



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



**REGIONE
LAZIO**

Tor Caldara: un itinerario tra geologia, ambiente e storia

Marco Pantaloni, Roberto Crosti, Fabiana Console,
Ornella Nonnis, Daniela Paganelli, Marina Pulcini

ISPRA

Diego Mantero, Dario Mancinella, Maurizio Testardi

Regione Lazio, Direzione Regionale Capitale Naturale, Parchi e Aree Protette



**Riserva Naturale Regionale di Tor Caldara, Anzio (RM)
10 ottobre 2020**

Introduzione

La riserva Naturale di Tor Caldara si estende per circa 44 ettari in un tratto di costa non urbanizzato tra Anzio e Lavinio, a circa 60 km a sud di Roma; è stata istituita con L.R. 26 agosto 1988, n. 50. Al suo interno si erge una torre di guardia cinquecentesca posta in un fitto intrico di macchia mediterranea, rara testimonianza delle antiche foreste litoranee lungo la costa del Lazio meridionale.

A partire dal XVI secolo l'area, ubicata nello Stato Pontificio, è stata sfruttata per la coltivazione mineraria dello zolfo il cui impiego era già noto all'epoca dei romani.

Dal punto di vista geologico, la solfataria di Tor Caldara, è legata all'attività secondaria del distretto vulcanico laziale. I terreni affioranti più antichi sono costituiti da arenarie plioceniche, sovrastati da argille ben stratificate. La solfataria è formata da diverse sorgenti di acqua mineralizzata con emanazioni gassose solfidriche.

Quest'area, nel passato, è stata oggetto di studi geologici da parte di scienziati che hanno usato questo sito come laboratorio naturale per attività didattica; ancora oggi la Riserva è particolarmente adatta a fini educativi, per la bellezza delle esposizioni geologiche e per gli spettacolari fenomeni vulcanici secondari ancora attivi.

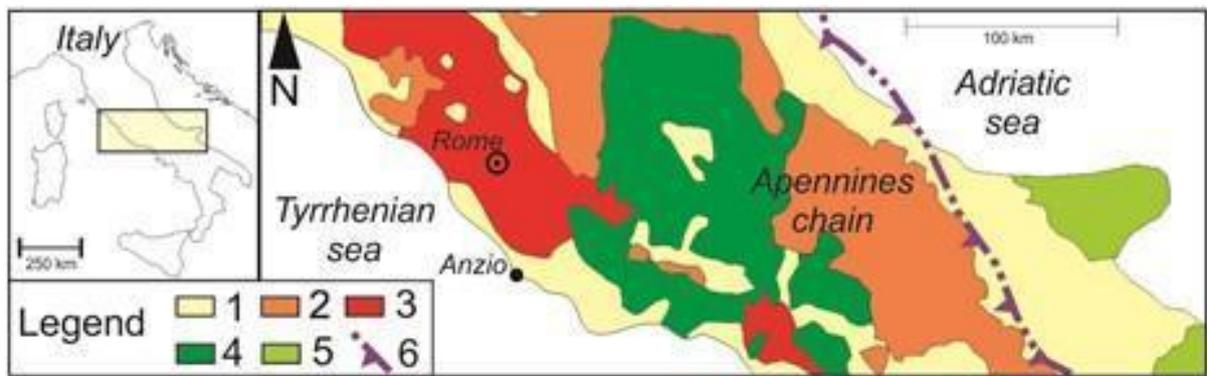
Inoltre, nel tratto di mare a sud di Tor Caldara è presente la prima cava di sabbie relitte del Lazio, coltivata a più riprese tra il 1999 ed il 2010 per il ripascimento di Ostia e di altre spiagge del litorale laziale.

Oltre ai caratteri geologici, l'area è un piccolo hotspot di biodiversità ed ospita un sito Natura 2000, per l'importanza naturalistica di habitat presenti quali i boschi (e macchia) mediterranei a leccio e la vegetazione di scogliere mediterranee; il sito ospita inoltre *Cyperus polystachyus* un "piccolo papiro" presente in Italia solo in due siti, entrambi con presenza di solfatare.



Caratteri geologici dell'area

Dal punto di vista geodinamico, l'area si trova lungo il versante tirrenico della catena appenninica centrale (Mattei *et alii*, 2008), rappresentata da un segmento della catena peri-mediterranea neogenica in migrazione verso est legata all'interazione tra la placca europea e africana (Parotto & Praturlon, 1975) che coinvolge diversi domini paleogeografici (Cosentino *et alii*, 2010).

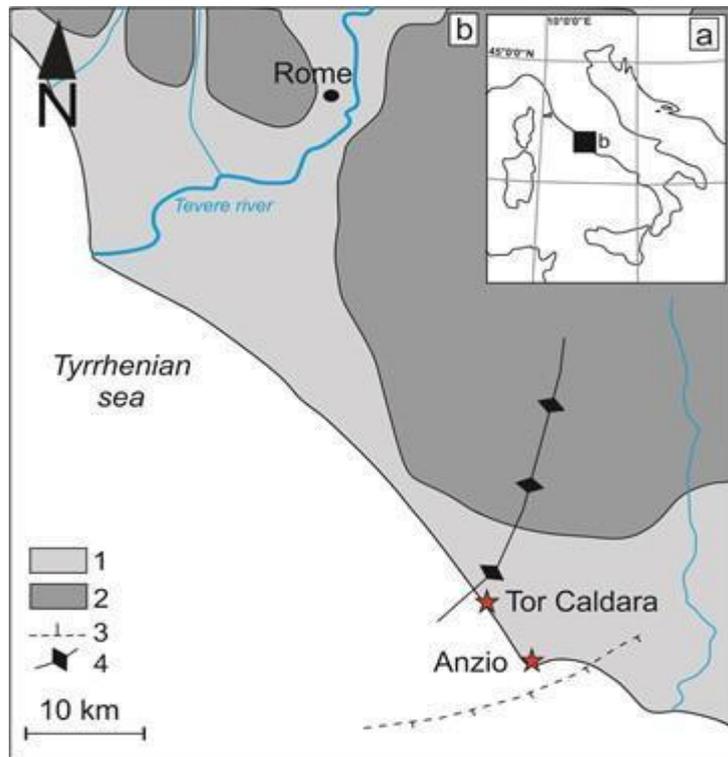


Schema geologico dell'Italia centrale. 1 - Depositi marini e continentali (Pliocene medio - Quaternario). 2 - Unità della catena appenninica. 3 - Unità vulcaniche (Terziario e Quaternario). 4 - Unità della piattaforma panormide. 5 - Unità della piattaforma carbonatica Apula. 6 - Thrust frontale dell'alloctono (da Cosentino et alii, 2010)

Nel settore occidentale dell'Appennino Centrale, la sedimentazione post-orogena inizia nel Pliocene inferiore su un substrato deformato e viene registrata principalmente da unità marine (Formazione di Monte Vaticano, Formazione di Monte Mario, Supersintema dell'Acquatraversa, Formazione di Monte delle Picche) fino alla fine del Pleistocene inferiore (Bellotti *et alii*, 1994; Marra & Rosa, 1995). La Formazione di Ponte Galeria, depositata in ambiente deltizio durante l'inversione magnetica Matuyama-Brunhes (0,850-0,700 Ma), registra il passaggio alle unità di transizione/continentali al limite del Pleistocene inferiore/medio (Parotto, 2008). Infine, l'evoluzione morfo-sedimentaria tardo quaternaria di quest'area è dominata dalle fasi di migrazione del delta del Tevere che sono il risultato di complesse interazioni tra processi tettonico/vulcanici e cambiamenti del livello del mare (Bellotti *et alii*, 1994; 1997; Praturlon, 2008).

Il grande stratovulcano dei Colli Albani si trova a circa 20 km a sud-est di Roma; questo complesso vulcanico, attivo tra 0,6 e 0,02 Ma, ha uno stile eruttivo prevalentemente esplosivo. Il complesso dei Colli Albani appartiene alla provincia comagmatica romana che comprende anche i Monti Vulsini (0,6-0,15 Ma), il complesso di Vico (0,4-0,1 Ma), i Monti Sabatini (0,8-0,04 Ma). I Colli Albani sono il vulcano più meridionale della provincia comagmatica romana e hanno prodotto rocce potassiche (da trachibasalto a trachite) e ultrapotassiche (da leucotefrite a fonolite) (Peccerillo, 2005).

Lungo la falesia tra Tor Caldara e Anzio affiora una successione plio-pleistocenica di circa 100 m di spessore che registra la deposizione in ambienti marini e di transizione. Le esposizioni naturali sono indotte sia dalla presenza di un alto strutturale locale (anticlinale di Anzio; Faccenna *et alii*, 1994) che dall'esteso ritiro marino costiero. I depositi rocciosi che affiorano lungo le scogliere tra Tor Caldara e Anzio sono stati suddivisi in quattro unità informali (Bellotti *et alii*, 1997). L'unità più antica (Pliocene) è ben esposta a sud, lungo il litorale di Anzio, vicino alle rovine del periodo romano, mentre quelle più recenti (Pleistocene) sono visibili nella falesia di Tor Caldara.



Schema geologico dell'area in studio (da Mancini et alii, 2008): 1) depositi marini, di transizione e continentali (Pliocene-Olocene); 2) unità vulcaniche (Pleistocene medio-superiore); 3) faglia normale sepolta; 4) anticlinale di Anzio.

Le esposizioni naturali sono indotte sia dalla presenza di un alto strutturale locale (anticlinale di Anzio; Faccenna *et alii*, 1994) che dall'esteso ritiro marino costiero. I depositi rocciosi che affiorano lungo le scogliere tra Tor Caldara e Anzio sono stati suddivisi in quattro unità informali (Bellotti *et alii*, 1997). L'unità più antica (Pliocene) è ben esposta a sud, lungo il litorale di Anzio, vicino alle rovine del periodo romano, mentre quelle più recenti (Pleistocene) sono visibili nella falesia di Tor Caldara.

Le quattro unità informali, dalla più antica alla più recente, sono le seguenti:

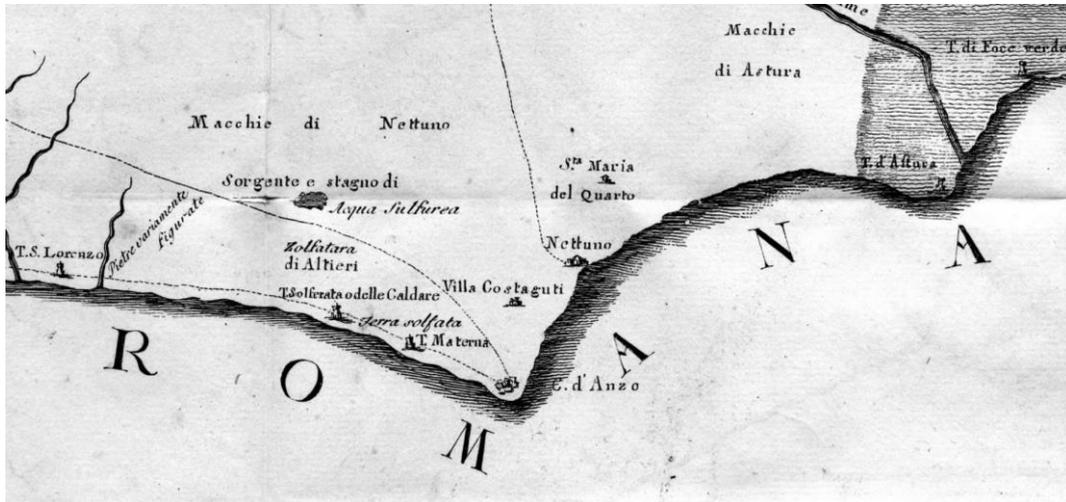
- depositi di piattaforma continentale a grana fine e calcareniti bioclastiche da tempesta (Unità 1 - Pliocene medio-inferiore);
- calcarenite bioclastica con clinoforni ad alto angolo depositate tra la piattaforma continentale e la transizione offshore (Unità 2 - Pliocene superiore - Di Bella *et alii*, 2005);
- sabbie costiere bioturbate, arenarie e sabbie argillose (Unità 3 - Pleistocene inferiore);
- sabbie marine, arenarie e conglomerati (Unità 4 - Pleistocene medio).

Infine, l'attuale dinamica costiera è dominata dalle instabilità gravitazionali della falesia tra Tor Caldara e Anzio. Questo tratto costiero è soggetto a rapidi processi erosivi e lungo tutta l'area si verificano frane di scivolamento o scorrimento rotazionale (D'Angelo *et alii*, 1999).

Gli studi geologici storici nel settore costiero

Il settore costiero laziale compreso tra Tor Caldara e Torre Astura, grazie alle sue peculiarità geologico-ambientali, è stato oggetto di studi e ricerche a partire dalla prima metà dell'800.

Il toponimo Tor Caldara viene riportato nella Carta Topografica Austriaca alla scala 1:86.400 (Foglio G17.1/.2 della Carta Topografica d'Italia Centrale, Vienna, 1860) e in quella dell'Istituto Militare Topografico di Firenze alla scala 1:50.000 del 1942. In realtà la torre era nota come Torre Caldana o delle Caldare o Torre solfataria o di Caldano (Cermelli, 1782). Probabilmente, l'origine di questo nome deriva dalla presenza di una fonte calda, detta *Caldanum*, nella sontuosa villa di Mecenate che sorgeva sulla sommità della falesia (Lombardi, 1847).



