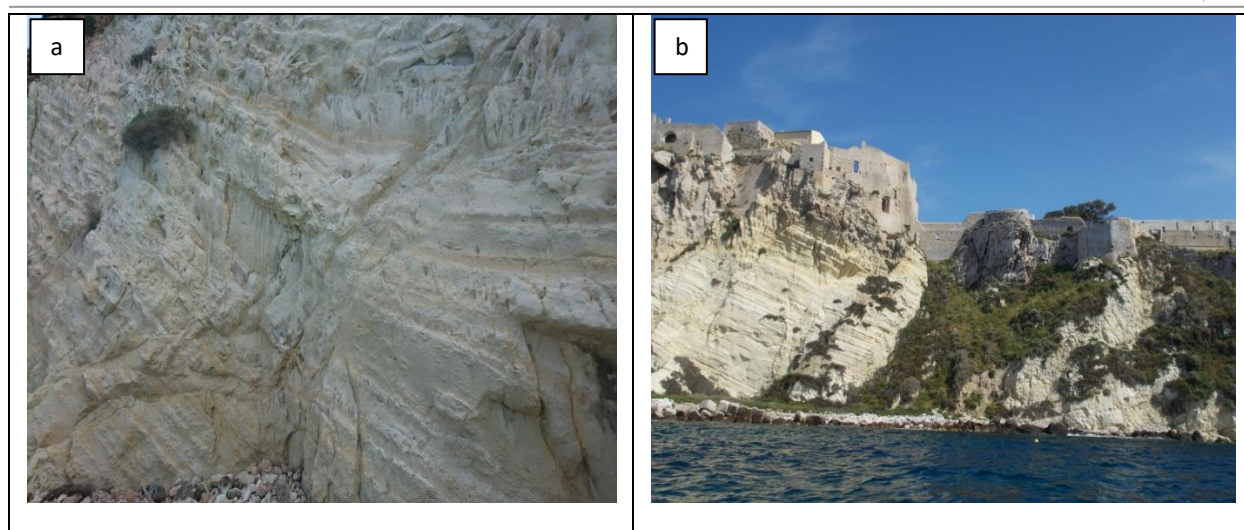


Figura 20 – a) faglia normale sin-sedimentaria nella Formazione del Cretaccio [M^{4-2}] in prossimità della darsena di San Nicola; b) sistema di faglie a geometria diretta e trascorrente lungo la falesia esposta a ponente ed in corrispondenza della zona storico-monumentale dell'isola.

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 21).