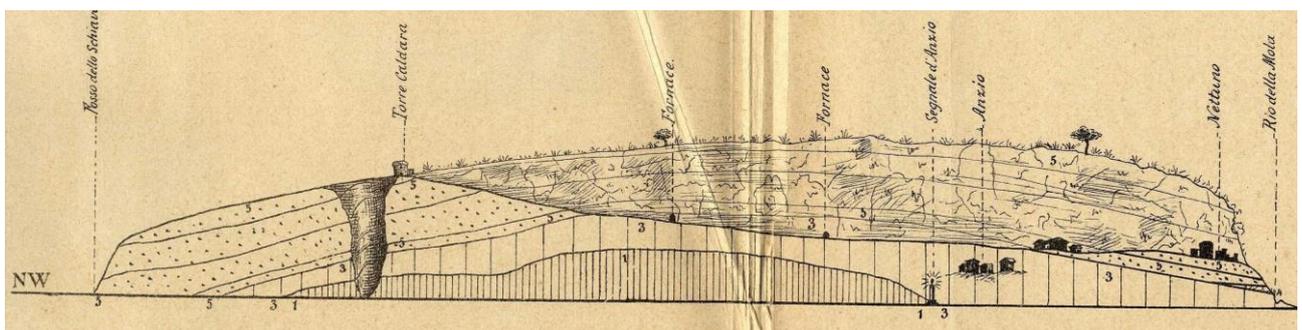
Stralcio della Tavola IV allegata al volume "Carte corografiche e memorie riguardanti le pietre, le miniere e i fossili ..." di Pier Maria Cermelli (1782).

Giambattista Brocchi menziona lo zolfo di Tor Caldara nel suo famoso "Catalogo ragionato di una raccolta di rocce" (1817); nella Sezione 12 "Litorale del Lazio da Fiumicino a Nettuno", descrive il campione n.10 raccolto "presso la Torre delle Caldare, nelle cave di zolfo" e lo descrive come "Roccia bigia impregnata di zolfo nativo, con ciottolotti calcarei e qualche cristallo nero di pirossena". L'indicazione di zolfo nativo era già stata indicata nel 1709 da Buonanni che aveva condotto esperimenti presso il museo Kircheriano a Roma.

Anche Struever, nel suo libro "Studi sui minerali del Lazio" (1876), riporta informazioni riguardo lo sfruttamento dello zolfo della solfataria.

De Marchi (1882) ricorda che ancora nel decennio 1830-40 erano state effettuate ulteriori ricerche minerarie per lo sfruttamento dello zolfo di Tor Caldara.

Nel 1893 Alessandro Portis, professore di geologia e paleontologia all'Istituto di geologia dell'Università di Roma, pubblicò una monografia che contiene una prima dettagliata sezione geologica della falesia compresa tra Foce dello Schiavo e Torre Astura.



Sezione geologica dalla Foce dello Schiavo a Tor Caldara, Anzio, Nettuno (da Portis, 1893). 1 - Sabbie argillose grigio azzurre ad *Ostrea navicularis*; 3 - Sabbie grigie fossilifere o surrogazioni (Macco, Tufo); 5 - Sabbie gialle o surrogazioni (Macco, Tufo litoide)

Ma fu Romolo Meli (1852-1921), che dedicò gran parte della sua carriera accademica alla caratterizzazione litologica, paleontologica e paleobotanica delle unità vulcaniche e sedimentarie che affiorano nella cosiddetta Campagna Romana, da Roma fino alla costa di Anzio.

Già nel 1881, Meli descrive le unità affioranti immediatamente a sud di Nettuno, in località Foglino, oggi sede del poligono militare. In questa località individua delle marne che attribuisce al Pliocene, al di sopra delle quali segnala la presenza di sabbie gialle ricche in molluschi che gli indicarono un'età più recente rispetto alle sabbie gialle di Monte Mario. Proseguendo verso sud, Meli individua nella zona delle Grottace le stesse marne ricoperte da tufiti granulari che non risultavano indicate in nessuna carta geologica fino ad allora pubblicata.



Il prof. Romolo Meli durante un'escursione didattica il 17 maggio 1908 nell'area tra Nettuno e Tor Caldara.

In seguito, nel 1884 Meli pubblica un lavoro dedicato esclusivamente alla descrizione dei caratteri geologici e paleontologici delle unità che affiorano nella falesia compresa fra Tor Caldara e Anzio. Qui, individua marne sabbiose grigio-cenere, ricche di foraminiferi e di modelli di gasteropodi, che attribuisce al "Pliocene antico". Nelle marne affioranti a Tor Caldara lui riconosce cristalli di selenite e impregnazioni di zolfo che, a luoghi, sostituiscono il guscio dei bivalvi. A causa dell'inclinazione dei livelli marnosi pliocenici nella falesia di Tor Caldara, egli osserva la loro immersione al di sotto dell'unità calcarenitica del Macco (Auct.) affiorante nella falesia presso la Villa di Nerone ad Anzio. Di questa unità, compie una dettagliata e significativa analisi paleontologica, individuando anche un significativo livello ad *Amphistegina hauerina* D'Orb. al contatto fra le due unità, che gli permise una differenziazione cronologica rispetto alla analoga facies del

Macco affiorante a nord di Roma, nell'area di Palo Laziale.

Meli, nominato professore di Geologia nella Scuola di applicazione per gli ingegneri di Roma nel 1885, organizzò numerose uscite didattiche rivolte ai suoi allievi, delle quali rimane una traccia indelebile nelle sue guide alle escursioni e, sicuramente, nella memoria dei suoi studenti, molti dei quali rappresentarono l'élite scientifica del nostro paese.

Il recupero delle informazioni geologiche storiche rappresenta un importante e indispensabile metodo scientifico per completare e arricchire le attuali conoscenze, considerato che le informazioni raccolte in passato, spesso, non sono oggi più disponibili. Tor Caldara e la costa di Anzio rappresentano, quindi, una memoria geologico-storica unica, evidenziando lo stretto connubio tra la storia della disciplina e la storia dell'evoluzione della Terra.

Il geosito di Tor Caldara

La solfatara di Tor Caldara è compresa nel Repertorio dei Geositi del Lazio e rientra anche nel più ristretto elenco dei 70 Siti di Importanza Geologica Regionale, individuati dalla Regione Lazio nel 2009. Si tratta della più meridionale delle 4 solfatare presenti nel sistema delle aree protette del Lazio e anche della più vicina alla linea di costa.

A Tor Caldara l'impatto delle attività umane legate alla coltivazione dello zolfo ha modificato significativamente il paesaggio circostante: oltre agli scavi delle miniere a cielo aperto, l'area è stata interessata da intensi disboscamenti, dovuti alla grande quantità di legname necessaria per l'estrazione dello zolfo, che avveniva per bollitura e successiva decantazione.

Il geosito di Tor Caldara deriva quindi dalla presenza di un particolare fenomeno naturale come la solfatara e dall'attività umana che ha sfruttato le risorse naturali presenti nell'area. Il paesaggio geologico che ne risulta, oggi tutelato da una Riserva Naturale, costituisce una testimonianza significativa della geodiversità del Lazio.

Le solfatare sono strutture vulcaniche secondarie, legate quindi alle manifestazioni tardive di un complesso vulcanico, che coniugano emissioni gassose e fenomeni idrotermali. In pratica una solfatara è costituita da acque mineralizzate a varia temperatura afferenti ad un circuito idrotermale che, giunte in superficie, a causa della brusca diminuzione di pressione atmosferica liberano i gas in esse disciolti dando luogo alle tipiche "bollicine".

I gas vulcanici sono costituiti, oltre che dal vapore acqueo che ne rappresenta il principale componente, da CO₂ (anidride carbonica), CO (monossido di carbonio), SO₂ (anidride solforosa), H₂S (acido solfidrico), HCl (acido cloridrico) e HF (acido fluoridrico), cui si aggiunge una serie di composti organici. Se la diminuzione di temperatura a contatto con l'atmosfera è rilevante, i gas disciolti, una volta evaporati, possono condensare formando le cosiddette fumarole.

Le acque delle solfatare presentano pH fortemente acido, mentre i composti dello zolfo (al cui tipico odore devono il loro nome) spesso cristallizzano sul suolo circostante, originando incrostazioni di zolfo nativo ed altri minerali dal caratteristico colore giallastro.

Le solfatare situate all'interno del Sistema Regionale delle Aree Protette sono quindi le seguenti:

- Caldara di Manziana (Monumento Naturale incluso nel PNR Bracciano – Martignano)
- Solfatara di Monterano (RNR Monterano)
- Zolfo di Pomezia (RNR Decima – Malafede)
- Solfatara di Tor Caldara (RNR Tor Caldara)

Caratteri naturalistici

Nel 1988, con legge Regionale, viene istituita la Riserva naturale Regionale "Tor Caldara"; tra le finalità della designazione c'è la tutela ed il ripristino dell'ecosistema della macchia mediterranea ad evidenziare la presenza di importanti cenosi vegetali parzialmente degradate da un erroneo utilizzo dell'area. L'area della riserva, inoltre, coincide con il sito Natura 2000

IT6030046, proposto SIC nel 1995 e designato Zona di Conservazione Speciale nel 2016. Il sito, denominato “Tor Caldara (zona solfatare e fossi)” è stato designato in particolare per la protezione dei seguenti Habitat in Direttiva quali Vegetazione annua delle linee di deposito marine, Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee e Foreste di *Quercus ilex* (leccio) e delle seguenti specie inserite nelle liste delle “Direttive Habitat ed Uccelli” quali tra i rettili: il cervone (*Elaphe quatuorlineata*), la testuggine palustre europea (*Emys orbicularis*), tartaruga di terra (*Testudo hermanni*); tra gli uccelli la Balia dal Collare (*Ficedula albicollis*), il Tarabusino (*Ixobrychus minutus*), Nibbio Bruno (*Milvus migrans*) e Nitticora (*Nycticorax nycticorax*), tra gli insetti il Cerambice della Quercia (*Cerambyx cerdo*).

Numerose, però sono le specie, presenti nella riserva degne di conservazione tra cui tra gli anfibi quali il Rospo smeraldino (*Bufo viridis*) e la Rana dalmatina (*Rana dalmatina*), tra i mammiferi il Moscardino (*Muscardinus avellanarius*) e il Pipistrello Albolimbato (*Pipistrellus kuhlii*).

Per le specie vegetali prendiamo i contributi direttamente dalle schede del progetto LIFE Co.Me.Bi.S. (2006), in quanto ben fatte e complete.

Vegetazione delle spiagge

La spiaggia essendo ristretta non presenta aspetti tipici di vegetazione psammofila, ma sporadicamente sono presenti individui sparsi di *Cakile maritima*, *Echinophora spinosa*, *Ammophila littoralis*, *Anthemis maritima* all'interno di comunità ruderali. Sulle rupi è presente l'associazione Crithmo-Limonietum di cui le specie più rappresentative sono *Crithmum maritimum* e *Limonium multifforme*. Oltre alle specie menzionate vanno ricordate: *Inula crithmoides*, *Euphorbia terracina*, *Daucus gingidium*.

Vegetazione della Macchia mediterranea

Sono presenti due tipologie di macchia, una macchia bassa e molto densa ed una macchia alta. Al primo tipo appartiene una formazione localizzata tra la spiaggia e l'interno della riserva e caratterizzata da *Phillyrea latifolia*, *Erica arborea*, *Cistus incanus*, *Myrtus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Lonicera implexa*, *Asparagus acutifolius*.

Il secondo tipo di macchia invece è rappresentato da individui di 3-4 m di *Erica arborea* e *Arbutus unedo* che circondano tutta la caldara e costituiscono un mantello continuo.

Questo tipo di vegetazione ha un aspetto prostrato e una copertura totale prossima al 100%. Presenta uno strato erbaceo povero in cui le specie più diffuse sono *Prasium majus*, *Brachypodium ramosum*, *Rubia peregrina*. Lo strato lianoso è dominato da *Smilax aspera*.



Boschi di Leccio

A contatto con la macchia si rinviene la lecceta, si tratta di un bosco puro a *Quercus ilex* con strato arbustivo molto povero costituito essenzialmente da *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis* e con strato lianoso dominato da *Smilax aspera* e da *Lonicera implexa*, alle quali si unisce *Hedera helix*. Lo strato erbaceo piuttosto rado è caratterizzato da *Rubia peregrina*, *Tamus communis*, *Hedera helix*, *Brachypodium ramosum*, *Teucrium flavum*.

Questo tipo di lecceta è ascrivibile dal punto di vista fitosociologico all'Asplenio-Quercetum ilicis.

Procedendo verso l'interno il leccio si accompagna alla sughera (*Quercus suber*); si tratta di boschi con individui alti 10-12 m e in alcune stazioni anche più maturi, alti 14-16 m. Lo strato arbustivo è generalmente inesistente (presumibilmente a causa di precedenti gestioni del territorio) con l'esclusione, in poche stazioni, della presenza di *Erica arborea* e *Rubus ulmifolius*; lo strato erbaceo è caratterizzato dalla presenza di numerose plantule di *Quercus ilex* e di *Pteridium aquilinum* (anche questa felce è legata, presumibilmente, a precedenti gestioni del territorio).

Boschi di Leccio con caducifoglie

Nelle aree più interne i boschi si arricchiscono di specie caducifoglie quali *Quercus cerris* e *Quercus frainetto*. Nei luoghi in cui la falda freatica è più

in superficie compaiono anche *Quercus robur* e *Populus tremula*.

Vegetazione dei fossi (ripariale)

Nei pressi della Caldara lungo i corsi d'acqua si sviluppano cenosi igrofile ad alte erbe quali *Thypha latifolia*, *Phragmites australis*, *Iris pseudacorus*, *Lytrum salicaria*, *Juncus articulatus*. Queste cenosi sono meglio rappresentate lungo il Fosso del Cinghiale.

Nei pressi del canneto, sempre nel Fosso del Cinghiale, in aree periodicamente inondate si trovano comunità a *Juncus articulatus* e *Agrostis canina ssp. monteluccii*.

Sulle sponde si formano invece popolamenti di Ontano -*Alnus glutinosa* caratterizzati, nello strato arboreo, dalla sola presenza dell'ontano. Gli individui di *Alnus glutinosa* sono alti fino a 14-16 m e conferiscono una copertura allo strato pari

all'85%. Lo strato arbustivo è costituito da *Alnus glutinosa* e *Rubus ulmifolius* e ha una copertura molto scarsa. Lo strato erbaceo ha una copertura pari al 30%, le specie presenti sono *Lytrum salicaria*, *Lycopus europaeus*, *Carex pendula*, *Hedera helix*, *Parietaria officinalis*, *Festuca heterophylla*, *Brachypodium sylvaticum*.

In alcune stazioni umide l'ontaneto si associa a *Osmunda regalis*.



All'interno della riserva è presente la piccola ciperacea *Cyperus polystachyos* segnalata in Italia solo per i siti di Tor Caldara e Ischia, è una specie subtropicale, al limite settentrionale del suo areale. È una specie che a queste latitudini ha un comportamento annuale e si riproduce per seme; germinando a primavera inoltrata non trova spazio e, quindi, è limitata nelle zone di fumarola dove le altre specie hanno difficoltà a germinare. La specie è considerata CR (gravemente minacciata) dalle Liste Rosse IUCN della Flora Italiana.

Tor Caldara come set cinematografico

Il suggestivo paesaggio della Riserva e gli elementi architettonici presenti, legati alla vicinanza dai centri di produzione cinematografica De Laurentiis sulla via Pontina (la cosiddetta Dinocittà), hanno fatto sì che Tor Caldara sia stata utilizzata come set cinematografico per più di 400 film.

La solfatara era lo scenario idoneo per riprodurre i brulli paesaggi western, le dune e la falesia per ricostruire ambienti desertici, mentre le emissioni gassose riproducevano in modo naturale gli ambienti epici o preistorici.

Lo scenario di Tor Caldara, tra sabbia, fenomeni vulcanici, laghetti sulfurei, foreste mediterranee e ruderi romani è unico nel suo genere. Il passaggio dal bosco alla solfatara è equiparabile a un'istantanea di un'altra epoca. Questo concetto era chiaro ai registi di film storici degli anni '50 e '60, i cosiddetti peplum, che utilizzavano la solfatara come un perfetto set cinematografico; pensiamo a *Ben Hur* (1959), *Maciste* (1963), *Gli invincibili dieci gladiatori* (1964).

Tor Caldara è stato uno dei set principali per i film di Leone (*Per un pugno di dollari*, 1964), di Sergio Corbucci (*Django*, 1966) e di altri registi che seppero ricreare in Italia il tipico ambiente di Far West americano, aprendo le porte ai cosiddetti Spaghetti western.

Tra i tanti film girati nell'area di Tor Caldara vanno ricordati:

- *Quo vadis* (1951), con Robert Taylor, Deborah Kerr e Peter Ustinov
- *Ulysse* (1954), con Kirk Douglas e Silvana Mangano
- *Ben Hur* (1959), di Charlton Heston
- *Il mattatore* (1960)
- *Il successo* (1963), con Vittorio Gassman e Jean-Louis Trintignant
- *Maciste, l'eroe più grande del mondo* (1963)
- *Gli invincibili dieci gladiatori* (1964)
- *Per un pugno di dollari* (1964), di Sergio Leone
- *Il Vangelo secondo Matteo* (1964), di Pier Paolo Pasolini
- *Django* (1966), di Sergio Corbucci
- *Il terzo occhio* (1966)
- *Diabolik* (1968), di Mario Bava
- *Quando le donne avevano la coda* (1970), di Pasquale Festa Campanile
- *Fantozzi subisce ancora* (1983), di Neri Parenti
- *The wall* (2014), con i Pink Floyd
- *Quo vado* (2016), di Checco Zalone
- *Malick, the last planet* (2019)



La Miniera grande nel film "Quando le donne avevano la coda", di Pasquale Festa Campanile



Tor Caldara è stata scelta da Pier Paolo Pasolini per il suo capolavoro "Il Vangelo secondo Matteo" (1964) come ambientazione dentro la quale vivono alcuni lebbrosi e indemoniati che Gesù, interpretato da Enrique Irazoqui, guarisce.

Nella dicotomia di generi cinematografici, rimasti pietre miliari nell'immaginario collettivo di molte generazioni annoveriamo il capolavoro di Pier Paolo Pasolini, *Il Vangelo secondo Matteo*, del 1964, girato all'interno della Torre, e il film

“Fantozzi subisce ancora”, di Neri Parenti, con la scena del ragioniere che partecipa ad una gita in un tratto di mare che fu trasformato appositamente in discarica.

Uno dei più grandi registi e sceneggiatori viventi, lo statunitense Terrence Malick, vincitore di numerosi premi, come la Palma d’Oro a Cannes e l’Orso d’Oro a Berlino, autore de “La sottile linea rossa”, “The new world”, “I giorni del cielo”, “The Tree of Life”, ha scelto Anzio per girare alcune scene del film “The Last Planet”. Anche questa produzione, come tutte le altre di Malick, si prefigge di essere una vera e propria opera d’arte.

Il film, a tema storico e religioso, narra diversi passaggi della vita di Cristo, con la rappresentazione di parabole evangeliche, alcune delle quali sono state girate a giugno 2019, nella location della Riserva Naturale di Tor Caldara e sulla adiacente spiaggia anziante.

Itinerario

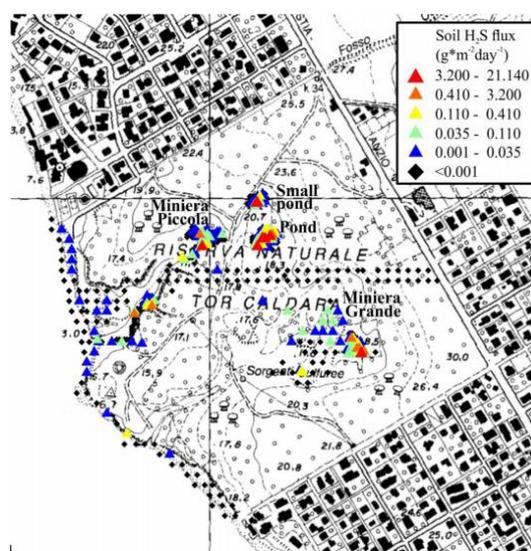
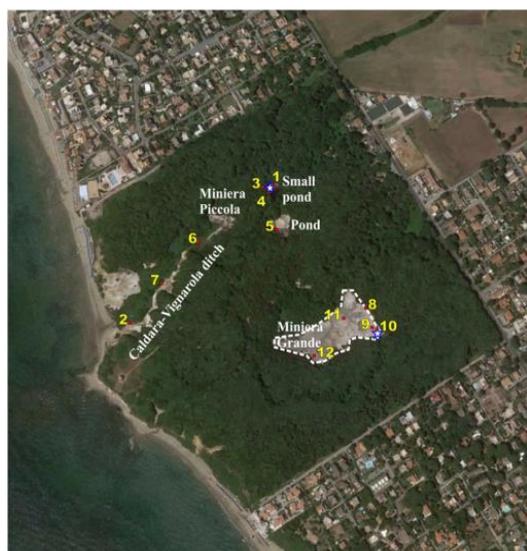
La solfatara Miniera grande

L’area della riserva è caratterizzata dalla presenza di estese mineralizzazioni solfifere legate alla risalita di diossido di carbonio (anidride carbonica) e idrogeno



solforoso (acido solfidrico) che, attraversando le falde acquifere, determinano la formazione di sorgenti mineralizzate e leggermente termali con temperature comprese tra 23 e 28°C. La risalita dei gas dal sottosuolo è legata alla presenza di un alto strutturale del basamento carbonatico sepolto, come testimoniato dalla presenza di anomalie gravimetriche positive, e ai fenomeni tardivi dell’attività vulcanica dei Colli Albani, distanti circa 25 km. Questa attività di emissioni gassose va correlata con le altre manifestazioni tardo-vulcaniche poste lungo un allineamento nord-sud nell’area sud-occidentale dello stesso complesso vulcanico (Frattocchie-Marino; Miniera della Zolforata; Quarto della Solforatella di Pomezia; Acqua Solfa di Ardea) (Mantero, 1995; Mattias & Massacci, 2003).

La composizione media dei gas è costituita principalmente da CO₂ (>90 % vol.) con contenuti apprezzabili di H₂S (0.35–6 % vol.) (Carapezza *et alii*, 2020).



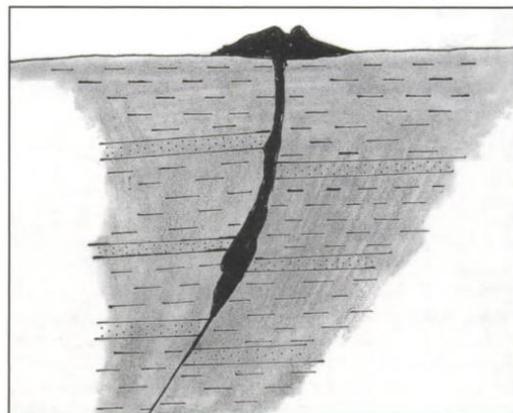
Ubicazione e valori del flusso nei punti di misurazione delle principali emissioni gassose di H₂S (Miniera Grande, Miniera Piccola, stagni e Fosso Caldara-Vignarola) (da Carapezza *et alii*, 2020).

La formazione di cristalli di gesso, marcasite e altri minerali dai colori giallo-verde e rosso-arancio, talvolta di dimensioni centimetriche, conferiscono al paesaggio un aspetto affascinante. Interessante la presenza di piccoli ed effimeri vulcanelli di fango.

Con il termine vulcano di fango si intende un piccolo rilievo, alto da pochi decimetri ad alcuni metri, che espelle acqua e argilla, spesso unita a sostanze saline come acque salso-bromo-iodiche, ma anche metano e idrocarburi. Nel caso della solfatara di Tor Caldara, la presenza dei vulcanelli di fango è legata alla risalita di gas, lungo fratture del terreno, che trasportano fluidi argillosi.

In Italia i vulcani di fango (termine introdotto da Stoppani nel 1869) sono noti con termini locali: maccaluba o macaluba in siciliano (dal toponimo “colle di *Maccaluba*” vicino Agrigento); salinella o salsa in Emilia-Romagna.

Nei pressi delle solfatara e in prossimità dei vulcani di fango il terreno è generalmente sterile ma in alcuni casi si rinvengono delle specie vegetali alofite, cioè con caratteristiche tali da aver sviluppato adattamenti morfologici o fisiologici che ne permettono l'insediamento su terreni salini, alcalini, oppure in presenza di acque salmastre.



A sinistra: vulcanello di fango nella Solfatara; a destra: sezione ideale di un vulcanello di fango formatosi in corrispondenza di una frattura (Martinis, 2003)

Attraversando i luoghi della Miniera Grande, il più vasto ambito minerario a cielo aperto distinto dalla elevata acidità e dalla risalita idrotermale che appare come un luogo abbagliante dove la vegetazione non può colonizzare i suoli, al sistema di scavo a cielo aperto originato dalle coltivazioni minerarie che talvolta si confonde e si compenetra con le trincee delle postazioni britanniche realizzate dalle truppe dello sbarco, al luogo di lavaggio del sedimento per le lavorazioni minerarie sul sito dell'antico pozzo ora sede di una piccola zona umida dal carattere idrotermale, tutto rimanda ad una storia complessa ed articolata.

Marco Antonio Colonna nel 1569 impiantò una attività per l'estrazione dello zolfo. La lapide in marmo che si trova sulla torre dell'orologio di Nettuno ne indica la fonte certa: “*Marcus Antonius Columna, Post fodinas in agro antiano, Repertas, et aedes operis perficiendi, Causa extractas, Neptunum novis, Aedificiis munivit, et adornavit. Salii Anno MDLXIII*”.