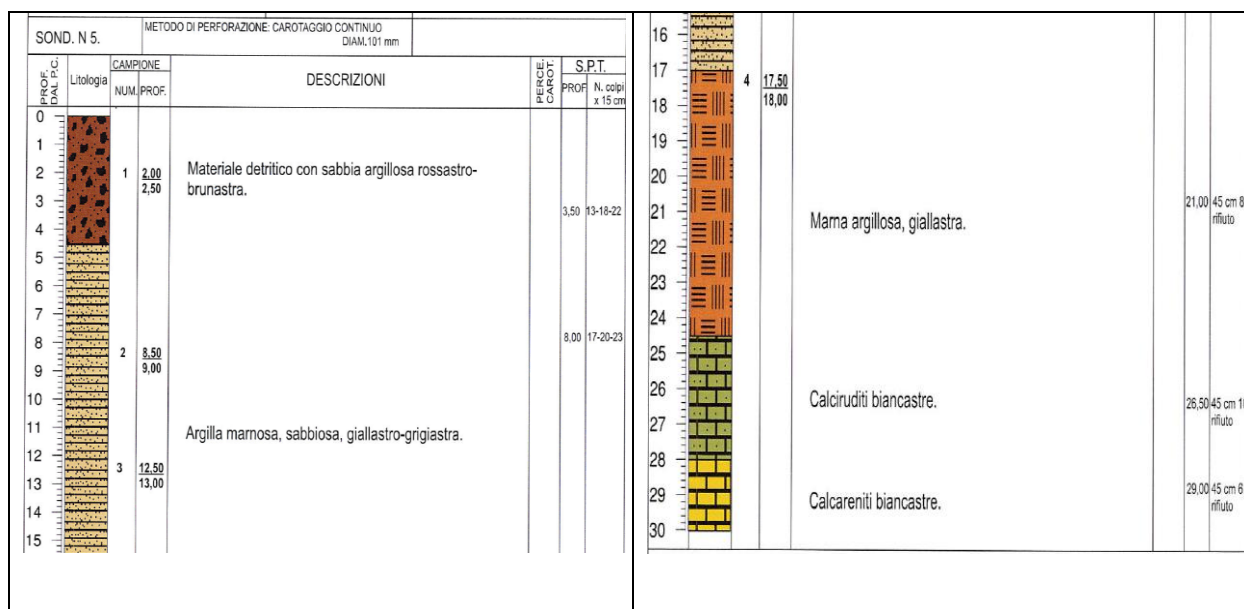


Figura 21 – sondaggio rappresentativo dei termini afferenti alla Formazione del Cretaccio [M^{4-2}], affioranti da circa 4,50 metro fino al fondo foro della verticale geognostica a 30,00 metri (P10_071026).

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 22, Figura 23).



Figura 22 – 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 23 – 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 Nicola", 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 24 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 24 b).

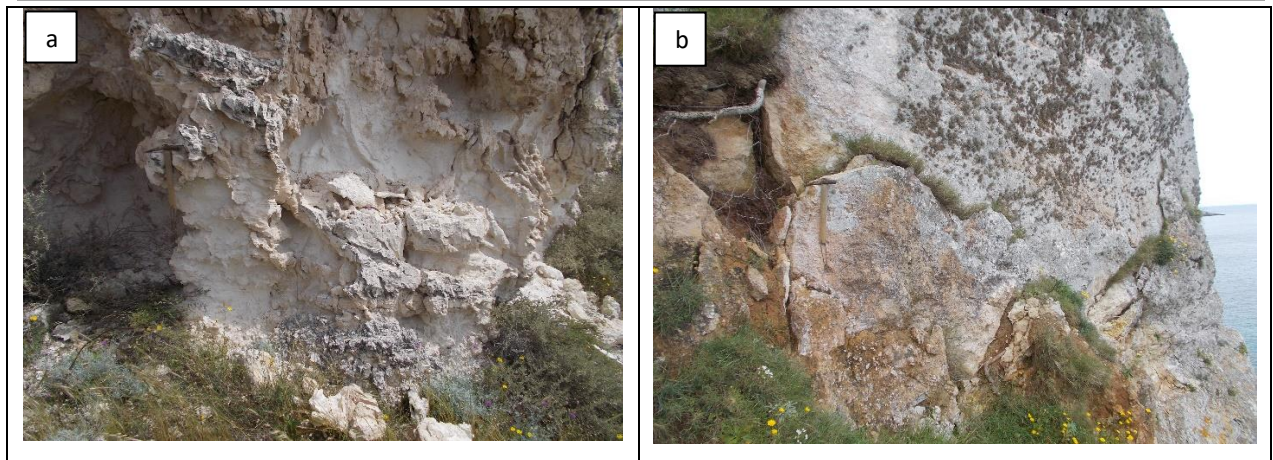


Figura 24 – a) stop geologico (Aff. 45 in figura 8), alla base livello di calcisiltite poco cementata e friabile eroso dall'azione eolica, calcarenite con calcite re-precipitata al top presso la "Torre del Cavaliere"; b) calcareniti organogene e livelli con caratteri delle dolomie lungo il sentiero in località "Punta del Cimitero".

- *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 brecce 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 25).

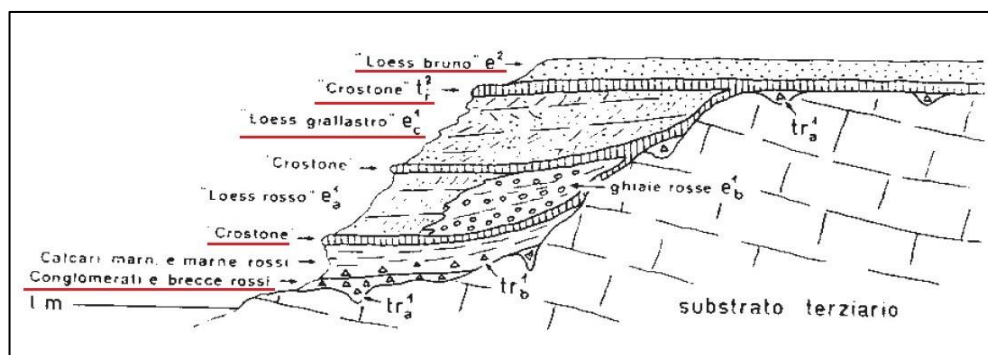


Figura 25 – schema dei depositi continentali quaternari presenti sulle Isole Tremiti (da Selli, 1971).