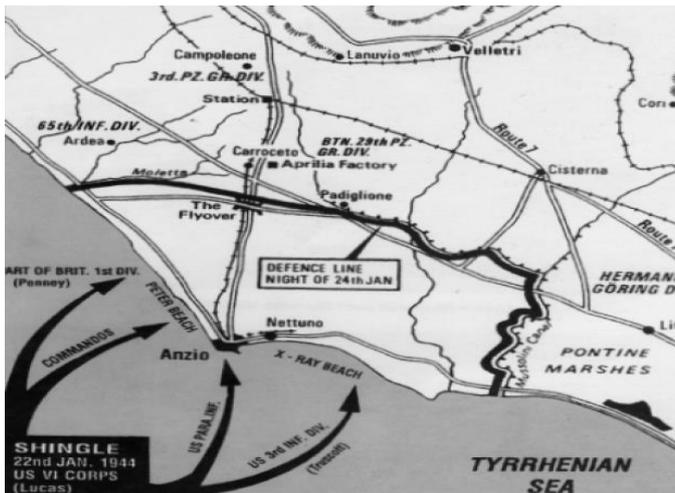


Mineralizzazione a zolfo nell'area della Solfatara

Tor Caldara è caratterizzata dall'affioramento di una mineralizzazione solfifera che fin da un remotissimo passato ha dato luogo ad importanti interessi estrattivi. Le vene solfuree erano già note e sfruttate in età Imperiale (26 a.C - 476 d.C) in quanto la pertinenza di alcuni contenitori di ceramica rinvenuti erano dotati di fori circolari e cannelli cilindrici forati correlati con le antiche attività estrattive e con la lavorazione dello zolfo. Proprietaria della Tenuta di Nettuno dal 1426, la casata dei Colonna ottenne dal Pontefice Pio V la concessione di esercitare l'attività estrattiva, la raffinazione e la commercializzazione dello zolfo e del vetriolo per la Solfatara di Nettuno dietro il versamento di una somma annua di 500 scudi pattuita con la Camera Apostolica. La licenza dell'esercizio dell'attività mineraria è documentata in una bolla pontificia del 25 aprile del 1569 nella quale viene identificato come concessionario

Marcantonio Colonna, figlio del celebre condottiero omonimo. Afferiva dunque a questo territorio l'area della “Torre delle Caldane”, parte del sistema delle torri della costa tirrenica pontificia poste tra lo Stato Toscano e la foce del Tevere.

La ricerca della vena di zolfo e la sua estrazione avveniva sia a cielo aperto, mediante lo scavo di trincee e pozzi, sia attraverso lo scavo di gallerie, laddove la consistenza delle formazioni lo permetteva. Nell'area di Tor Caldara la passata e diffusa attività estrattiva si riconosce ovunque e la coltivazione delle miniere si è protratta, senza soluzione di continuità per secoli, dalla metà del XVI fino intorno al 1850.



Le truppe britanniche sbarcate su “Peter Beach” sfruttarono una parte del bosco della Riserva per insediare il proprio campo base in un’area non rilevabile dalle ricognizioni aeree nemiche. Parte di un sentiero della Riserva è impostato sull’antico canale di scolo del campo base.

Questa operazione, denominata “Shingle” (ghiaia, ciottoli), venne comandata dal maggiore generale John P. Lucas, personaggio molto criticato per la sua lentezza nelle decisioni di attacco e pressione del nemico (“un azzardo messo nelle mani di un uomo che non amava rischiare”, W. Churchill).

I Comandi alleati elaborarono un piano minimalista che prevedeva dopo lo sbarco la conquista della direttrice Anzio Albano (l’attuale via Nettunense) sino alla via Casilina per tagliare la strada alle truppe tedesche. Tutto ciò doveva

avvenire mentre sul fronte di Cassino veniva lanciata un’offensiva per attirarvi le riserve tedesche. Lo sbarco fu un completo successo, non ci fu alcuna opposizione poiché non erano presenti unità tedesche in zona se non piccoli presidi immediatamente sopraffatti nel porto dai Rangers. Alla mezzanotte del D-Day sbarcarono circa 3.000 veicoli e 36.000 uomini!

La strada per i Colli Albani era libera ma il comandante Lucas non ne approfittò. Questa azione doveva rappresentare il crollo della Linea Gustav e assestare un forte colpo ai tedeschi. Così non fu.

I tedeschi, con al comando il Feldmaresciallo Kesserling, disponevano di due armate. Sebbene colto di sorpresa dallo sbarco, Kesserling reagì con prontezza e recandosi in prossimità della testa di sbarco ordinò l’immediato trasferimento (Piano Richard) di tutti i reparti disponibili richiamandoli dal fronte adriatico, dalla Francia e dai Balcani. Nella notte del 23 gennaio formazioni di aerosiluranti muniti di bombe radioguidate attaccarono le unità navali alleate nel porto di Anzio, affondando il caccia inglese Janus e la nave ospedale St.David. Questo fu l’inizio del calvario della testa di sbarco di Anzio culminata con la sconfitta del 23 febbraio del Battaglione Z capitanato da Eric Waters, padre di Roger, lo storico bassista e leader dei Pink Floyd (*When the Tigers Broke Free – Pink Floyd the Wall*).

La cava antica (o miniera piccola)

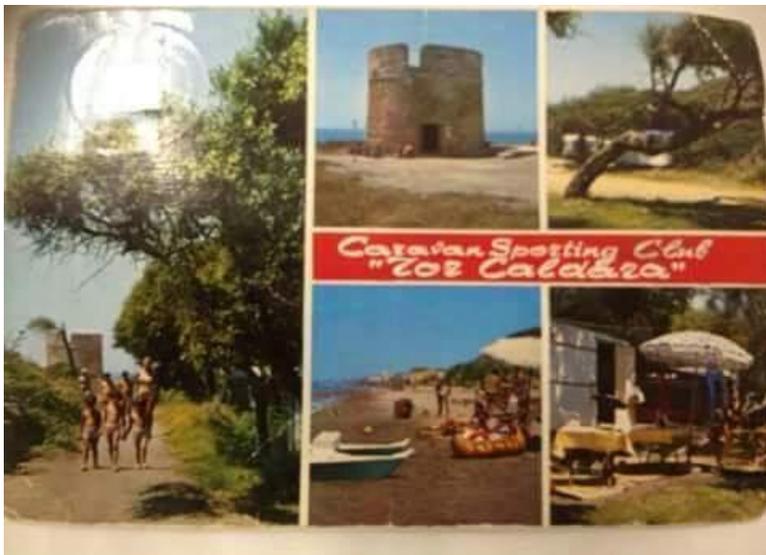
In questo stop è possibile ammirare, da un piccolo belvedere, una delle aree estrattive dello zolfo attiva fino ai primi anni del 1800, la “Cava Antica” detta anche “Miniera piccola”.

Questa zona, come descritto in precedenza, è caratterizzata da un’elevata emissione di diossido di carbonio (CO₂) e di solfuro di idrogeno (H₂S) dal sottosuolo. Sebbene si tratti di concentrazioni non in dosi letali, talvolta si è rinvenuta la presenza di piccoli animali (arvicole, ricci, ecc.) uccisi dalle esalazioni che ristagnano sul fondo della cava.

Uso del territorio

Dopo la Seconda Guerra Mondiale si pensò di poter urbanizzare l’area di Tor Caldara.

Nel 1949 l’architetto Michele Busiri Vici presentò un progetto per la realizzazione di un villaggio nell’area. Busiri Vici in quegli anni stava sviluppando il proprio stile architettonico come strettamente marinaro, come si può vedere nelle numerose ville



realizzate sul lungomare di Sabaudia e negli edifici realizzati negli anni '60 in Costa Smeralda. Anche nel caso di Tor Caldara, Busiri Vici immaginò un villaggio a bassa densità abitativa perfettamente integrato nel litorale e nella natura, con la sua inconfondibile architettura fortemente influenzata dalle case dei pescatori del Mediterraneo, dalle case delle isole greche dell’Egeo e dai villaggi spagnoli e messicani.

Per Tor Caldara, luogo rimasto fino a quel momento in gran parte incontaminato, immaginò dunque un nuovo villaggio a bassissimo impatto architettonico sulla natura esistente, con elementi differenti che riecheggiano una stratificazione volta a dare un’idea di storia vissuta e, come tale, di una comunità esistente.

Il villaggio venne immaginato come un luogo esclusivo di villeggiatura, caratterizzato da un sistema di piazze - quella della Chiesa, quella del mercato - collegate da strade curvilinee che si adattavano alla conformazione del luogo. In ogni caso, il progetto non ebbe seguito ma negli anni '60, all'interno della riserva venne installato il campeggio "Caravan sporting club", chiuso nel 1981.

Tor Caldara

La Torre è stata edificata nel 1560 su volontà di Pio IV in seguito alla disfatta delle armate marine Pontificie durante la Battaglia di Gerba. La torre è stata poi ricostruita e fortificata nel 1565 a difesa di quel tratto di costa contro eventuali sbarchi armati dei "pirati barbareschi" (Tommasetti, 1910); della ricostruzione se ne occupò Marcantonio Colonna autorizzato dal Tesoriere pontificio a riscuotere dazi dalle terre circostanti. La fortificazione si rese necessaria anche a difesa delle miniere di zolfo. In origine, la torre era probabilmente più alta; da un disegno settecentesco appare a tre piani, con la porta di ingresso sopraelevata accessibile tramite una rampa di scale. Di forma circolare, con un diametro di circa 10 metri e l'altezza di 9 metri, restò in efficienza finché durò l'attività estrattiva. La torre subì gravissimi danni nel febbraio 1813, nel corso di un bombardamento operato dalle navi inglesi che avevano violato il blocco continentale napoleonico, durante il quale la stessa località di Porto d'Anzio venne semidistrutta.

Osservazione del tratto marino da Lavinio a Capo d'Anzio, dinamiche costiere



La fascia costiera mediterranea è un ambiente caratterizzato da paesaggi di eccezionale valore naturalistico e da un elevato numero di habitat sensibili e fragili e ospita numerose attività economiche, quali porti, industrie, turismo e infrastrutture. La fascia costiera costituisce una delle zone più critiche e soggette a degrado ambientale, sia per gli interessi conflittuali che vi si accentrano, sia per la fragilità tipica di ogni ambiente di transizione. Tale fragilità è accentuata dai fenomeni erosivi che oggi colpiscono il 15%

delle coste europee, ovvero circa 15.000 km su un totale di 101.000 km di coste; in Italia, che vanta uno sviluppo costiero di circa 8000 km, si valuta che circa un quarto delle coste basse sia in erosione.

In passato, per recuperare e/o proteggere i litorali in erosione, si realizzavano opere rigide trasversali (pennelli) e longitudinali (difese aderenti, barriere), che spesso hanno causato rilevanti effetti indesiderati a scala locale, principalmente dovuti alle variazioni sulla dinamica costiera.

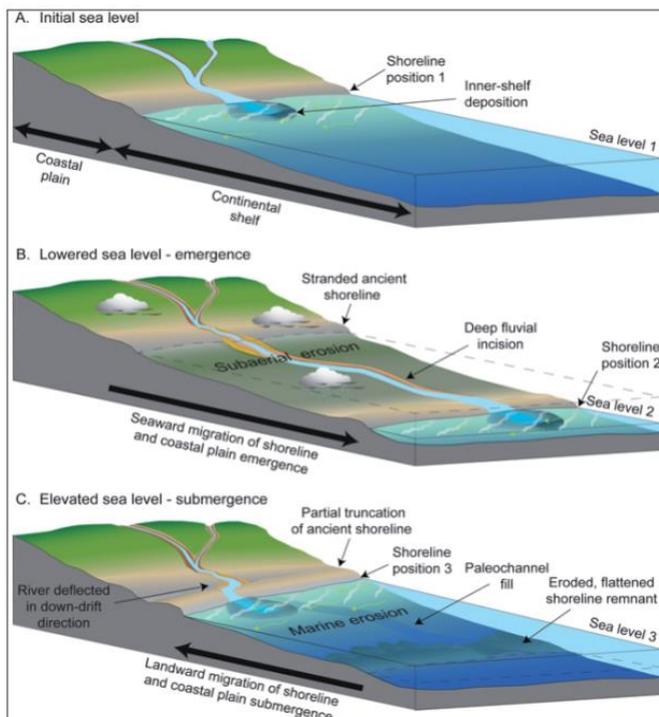


Fig. 1 - Da Pennetta et alii, 2013

Anche per tali motivi, nel tempo, si sono sempre più affermate le tecniche proprie della *soft engineering*, e fra queste in particolare il ripascimento. Questo tipo di intervento consiste nel ricostruire la spiaggia erosa mediante l'impiego di materiale sabbioso idoneo che può avere provenienze diverse, sia terrestre (cave) sia marina (foci fluviali, porti, sabbie relitte). Il sedimento viene portato sulla spiaggia dove viene sversato in corrispondenza della battigia, per poi venire preso in carico dal moto ondoso che provvederà a modellare il nuovo profilo di equilibrio della spiaggia.

La costante ricerca di fonti di sedimento di buona qualità ha portato all'utilizzo sempre più diffuso, per il ripascimento dei litorali in erosione, delle sabbie relitte.

Le sabbie relitte sono depositi sedimentari non consolidati, situati lungo la piattaforma continentale, e sono riferibili ad antiche spiagge (paleospagge e paleocordoni litorali) e a paleoalvei, la cui formazione viene fatta risalire al periodo di basso stazionamento del livello marino dell'ultimo glaciale e alla successiva fase di risalita che ha caratterizzato l'Olocene.

A causa delle variazioni glacioeustatiche, durante il Quaternario (iniziato circa 1,8 milioni di anni fa), le piattaforme continentali (Fig. 1A) sono state interessate da

numerosi periodi di emersione (indotti dalle fasi glaciali), che le hanno trasformate in ampie piane costiere (Fig. 1B). Il successivo rapido innalzamento del livello marino a scala globale (trasgressione) ha prodotto lo spostamento delle facies marine verso la terraferma (Fig. 5C).

Uno dei grandi vantaggi dell'utilizzo delle sabbie relitte ai fini di ripascimento consiste nel poter disporre di grandi quantitativi di sabbia relativamente a basso costo, ma affinché un deposito di sabbie relitte abbia un reale interesse minerario, oltre a dover essere garantita la buona qualità chimica, devono essere soddisfatte tutte le seguenti condizioni (Nicoletti *et alii*, 2006):

- 1) idonea granulometria della sabbia;
- 2) deposito affiorante o con limitata copertura pelitica (<3-4 m);
- 3) localizzazione in aree con profondità inferiore ai 100 m;
- 4) cubature significative, generalmente superiori ai 3.000.000 m³;
- 5) assenza di formazioni incrostanti in superficie.

Inoltre è auspicabile che il deposito sia ubicato sufficientemente lontano da ambienti sensibili e/o protetti e che non ci siano conflitti con altri usi legittimi del mare, come ad esempio quelli dovuti alla presenza, in corrispondenza del deposito, di aree di sversamento di fanghi portuali, di condotte sottomarine ecc.

Il dragaggio delle sabbie relitte, anche in caso di sedimento non contaminato, può tuttavia indurre sull'ambiente effetti fisici e biologici non trascurabili (Nicoletti *et alii*, 2006; 2009; 2018). Tra questi si annoverano la creazione di buche e depressioni sul fondo, le variazioni delle caratteristiche (granulometriche e geotecniche) del sedimento di fondo e l'aumento temporaneo della torbidità della colonna d'acqua (con diminuzione della penetrazione della luce) per quanto attiene agli aspetti fisici e possibili effetti sulle comunità bentoniche per le quali si registra una completa defaunazione nell'area dragata, e sui popolamenti ittici demersali, anch'essi strettamente associati al fondo, per quanto attiene al comparto biotico. Gli effetti indotti dal dragaggio sulla colonna d'acqua sono transitori, esaurendosi poche ore dopo il dragaggio (Nicoletti *et alii*, 2006), quelli sul popolamento bentonico diventano non distinguibili entro i 2 anni dal termine delle attività (La Porta *et alii*, 2009; Nicoletti *et alii*, 2018), mentre le modifiche all'assetto morfobatimetrico possono rimanere immutate a più di 15 anni dal dragaggio, come osservato nel caso dei depositi di sabbie relitte dragati lungo il margine tirrenico laziale (ISPRA, 2015). Anche il ripascimento può indurre effetti sull'ambiente, in particolare sul fondo (morfologia della spiaggia, composizione e caratteristiche del sedimento), sulla colonna d'acqua (aumento del solido sospeso, diminuzione di penetrazione della luce e *oversedimentation*) e sul comparto biotico, nello specifico sul popolamento bentonico e sul popolamento ittico, nonché sugli habitat sensibili e/o protetti eventualmente presenti nelle immediate vicinanze della spiaggia (ad es. le praterie di *P. oceanica*). Da considerare infine gli effetti che possono essere generati dal ripascimento sugli organismi bentonici di interesse commerciale eventualmente presenti, quali il mollusco bivalve *Donax trunculus* (tellina), e che possono avere ricadute importanti sulle economie locali (La Valle *et alii*, 2011). Tuttavia, se ben condotto, il ripascimento consente di minimizzare sia l'impatto ambientale sia gli effetti negativi spesso associati all'uso di strutture rigide (Paganelli *et alii*, 2014). In Italia, le prime attività di dragaggio ai fini di ripascimento risalgono al 1992-1993, con i ripascimenti delle spiagge di Pellestrina e di Cavallino (VE). Altri depositi sabbiosi sono stati successivamente dragati sia lungo il margine tirrenico laziale (al largo di Montalto di Castro, Anzio e Torvaianica), sia lungo quello Adriatico (al largo di Ravenna e di Civitanova Marche) (Paganelli *et alii*, 2016; Correggiari *et alii*, 2003).

Dal 1997 al 2014, nei mari italiani, sono stati dragati, ai fini di ripascimento, un totale di circa 19,8 milioni di m³ di sedimento (MATTM-Regioni, 2018).

Nel Lazio, il primo dragaggio di sabbie relitte è avvenuto nel 1999 e ha comportato il prelievo di 950.000 m³ di sedimenti da un deposito di sabbie relitte presente al largo di Capo d'Anzio (Roma); la sabbia dragata è stata utilizzata per il ripascimento della spiaggia di Ostia Levante (Roma).

Tale deposito è localizzato a circa 4 NM al largo a profondità comprese tra 40 e 110 metri ed è caratterizzato da corpi sabbiosi di notevole spessore, interpretati come paleocordoni litorali, ricoperti da sedimenti fini di deposizione recente (Chiocci e La Monica, 1999); il deposito è stato dragato in tre siti contigui (AN nel 1999, AZ nel 2003 e AS nel 2007 e 2010) (fig. 2) utilizzando una draga semovente.

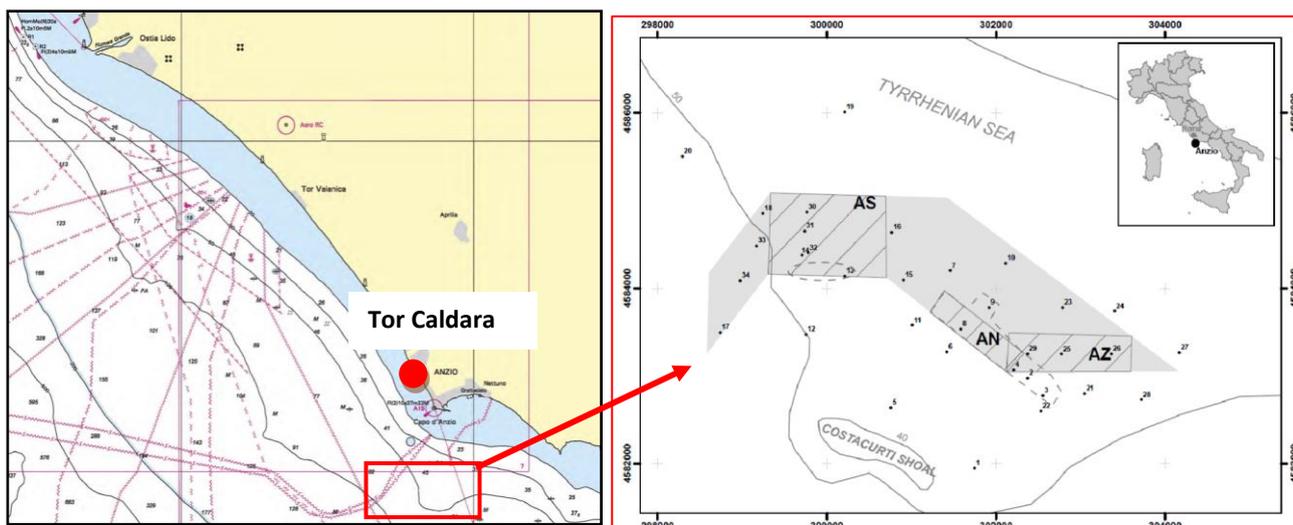


Figura 2. Deposito di sabbie relitte dragato al largo di Capo d'Anzio (Roma)-.

Le sabbie dragate nel Deposito localizzato al largo di Capo d'Anzio sono state utilizzate per il ripascimento di diversi litorali del Lazio, come specificato nella tabella 1.

Tabella 1. Deposito di Anzio (mar Tirreno centrale). Nella tabella sono riportati, per ogni sito di dragaggio: volumi dragati, anno di esecuzione del dragaggio, località di destinazione del sedimento dragato, volumi di sedimento sversati sul corrispondente tratto di litorale.

SITO DI DRAGAGGIO	ANNO DI ESECUZIONE	VOLUME DRAGATO (m ³)	LITORALI SOTTOPOSTI A RIPASCIMENTO	VOLUME SVERSATO (m ³)
SITO AN	1999	950.000	Ostia (RM)	950.000
SITO AZ	2003	2.139.265	Ostia centro (RM)	409.895
			Ostia levante (RM)	554.773
			Anzio (RM)	191.192
			Focene nord (RM)	407.942
			Ladispoli (RM)	475.463
			Terracina (LT) a sinistra di Foce Sisto	100.000
SITO AS	2007	2.554.500	Terracina Porto Badino - F. Sisto (LT)	249.100
			Minturno (LT)	528.500
			San Felice Circeo (LT)	412.400
	2012		Fondi nord (LT)	729.000
			Formia (LT)	215.000
			Ostia (RM)	400.000

Durante il dragaggio del 1999 (sito AN) le attività più intense sono state eseguite esternamente al sito autorizzato, che è stato dragato solo parzialmente; il prelievo di sedimento ha determinato una depressione con forma sub rettangolare, sviluppata in direzione NO-SE, con approfondimenti nella parte meridionale dell'ordine di 5-6 m (fig. 3) (Nonnis *et alii*, 2011). Il dragaggio del 2003 (sito AZ), che ha interessato un'area limitrofa e parzialmente sovrapposta a quella dragata nel 1999, sviluppata in direzione E-O (fig. 3), ha prodotto un approfondimento medio di 5 m, che non sembra avere subito modifiche dopo 12 anni dal dragaggio (ISPRA, 2015).

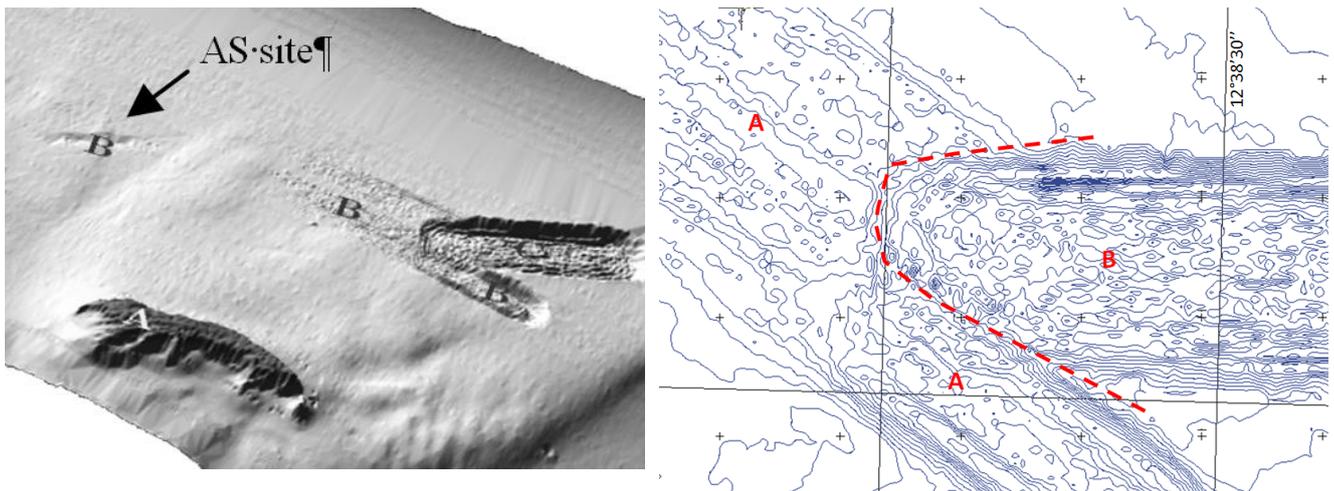


Figura 3. A sinistra: Attività di dragaggio condotte nell'area di Anzio nel 1999 (B) e nel 2003 (C), e la Secca di Costacurti (A) evidenziate dal rilievo Multibeam. A destra: Limite (linea tratteggiata) tra il sito AN dragato nel 1999 (A) e il sito AZ dragato nel 2003 (B). Da Nonnis et alii, 2011

Il terzo sito (AS) è stato sottoposto a 2 dragaggi (2007 e 2010), che hanno permesso in totale il prelievo di circa 2.000.000m³ di sedimento; in questo sito dopo i dragaggi è stata osservata una depressione sub circolare, della profondità media di 5-6m, le cui caratteristiche derivano dalle modalità di esecuzione del dragaggio: nel 2007 la draga seguiva rotte subcircolari che hanno generato una profondità di escavo variabile tra 2 e 4m, mentre nel 2010 la draga ha concentrato la sua azione nel settore centrale, con rotte NS, generando un approfondimento del fondo compreso tra 2 e 8m (fig. 4).

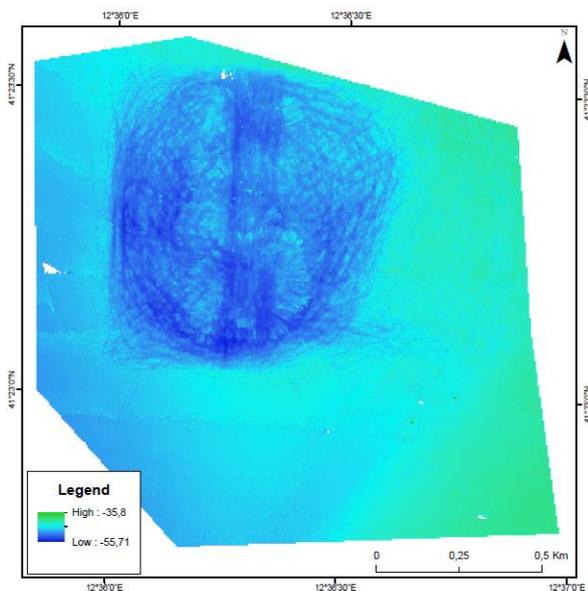


Figura 4. Attività di dragaggio condotta nel sito AS nel 2007 e nel 2010 evidenziate dal rilievo Multibeam.