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^1 (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 26 a, b).

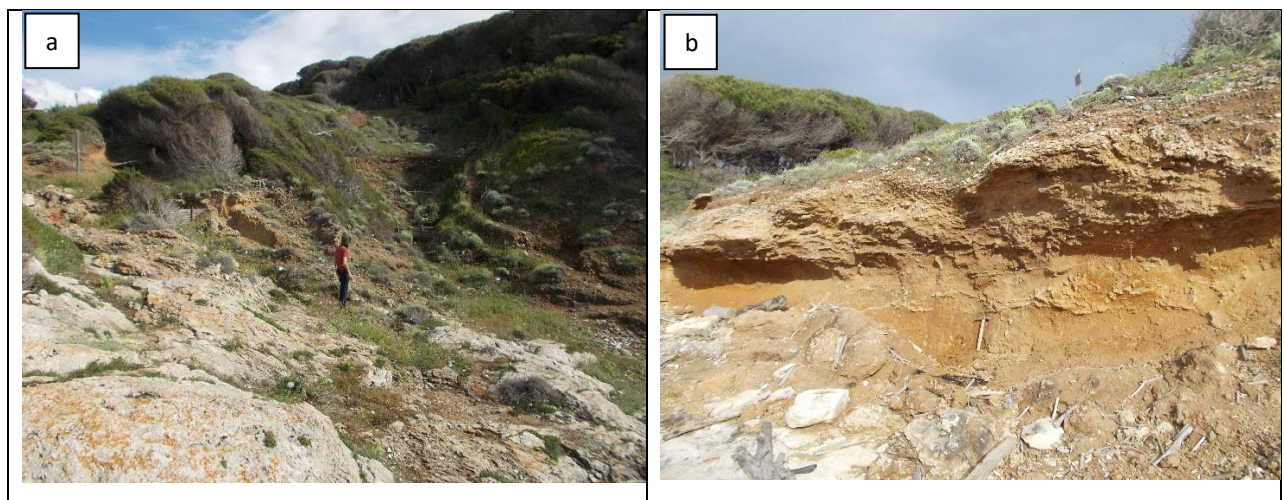


Figura 26 – a) loess bruno-rossastro [e^2] con copertura vegetale presso la "Cala dei Benedettini"; b) loess giallo-aranciato [e_c^1] con un livello decimetrico di "crostone" e sormontato dai depositi di loess bruno-rossastro presso la "Cala degli Inglesi".

Conglomerati marne e calcari rossi t_r^1 (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 27 a, b).

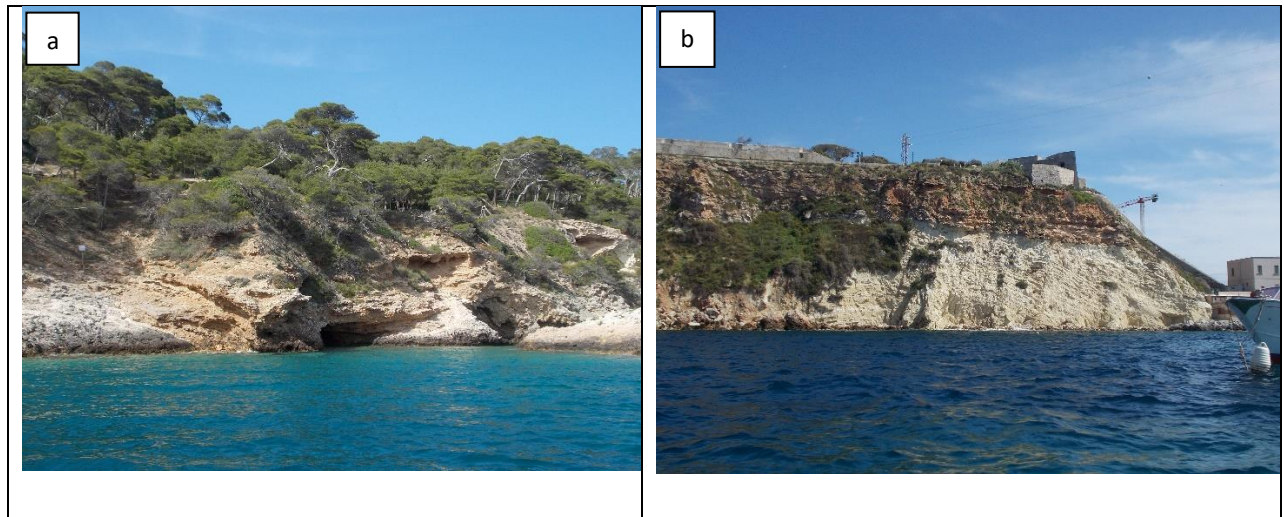


Figura 27 – a) conglomerati marne e calcari rossi $[t_r^I]$ sulla scarpata di "Grotta delle Pecore" presso la "Grotta delle Viole"; b) livello dei termini $[t_r^I]$ di spessore nell'ordine di qualche metro sulla falesia della darsena di San Nicola.