Il terzo sito (AS) è stato sottoposto a 2 dragaggi (2007 e 2010), che hanno permesso in totale il prelievo di circa 2.000.000m³ di sedimento; in questo sito dopo i dragaggi è stata osservata una depressione sub circolare, della profondità media di 5-6m, le cui caratteristiche derivano dalle modalità di esecuzione del dragaggio: nel 2007 la draga seguiva rotte subcircolari che hanno generato una profondità di escavo variabile tra 2 e 4m, mentre nel 2010 la draga ha concentrato la sua azione nel settore centrale, con rotte NS, generando un approfondimento del fondo compreso tra 2 e 8m (fig. 4).

Le alterazioni indotte sulla morfologia e batimetria del fondo dai dragaggi che hanno interessato il Deposito di Anzio sono risultate immutate dopo 15 anni dal primo dragaggio (fig. 5) (ISPRA 2015). Questa condizione di elevata stabilità del fondo è dovuta alla profondità in cui si trovano i depositi di sabbia relitta della piattaforma continentale laziale, ovvero, si trovano al di sotto dell'azione *massima* del moto ondoso. Diverso è il caso di un dragaggio che interessa depositi meno profondi e quindi soggetti all'azione del moto ondoso, come nel caso dei depositi dragati al largo delle coste Adriatiche: già dopo 2 anni si assiste a una evidente riduzione dei solchi e delle depressioni *generate dal dragaggio* (Fabi et alii, 2004).

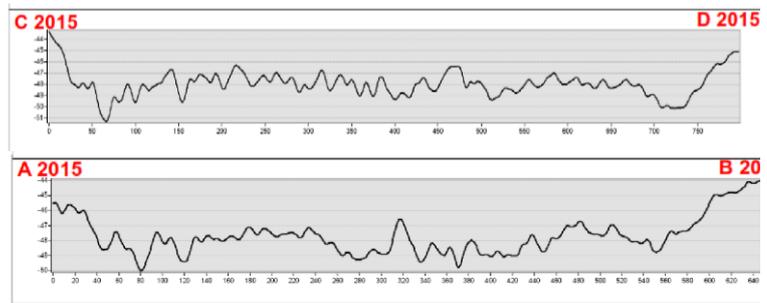
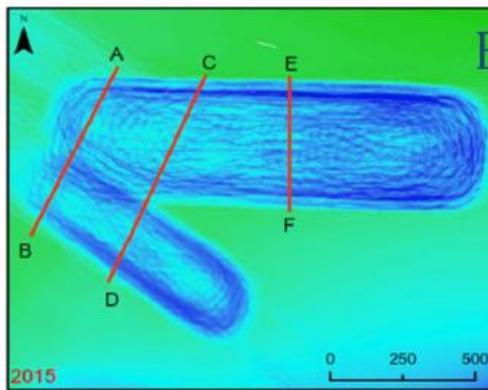


Figura 5. Rilievo multibeam eseguito nel 2015 e profili batimetrici, riferiti alle aree dragate nel 1999 e nel 2003.

Tuttavia, i tempi di recupero delle depressioni generate dal dragaggio sono estremamente variabili e dipendono da diversi fattori quali la natura del deposito (attuale o relitto), dalle locali condizioni idrodinamiche (regime ondometrico e correntometrico) e dal tipo di draga utilizzato (che determina le dimensioni e la forma iniziali della depressione) (Nicoletti *et alii*, 2006).

Per quanto concerne le alterazioni indotte dal dragaggio sul sedimento superficiale, in generale, subito dopo il dragaggio, all'interno del sito dragato, è stata osservata un'evidente variazione granulometrica a carico dei sedimenti superficiali dovuta all'esposizione delle sabbie relitte per la rimozione della copertura pelitica. Con il passare del tempo, è stato osservato un non trascurabile aumento della frazione fine, probabilmente dovuta anche alla ripresa, dopo il dragaggio, dell'attività biologica che potrebbe aver favorito la rideposizione di una frazione fine di origine quasi esclusivamente organica (Paganelli *et alii*, 2016).

Nelle aree più intensamente dragate o sottoposte a dragaggi ripetuti e/o con assetto caotico del fondo (sito AS), subito dopo il dragaggio è stata osservata la presenza di sedimenti pelitici anche all'interno delle aree effettivamente dragate e verificate su base geofisica. Probabilmente, il collasso dei livelli pelitici sovrastanti, contestuale al dragaggio, e una più generale instabilità del fondo potrebbero in parte aver favorito la presenza di sedimenti fini all'interno delle depressioni, anche immediatamente dopo il dragaggio. Infine è da rilevare in tutti i siti, internamente ed esternamente all'area dragata, la presenza di sedimenti caratterizzati da un livello superficiale a elevata idratazione, che potrebbe essere in parte dovuto anche alla rideposizione del sedimento fine risospeso durante il dragaggio e trasportato dalle correnti. (Paganelli *et alii*, 2016).

Le emissioni gassose a mare

La presenza di emissioni gassose sottomarine nel tratto di mare prospiciente la falesia di Tor Caldara è nota da tempo presso la popolazione locale, a causa anche della facilità di individuazione dovuta alla modesta profondità del fondale e alla vicinanza alla riva. Ad esempio Antonelli *et alii* (2010) in una pubblicazione divulgativa riguardante le solfatare del Lazio, ne segnalano la presenza nei fondali antistanti la Riserva Naturale.

Le emissioni gassose sottomarine presentano caratteristiche differenti a seconda della natura del substrato geologico nel quale si verificano:

- le emissioni su fondo sabbioso sono caratterizzate dalla presenza di ossidi metallici precipitati, che formano un deposito di forma subcircolare centrato sul punto di emissione e di colore nettamente più scuro rispetto alle sabbie circostanti. I punti di emissione appaiono grossomodo allineati lungo un tratto di circa 10 m di lunghezza, a testimonianza della loro probabile origine in corrispondenza di un lineamento tettonico.
- le emissioni su fondo roccioso sono caratterizzate dalla presenza di colonie bentoniche filamentose di solfobatteri. Patwardhan & Vetriani (2016) hanno identificato questi organismi come batteri mesotermi, anaerobi facoltativi e chemiolitoautotrofi facoltativi e, dopo aver effettuato un'analisi genetica, hanno istituito un nuovo genere ed una nuova specie: *Varunaivibrio sulfuroxidans*.

Il substrato roccioso su cui si impostano tali colonie batteriche è costituito prevalentemente da argille sabbiose del Pliocene, le stesse che affiorano alla base della falesia di Tor Caldara. In alcuni casi, però, esse si impostano su biocostruzioni litoidi derivanti dalla giustapposizione dei tubuli del polichete *Sabellaria alveolata*.



Ubicazione delle emissioni gassose prospicienti la falesia di Tor Caldara



Copiosa emissione gassosa sottomarina



Emissione gassosa su substrato coerente (argille plioceniche) con presenza di colonie di solfobatteri



Emissione gassosa su substrato incoerente, contraddistinta da un deposito subcircolare di ossidi metallici. L'alone di sabbia scura costituisce un affidabile indicatore della direzione della corrente dominante.

Ai piedi della falesia

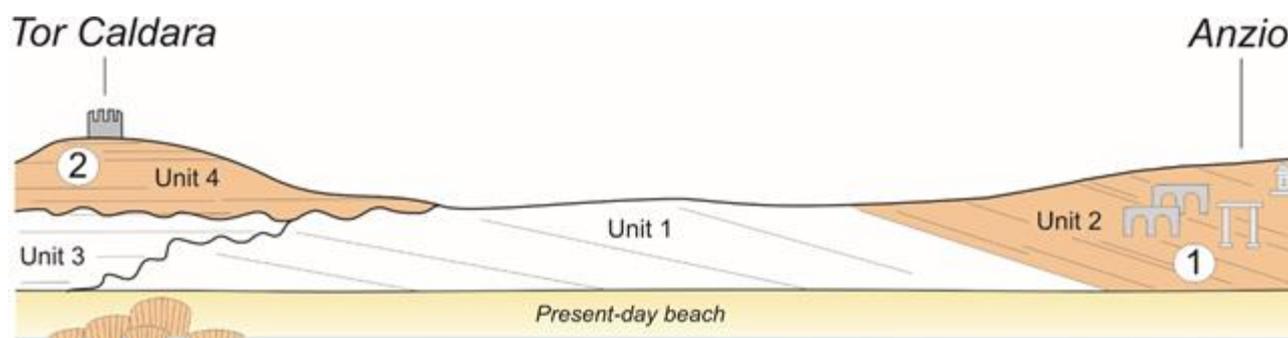
Successione stratigrafica plio-pleistocenica, fossili, mineralizzazioni

I depositi che affiorano nell'area della Riserva di Tor Caldara sono visibili, quasi esclusivamente, lungo la falesia che decorre a partire dalla Torre fino all'abitato di Anzio, interrotti saltuariamente dall'intensa urbanizzazione. Questa successione sedimentaria è stata studiata a partire dalla fine dell'800 da numerosi Autori, grazie alla buona esposizione e alla ricca presenza di fossili.

Tra i primi a studiare questa zona va ricordato Romolo Meli che, in un lungo arco temporale, compì in questa tratto di costa numerose escursioni con i suoi studenti della facoltà di ingegneria (Meli, 1884; Console & Pantaloni, 2020). Di questa successione stratigrafica, si occuparono anche De Angelis d'Ossat (1931) e Blanc (1935). In seguito, in una nota sui lavori per l'allestimento del foglio geologico 158 Latina in scala 1:100.000, Segre (1957) riconosce una struttura anticlinale con asse NE-SW localizzata proprio tra Tor Caldara e Anzio, che Faccenna *et alii* (1994) chiamano "anticlinale di Anzio" datandola al Pliocene medio-superiore, attribuendo alcune caratteristiche della successione sedimentaria al sollevamento di questa struttura.

L'unità più antica affiorante ai piedi della falesia di Tor Caldara, e lungo tutta la falesia fino ad Anzio è costituita in prevalenza da una litofacies pelitica (**unità 1**). Si tratta di sedimenti di origine marina, grigi e privi di evidenti strutture sedimentarie, con stratificazione indistinta. Si riconoscono tracce di organismi limivori e microfauna planctonica (*Globorotalia margaritae*). Procedendo verso Lido delle Sirene aumenta la componente sabbiosa e, tra i foraminiferi, compare *Globorotalia puncticulata* mentre, procedendo ancora più a sud, all'ulteriore aumento della componente sabbiosa, compare *G. aemiliana*. Lo spessore complessivo di questa unità è di circa 100 m.

L'ambiente di deposizione è riferibile da quello epibatiale-circalitolare (ciglio di piattaforma) a quello neritico di maggiore profondità. L'età è attribuita al Pliocene inferiore-medio.



Schema della successione sedimentaria plio-pleistocenica del tratto di costa compreso fra Tor Caldara e Anzio (modificato da Bellotti et alii, 1997). (1). Depositi pliocenici di Anzio; (2) depositi pleistocenici di Tor Caldara.

La successione è divisa in 4 unità informali, dalla più antica alla più recente:

Unità 1 - depositi di piattaforma a grana fine e calcareniti bioclastiche (Pliocene inferiore-medio).

Unità 2 - calcareniti bioclastiche con clinoforni ad alto angolo deposte sotto il livello di base del moto ondoso (Pliocene superiore).

Unità 3 - arenarie, sabbie e sabbie argillose con bioturbazioni (Pleistocene inferiore);

Unità 4 - alternanza di sabbie, arenarie e conglomerati di ambiente di spiaggia alimentato da apporti fluviali (Pleistocene medio).

A Capo d'Anzio, e in corrispondenza della ferrovia nella stazione di Anzio, è ben visibile l'**unità 2**, rappresentata da una calcarenite bioclastica giallastra, simile alla facies superiore dell'unità 1. La porzione basale è fortemente bioclastica, ricca di ditrupe (resti fossili di anellidi racchiusi dentro un piccolo tubo liscio e arcuato) e di pettinidi, spesso con valve intere. E' possibile rinvenire, inoltre, ostriche, gasteropodi, echinidi, briozoi, brachiopodi, balanidi, amphistegine, alghe corallinacee, rodoliti e foraminiferi bentonici. L'unità 2 è ben stratificata, con strati sottili e medi. La porzione sommitale dell'unità, affiorante nella trincea ferroviaria ad Anzio, è costituita da una calcarenite bioclastica, con selce e clinostratificazioni ad alto angolo. Queste caratteristiche fanno ipotizzare un contesto deposizionale di livello marino stabile sotto il livello di base del moto ondoso ordinario. L'età di questa unità è Pliocene superiore (Di Bella et alii, 2005).



Ditrupe, anellidi racchiusi dentro un piccolo tubo liscio e arcuato (molto simile a *Dentaliidae*). Appartengono alla famiglia dei *Serpulidae* (anellidi marini), i cosiddetti "vermi a ventaglio". Sono organismi biocostruttori e sessili che vivono sui fondali marini nella sabbia o nel fango.



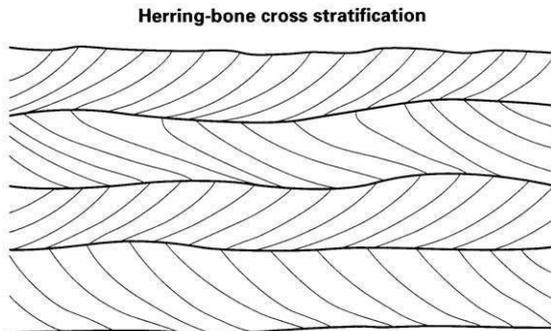
Arctica islandica (Linné, 1767). Detta anche vongola artica, è un importantissimo fossile-guida dei periodi glaciali: questo bivalve abita le attuali coste dell'Atlantico sub-artico e del Mare del Nord ed è quindi un mollusco tipico delle acque fredde. Il ritrovamento nelle successioni sedimentarie in Italia testimonia quindi un passato freddo del Mar Mediterraneo, come indicato anche dalla presenza di altri "ospiti freddi" (ad es. *Panopea norvegica* e *Mya truncata*).

L'**unità 3**, alla base della falesia di Tor Caldara, è rappresentata da sabbie cementate e sabbie argillose grigiastre; a Tor Caldara sono presenti due intercalazioni argillose di circa 50 cm. La stratificazione, mal definita, è sub-orizzontale discordante sui depositi pliocenici dell'unità 1. Il contenuto macrofossilifero è rappresentato da bivalvi (ostriche, pettinidi, *Arctica islandica*) e ichnofacies. Abbondanti sono inoltre i foraminiferi bentonici, tra cui *Ammonia sp.*, *Hyalinea baltica*, *Elphidium crispum*; tra i planctonici sono presenti *Globigerinoides elongatus*, *G. falconensis* e *Orbulina universa*. Caratteristica importante di questo affioramento è la sostituzione con zolfo dei gusci fossili a causa della vicinanza delle sorgenti solfuree.

I caratteri sedimentari e paleontologici di questa unità ne attribuiscono l'ambiente di deposizione a quello infralitorale, alla quota del livello di base del moto ondoso, di età Pleistocene inferiore (Calabriano inferiore-medio), anche per analogia con le facies sedimentarie della Formazione di Monte Mario (Ambrosetti & Bonadonna, 1967).

L'unità 4 è quella meglio esposta nella falesia di Tor Caldara; poggia sull'unità 3 attraverso una superficie di erosione visibile nell'area della riserva (Bellotti *et alii*, 1994), mentre nella sezione fra Tor Caldara e Tor Materno poggia in netta discordanza sull'unità 1 pliocenica.

A Tor Caldara la parte basale dell'unità è costituita da ciottoli di selce nera in matrice sabbiosa, che passano a sabbie con laminazione incrociata (*herring-bone cross bedding*) con inclinazione fino a 25°, con set di spessore fino a 20 cm.



Stratificazione a spina di pesce (*herring-bone*).



Herring-bone stratification e livelli microconglomeratici nell'unità 3

A questa litofacies fanno seguito sabbie pelitiche avana con resti carboniosi vegetali di circa 2 metri di spessore; questi depositi hanno un andamento concavo coincidente con l'originaria superficie deposizionale. Alla base è presente un corpo sabbioso a struttura cliniforme inclinata di circa 20° verso ESE, indicando la direzione del flusso sedimentario bioclastico; a luoghi si possono osservare *ripples* da corrente ben conservati.

I caratteri sedimentari indicano una deposizione in ambiente di spiaggia alimentata da apporti fluviali con materiale proveniente dalle successioni sabine, dalla Formazione di Ponte Galeria e dal complesso vulcanico laziale. L'età di questa unità è attribuita al Pleistocene medio, posteriore a 600 ka, per la presenza delle vulcaniti laziali.

La presenza del contatto erosivo basale, il livello di ciottoli iniziale, la successione *fining upward* e la stratificazione a spina di pesce indicano una sedimentazione fortemente controllata dalle oscillazioni del livello marino con ridotto battente d'acqua. Questa unità è chiusa superiormente da sabbie rosse sterili con frammenti laterizi.



Il contatto fra l'unità 1, litofacies pelitica, e l'unità 3, litofacies sabbioso-argillosa, alla base della falesia di Tor Caldara.



Laminazioni sedimentarie nell'unità 3 interessate da depositi di zolfo (Miniera piccola)



Ichnofacies a gallerie di artropoda



Resti fossili di pettinidi e bivalvi parzialmente sostituiti da zolfo

Le biocostruzioni a *Sabellaria alveolata*

La *Sabellaria alveolata* è un polichete sedentario della famiglia dei sabellaridi. Gli esemplari appartenenti a questa specie (e in generale al genere *Sabellaria*) vengono comunemente chiamati “vermi nido d'ape” per via della loro capacità di realizzare biocostruzioni costituite da tubi formati da sabbia e bioclasti agglutinati da un muco organico e caratterizzate da un aspetto alveolare.

L'animale è lungo dai 30 ai 40 mm e presenta il corpo distinto nel capo, tre segmenti paratoracici e un numero di segmenti addominali variabili da 24 a 32 e una coda della lunghezza che varia dai 6 ai 20 mm e che ripiega ventralmente.

Il capo del verme è costituito da due peduncoli corti saldati dorsalmente per la lunghezza che portano una corona con tre file di palette giallo oro; tale corona chiudendo l'apertura del tubo quando l'animale vi si ritrae, ha funzione di opercolo. I tubi costruiti dalla *Sabellaria* risultano disposti parallelamente l'uno accanto all'altro e possono formare ammassi considerevoli chiamate anche barriere pseudo-madreporiche.

Curiosità: tali formazioni sono diffuse nel Lazio e vengono spesso raccolte dai pescatori e usate come esca, denominata “tremolina”. I blocchi di tremolina hanno una consistenza considerevole in quanto possono pesare 2 kg e contenere da 100 a 130 individui di sabellaria. Il diametro dei tubi varia da 4.5 mm a 1 mm o anche 0.5 mm nei blocchi abitati da esemplari giovani.

Le colonie quindi si presentano quali ammassi rotondeggianti dal diametro da poche decine di centimetri a qualche metro e raramente si fondono l'uno con l'altra. Sulle colonie spesso vive una vegetazione costituita da alghe rosse (*Ceramium ciliatum*) e verdi (*Ulva lactuca*).

In particolare già nel 1957 era stato studiato il banco arenaceo formato dai tubi di *Sabellaria alveolata* (Anellidi, Policheti) nel Lazio e Taramelli Rivosecchi (1960) aveva già analizzato le variazioni stagionali della composizione di questa particolare biocenosi posta a circa 200 metri dalla riva.

Il banco ospita una varia popolazione di organismi che vi trovano abbondante nutrimento e riparo dai frangenti delle onde e, in generale, dalle sfavorevoli condizioni ambientali della zona di battente di marea. La *Sabellaria* si insedia solitamente su substrato solido, dal piccolo sasso, da una conchiglia o da un grande masso, a condizione che nell'ambiente circostante sia presente la sabbia con cui l'animale costruisce i suoi tubi. Da alcuni studi condotti sembra che la natura mineralogica e quindi chimica dei granelli di sabbia utilizzati dall'organismo abbia un ruolo importante nella loro scelta.



esemplare di Sabellaria alveolata



colonia di Sabellaria alveolata a Tor Caldara (photo Andrea Bonifazi)

La specie del genere *Sabellaria* più diffusa e conosciuta a livello internazionale e nazionale è *Sabellaria alveolata*, che è quella presente a Tor Caldara. È diffusa in Mediterraneo, ma anche sulle coste atlantiche europee, in particolare in Francia e Inghilterra. Per quanto riguarda le coste italiane, banchi a *Sabellaria alveolata* sono riportati in alcune aree costiere della Campania (Golfo di Napoli, Salerno e Policastro), in Liguria e Toscana, in Sicilia e nel Lazio. La specie colonizza aree molto superficiali della costa, dal livello di bassa marea fino a 3-5 m di profondità, dove l'energia del moto ondoso è più elevata e permette la sospensione e mobilitazione delle particelle di sedimento, nonché del materiale organico di cui la specie si nutre per filtrazione. Altre due specie di *Sabellaria*, *Sabellaria halcocki* e *Sabellaria spinulosa* sono state segnalate nei mari italiani, ma esse costruiscono aggregati di minore entità. La presenza di *Sabellaria halcocki* nell'area costiera dell'Area Marina Protetta Torre del Cerrano, in Abruzzo, al momento rappresenta l'unico rinvenimento per il bacino adriatico e ha pertanto una notevole rilevanza dal punto di vista naturalistico, giustificando un'azione di tutela di questo patrimonio.

La composizione dei tubi è caratteristica della famiglia Sabellariidae cui questa specie appartiene e si differenzia dalla natura carbonatica dei tubi costruiti dalla famiglia dei Serpulidi. I tubi possono raggiungere la lunghezza di 20 cm e un diametro esterno di 5 mm. Per quanto riguarda la dimensione media del sedimento usato, alcuni studi hanno dimostrato che i tubi dell'animale sono costituiti essenzialmente da sabbia media (0,2-0,5 mm), con granelli di forma arrotondata e ben levigati, mediamente classati. Sembra che sia l'anatomia dell'animale, in particolare la grandezza dell'organo costruttore, la causa principale di questa scelta selettiva dei granelli di sabbia. Poiché la grandezza dell'organo costruttore è legata linearmente e direttamente con la crescita dell'animale, anche l'evoluzione granulometrica del tubo tende a seguire l'età dell'animale, variando soprattutto dal primo al terzo anno di vita e poi stabilizzandosi ad un diametro compreso tra 0,4 e 0,7 mm. Comunque, tale selezione da parte dell'animale non impedisce l'uso di una sabbia di granulometria differente, quando i disturbi locali e le condizioni idrodinamiche sono tali da mettere a disposizione un sedimento con caratteristiche che si discostano dal range ottimale; l'unica condizione è che i granuli siano minori o uguali alla grandezza dell'organo costruttore. Vivono lungo coste moderatamente aperte ed esposte all'azione delle correnti, laddove l'idrodinamismo sia tale da mettere in sospensione la sabbia. Gli animali vivono all'interno dei tubi, dai quali fuoriesce un appariscente pennacchio formato da una corona (di solito composta da due parti semicircolari) di filamenti branchiali, che portano ai lati dei sottili cirri, le pinnule, a loro volta ciliati. Attraverso il movimento delle ciglia si crea una corrente d'acqua che viene filtrata dall'intreccio delle pinnule dove vengono trattenute tutte le particelle in sospensione. Il pennacchio ha, quindi, una duplice funzione: respiratoria e trofica.

Come accennato precedentemente, questi organismi creano delle strutture biogeniche date dall'aggregazione dei loro tubi. I singoli tubi si accrescono in verticale e nuovi individui si aggiungono lateralmente o in strati sovrapposti in modo che la struttura si accresce in modo massivo. Questo processo è possibile grazie al fatto che i Sabellaridi hanno escogitato un interessante sistema per garantire alle larve di insediarsi sui tubi degli adulti. Gli adulti, infatti, emettono particolari sostanze che stimolano e inducono l'attaccamento delle larve stesse in prossimità dell'adulto, un sistema molto efficace usato anche da altri organismi gregari, come i balani. I tubi crescono formando costruzioni rotonde a forma di cuscino, in zone caratterizzate da forti correnti; questi si allungano nella direzione perpendicolare alla corrente principale e, sotto condizioni di idrodinamismo estremo, i tubi possono crescere obliquamente, per portare le loro aperture verso il lato più riparato. In seguito, i tubi che formano i cuscini crescono molto velocemente nella parte inferiore del reef e più lentamente in quella superiore, si formano così barriere che crescono nella direzione perpendicolare alla corrente principale e all'ondazione. Quindi, le barriere possono unirsi e formare piattaforme che crescono lentamente, spesso ricoperte di alghe. Infine, le strutture si evolvono in veri e propri banchi, le cui orientazioni possono dipendere dalla forma del substrato o dal regime idrodinamico, indipendentemente dal substrato. Il sedimento, che si muove trasportato dalle correnti, rimane intrappolato in queste strutture-filtro e ritorna sul fondale sabbioso quando i reef vengono erosi.