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 28 a, b).

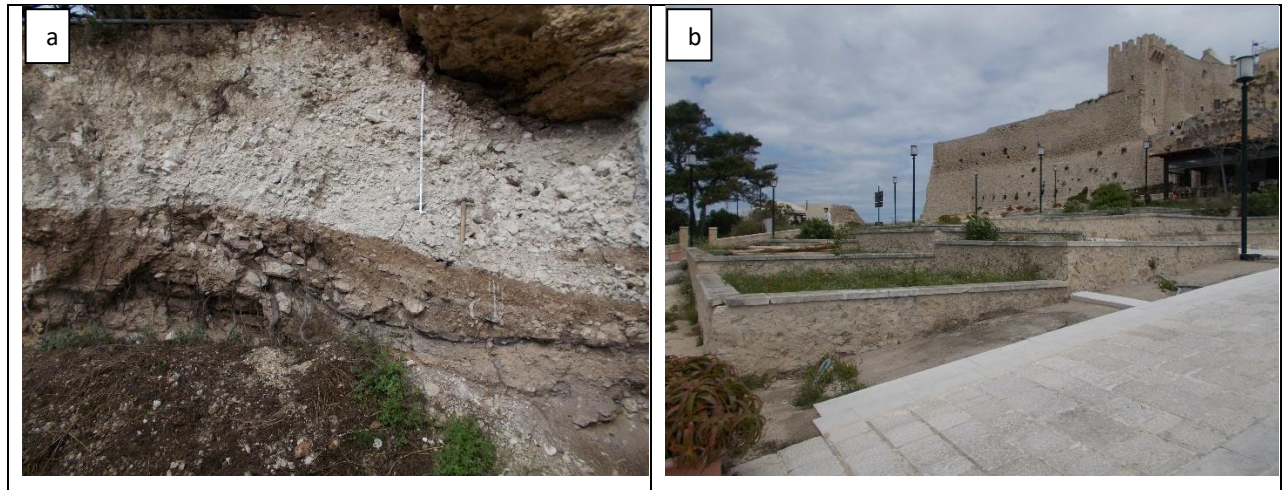


Figura 28 – a) riporti antropici a valle del piazzale in località "Belvedere" sull'isola di San Domino; b) ripiani di natura antropica nell'area antistante l'edificio della sede municipale sull'isola di San Nicola.

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 29 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 Nicola" (Figura 30 a, b)