Le scogliere biogeniche possono avere importanti effetti in base all'ambiente fisico e chimico. Importanti influenze che essi conferiscono al loro ambiente possono includere la stabilizzazione della sabbia, delle ghiaie e delle pietre; i tubi di questi organismi forniscono un substrato duro per l'attacco di organismi sessili; possono fornire una diversità di fessure, superfici e sedimenti per la colonizzazione e il rifugio, possono accumulare feci, pseudofeci e altri sedimenti che sono un'importante fonte di cibo per altri organismi. E' possibile che le scogliere siano habitat molto produttivi dominati da filtratori, in un ambiente che potrebbe essere molto meno produttivo in loro assenza. La stessa specie chiave sarà predata e costituisce la base di una locale catena trofica. Le scogliere biogeniche sono, di conseguenza, molto importanti per il funzionamento ecologico dell'habitat in cui si trovano. Tra gli organismi associati ai banchi a *Sabellaria* sono documentate sia forme sessili, quali alghe incrostanti, altri policheti, molluschi, briozoi e ascidiacei, sia forme vagili, quali policheti, crostacei peracaridi, tanaidacei e anfipodi. Una fauna ricca e diversificata è tipica di reef in uno stato di conservazione quasi discreto, mentre popolamenti più poveri sono associati a reef in uno stato di conservazione migliore. Ciò è in accordo con la fase del ciclo di sviluppo del reef. Lo stato di conservazione dei reef è definito attraverso l'analisi di caratteristiche morfologiche: quali ad esempio la % dei tubi con collaretti di sabbia intorno all'apertura, stato della superficie del reef (presenza/assenza di porzioni erose e con fessure e buchi), presenza/assenza di epibionti, compattezza del blocco e orientamento dei tubi. Esiste poi una relazione inversa tra la densità di *Sabellaria* e l'abbondanza e diversità della fauna associata. Quando *Sabellaria* è fortemente dominante lascia poche possibilità agli altri organismi sospensivori di colonizzare le formazioni a causa della competizione per il cibo e anche perché si nutre delle larve presenti nell'acqua impedendone l'insediamento. Nelle formazioni in cui la

densità è minore, l'alta complessità strutturale dovuta alle cavità e ai tubi rimasti vuoti, facilita l'insediamento di altri organismi sia sospensivori che di altri gruppi trofici. Questi animali, essendo filtratori, svolgono un ruolo importante anche in termini di biorimediazione dell'acqua, rimuovendo sedimento e particolato dell'acqua, anche se, vivendo in ambiente molto dinamico, questa capacità ha una ricaduta ecologica più limitata.

I singoli vermi vivono da tre a cinque anni, eccezionalmente fino a nove anni, ma i *reefs* possono durare più a lungo come risultato di un ulteriore insediamento di vermi sulle colonie esistenti. La variazione della topografia superficiale e dell'eterogeneità spaziale può spiegare insolite associazioni di specie che costituiscono un'endofauna molto singolare associata al *reef*. Le influenze antropiche, in particolare disturbi meccanici dovuti ad attività di pesca, mostrano un costante aumento e potrebbero avere un serio impatto sulla diversità delle specie associate e sulla stabilità ecologica del *reef*, nonostante sia possibile una ricolonizzazione nelle aree degradate del *reef*.

Bibliografia

- Ambrosetti P. & Bonadonna F.P. (1967) - Revisione dei dati sul Plio-Pleistocene di Roma. Atti Acc. Gioenia Sc. Nat., 18, 33-79.
- Antonelli D., Argenti E., Fattori C., Mancinella D., Mantero D., Mastrandrea N., Orlandini R. & Tufano M. (2010) - Indagine e ricerca sulla pericolosità connessa all'emissione di gas endogeni nel territorio della Regione Lazio. INGV - Reg. Lazio, Relazione finale, Parte I: 82-101.
- Bellotti P.C., Chiocci F.L., Milli S., Tortora P. & Valeri P. (1994) - Sequence stratigraphy and depositional setting in the Tiber delta: integration of high-resolution seismics, well logs, and archeological data. Journal of Sedimentary Research, B64, 416-432.
- Bellotti P., Evangelista S., Tortora P. & Valerio P. (1997) - Caratteri sedimentologici e stratigrafici dei sedimenti plio-pleistocenici affioranti lungo la costa tra Tor Caldara e Anzio (Lazio centrale). Boll. Soc. Geol. It., 116, 79-94.
- Buonanni F. (1709) - Musaeum Kircherianum etc. Tip. Plachi, Romae.
- Brocchi G.B. (1817) - Catalogo ragionato di una raccolta di rocce. Imperiale Regia stamperia, Milano.
- Carapezza M.L., Ranaldi M., Tarchini L., Ricci T. & Barberi F. (2020) - Origin and hazard of CO₂ and H₂S emissions in the Lavinio-Tor Caldara zone (Metropolitan City of Rome Capital, Italy). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 402, 1-17.
- Chiocci F.L., La Monica G.B. (1999) - Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale della Regione Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini del ripascimento dei litorali in erosione. Rapporto della prima fase. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Scienze della Terra – Regione Lazio, Dipartimento OO.PP. e Servizi per il Territorio – ROMA, settembre 1999: 100 pp.
- Console F. & Pantaloni M. (2020) - Le escursioni geologiche di Romolo Meli lungo la costa di Anzio (Roma). Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 106, 193-204.
- Correggiari A., Carrà D., Landuzzi V., Penitenti D., Viglione M., Paltrinieri D., Antonelli U. (2003) - Research and identification of sand deposit in the central Adriatic sea. Convegno: "Le sabbie sottomarine dell'Adriatico centrale. Proteggere ed ampliare l'orizzonte delle spiagge" - Sirolo, 4-5 maggio 2003
- Cosentino D., Cipollari P., Marsili P. & Scrocca D. (2010) - Geology of the central Apennines: a regional review. In: Beltrando M., Peccerillo A., Mattei M., Conticelli S. & Doglioni C. (eds.), The Geology of Italy: tectonics and life along plate margins. Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, ISSN 1441-8142, volume 36, paper 12.
- D'Angelo S., Gisotti G., Lembo P. & Valletta M. (1999) - Rischio geologico della fascia costiera e problematiche di conservazione della spiaggia tra Anzio e Tor Caldara. Atti del convegno "La Villa di Nerone e la costa di Anzio". Servizio Geologico d'Italia, Miscellanea, 8, 29-38.
- De Marchi L. (1882) - I prodotti minerali della provincia di Roma. Ministero Agricoltura, Industria e Commercio. Roma.
- Di Bella L., Carboni M.G., Bergamin L. & Iamundo F. (2005) - The Early Pleistocene in Latium (Central Italy): palaeoecology from benthic foraminiferal record. Quaternary International, 131, 23-34.
- Dubois S., Retiere C. & Olivier F. (2002) - Biodiversity associated with Sabellaria alveolata (Polychaeta: Sabellariidae) reefs: effects of human disturbances. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 82, 817-826.
- Fabi G., Manoukian S., Tedeschi R. (2004) - Monitoraggio dell'area destinata al prelievo di sabbie al largo di Ravenna. Rapporto per ARPA Emilia Romagna: 17 pp.
- Faccenna C., Funicello R., Bruni A., Mattei M. & Sagnotti L. (1994) - Evolution of transfer related basin: the Ardea Basin (Latium Central Italy). Basin Researches, 6, 35-46.
- Lombardi F. (1847) - Cenni storici di Anzio antico e moderno. Tip. Costantino Mezzana, Roma.
- ISPRA (2015) - Individuazione di procedure avanzate per l'impiego sostenibile dei depositi sabbiosi sommersi mediante l'impostazione di schemi originali per la predisposizione di specifici studi di impatto ambientale ai fini della procedura di via regionale. Evoluzione morfo-batimetrica dei depositi di sabbie relitte sottoposti a dragaggio lungo la piattaforma continentale laziale. Regione Lazio Progetto POR FESR 2007-2013 "INTERCOAST": 75 pp.
- La Valle P., Nicoletti L., Finoia M.G. & Ardizzone G.D. (2011). Donax trunculus (Bivalvia: Donacidae) as a potential biological indicator of grain-size variations in beach sediment. Ecological Indicators, 11/5, 1426-1436.

- Mantero F.M. (1995) - Lo zolfo. In: Tor Caldara - Dalla Selva al Bosco - Un ambiente, la sua storia, i suoi abitanti, Libreria Editrice Viella, Roma, 61-100.
- Marra F. & Rosa C. (1995) - Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana. In: Funicello R. (ed.), La Geologia di Roma - Il Centro Storico. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50, 49-118.
- Martinis B. (2003) - La fragilità del bel paese: geologia dei paesaggi italiani. Hoepli Ed., 208 pp.
- Mattei M., Funicello R. & Parotto M. (2008) - Roma e contesto geodinamico recente dell'Italia Centrale. In Funicello R., Praturlon A. & Giordano G. (eds.), La geologia di Roma. Dal centro storico alla periferia. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 80, 13-24.
- Mattias P., Massacci G. (2003) - Lo zolfo nel Lazio, miniere e mineralizzazioni, giacimenti e vicende. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, XXX, pp. 88-94.
- MATTM-Regioni (2018) - Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 - Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera. MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 304 pp.
- Meli R. (1884) - Cenni geologici sulla costa di Anzio e Nettuno. Annuario del R. Istituto Tecnico di Roma, Tip. Fratelli Centenari, Roma, 32 pp.
- Moretti M., Lisco S., Brandano M., Tomassetti L., Gravina M.F., Pantaloni M. & Console F. (2019) - The Sabellaria bioconstructions and their Plio-Pleistocene substratum along the southern Latium coast (Tor Caldara, Anzio, Italy). 34th IAS Meeting of Sedimentology, Rome (Italy) September 10-13, 2019, Post-Meeting Field Trip IM6.
- Naylor L. A., Viles H. A. (2000) - A temperate reef builder: an evaluation of the growth, morphology and composition of Sabellaria alveolata (L.) colonies on carbonate platforms in South Wales. In: E. Insalaco, P. W. Skelton, T.J. Palmer (eds.), Carbonate platforms systems: components and interactions. Geological Society, Special Publication, 178, 9-19.
- Nicoletti L., Paganelli D., Gabellini M. (2006) - Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol. Quaderno ICRAM n. 5: 155 pp.
- Nicoletti L., Paganelli D., La Valle P., Maggi C., Lattanzi I., La Porta B., Targusi M., Gabellini M. (2009) - An Environmental Monitoring Proposal Related to Relict Sand Dredging for Beach Nourishment in the Mediterranean Sea., Journal Coastal of Research, SI 56, 1262-1266.
- Nicoletti L., La Valle P., Paganelli D., Lattanzi L., La Porta B., Targusi M., Lisi I., Loia M., Maggi C., Pazzini A., Proietti R., e Gabellini M. (2018) - Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: protocollo di monitoraggio per l'area di dragaggio. ISPRA, Manuali e Linee Guida 172/2018, 34 pp
- Nonnis O., Paganelli D., Proietti R. and Nicoletti L. (2011) - Physical effects related to relict sand dredging for beach nourishment in the Tyrrhenian sea: the Anzio case. Journal of Coastal Research, SI 64, 1380 – 1384.
- Paganelli D., La Valle P., Ercole S., Lisi I., Teofili C., Nicoletti L. (2014) - Linee guida per gli studi ambientali connessi alla realizzazione di opere di difesa costiera. ISPRA, Manuali e Linee Guida 105/2014: 73 pp.
- Paganelli D., Nonnis O., Pazzini A, Proietti R. (2016) - Il dragaggio del fondo marino per il ripascimento costiero: casi di studio lungo la piattaforma continentale laziale. Professione Geologo, 48: 22-26.
- Parotto M. (2008) - Evoluzione paleogeografica dell'area romana: una breve sintesi. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 80, 25-38.
- Parotto M. & Praturlon A. (1975) - Geological summary of the Central Apennines. CNR, Quaderni della Ricerca Scientifica, 90, 257–311.
- Patwardhan S. & Vetriani C. (2016) - Varunaivibrio sulfuroxidans gen. Nov., sp. Nov., a facultatively chemolithoautotrophic, mesophilic alphaproteobacterium from a shallow-water gas vent at Tor Caldara, Tyrrhenian Sea. Int. Journ. of Syst. and Evol. Microb., 66: 3579-3584.
- Peccerillo A. (2005) - Plio-Quaternary volcanism in Italy. Petrology, Geochemistry, Geodynamics. Springer, Heidelberg, 365 pp.
- Pennetta M., Bifulco A., Savini A. (2013) - Ricerca di depositi di sabbia sottomarina relitta sulla piattaforma continentale del Cilento (SA) utilizzabile per interventi di ripascimento artificiale dei litorali. Geologia dell'Ambiente, Suppl. al n. 1/2013
- Portis A. (1893) - Contribuzioni alla storia fisica del bacino di Roma e studii sopra l'estensione da darsi al Pliocene superiore. Memorie. Comitato Geologico d'Italia. 513 pp.
- Praturlon A. (2008) - Il vecchio e il nuovo delta del Tevere (Fiumicino e Ostia, la spiaggia e il porto di Roma). In: Funicello R., Praturlon A. & Giordano G. (eds.), La geologia di Roma. Dal centro storico alla periferia. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 80, 221-235.
- Segre A.G. (1957) - Nota sui rilevamenti eseguiti nel F. 158 Latina della Carta Geologica d'Italia. Boll. Serv. Geol. d'It., 78, 569-583.
- Sulphur, museo dello zolfo di Peticara, RN - <https://www.museosulphur.it/>
- Struever G. (1876) - Studi sui minerali del Lazio. Parte prima. Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei, vol. 3, ser. 2, 205-224.
- Taramelli Rivosecchi E. (1960) - Osservazioni sulle biocenosi del banco a Sabellaria di Lavinio. Rend. Accad. Naz. XL, serie IV, XII, 147-157.

Tommasetti G. (1910) - La campagna romana antica, medioevale e moderna. Loescher Ed., Roma.

Vovelle J. (1965) - Le tube de Sabellaria alveolata (L.) Annélide Polychète Hermellidae et son ciment. Etude écologique, expérimentale, histologique et histochimique. Arch. Zool. exp. Gén., 106, 1-187.