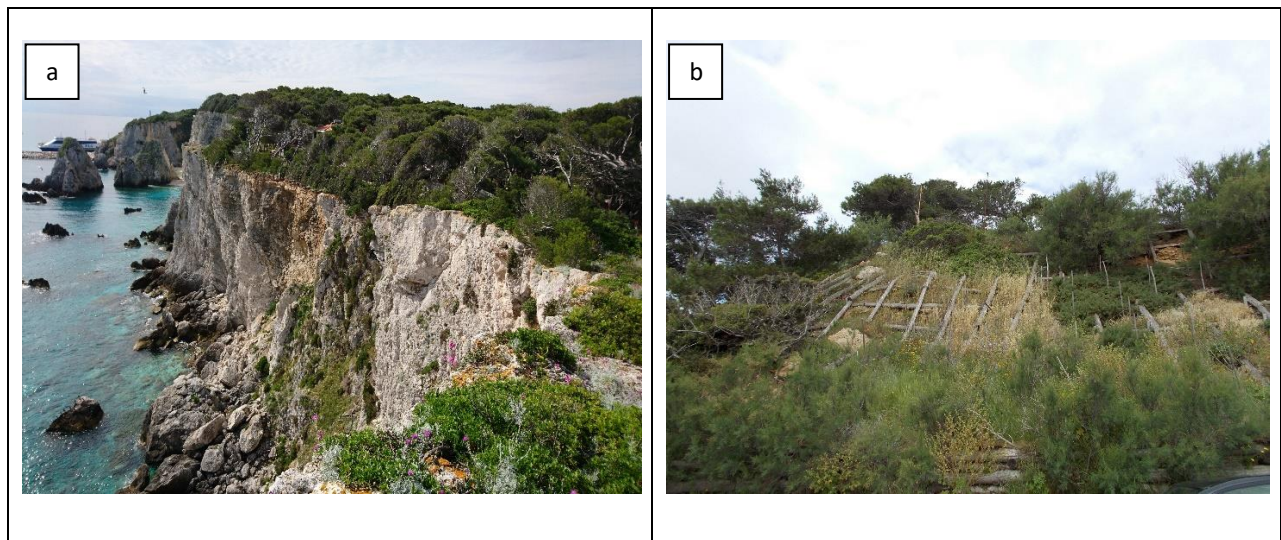


Figura 29 – a) frana da crollo sul tratto di costa in località "Punta del Diamante"; b) interventi di ingegneria naturalistica su un versante con le coperture continentali in prossimità della darsena di San Domino.

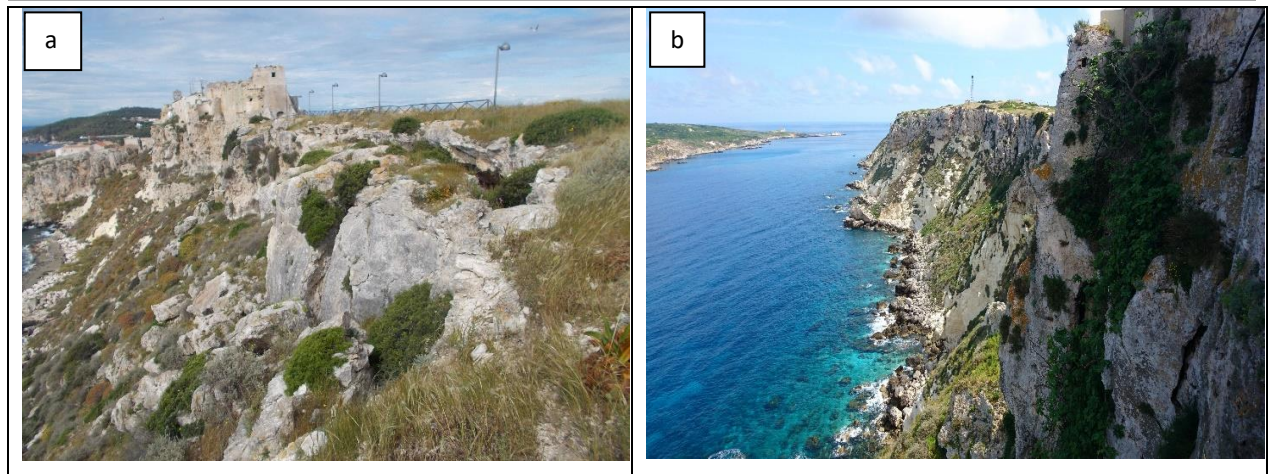


Figura 30 – a) frana da crollo sul versante orientale in località "Muretta"; b) tratto di falesia in retrogressione in prossimità della "Torre del Cavaliere di San Nicola".

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.
- Andriani G.F., 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 Sciences.
- Argnani A., Bonazzi C., Evangelisti D., Favali P., Frugoni F., Gasperini M., Ligi M., Marani M., Mele G., 1996. Tettonica dell'Adriatico Meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 51, 227-237.
- 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.
- 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.

- Checchia Rispoli, G.1926. Osservazioni geologiche sull'isola di S. Nicola di Tremiti (Mare Adriatico), Boll. R. Uff. Geol. It., 51, 1-3.
- 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.
- De Alteriis G., 1995. Different foreland basins in Italy: examples from the central and southern Adriatic Sea. Tectonophysics, 252, 349-373.
- 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.
- 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.
- Lollino P., Pagliarulo R., 2008. The interplay of erosion, instability processes and cultural heritage at San Nicola Island (Tremiti Archipelago, Southern Italy). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 161-169.
- Montone P., Funiciello R., 1989. Elementi di tettonica trascorrente alle Isole Tremiti. Rend. Soc. Geol. It., 12, 7-12.
- Ortolani F., Pagliuca S., 1987. Tettonica transpressiva nel Gargano e rapporti con le catene appenninica e dinarica. Mem. Soc. Geol. It., 38, 205-224.
- Sgrosso I., 1990. Sedimenti miocenici discordanti nell'Appennino centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 45, 613-615.

- 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.

Sitografia

- <https://www.isprambiente.gov.it/media/carg>