

Introduzione alla fisica del mare

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted and accepted June 18th 2022, revised Jan 16th 2023

Abstract The realm of the sea, and the ocean encompasses a lot of physical observations. Through them we introduce high school students to the study of the Oceanography. The argument presented to an introductory level deal with 1. Coastal dunes and berm 2. Hadley cell local (breeze regimes) 3. Tides and seiches (especially for Tyrrhenian and Adriatic sea) 4. Waves energy balance 5. Sextant, compass and rose of winds 6. METAR codes 7. The ocean in Rome. These topics are studied on the spot, at the beach/pier of Ostia and Pescara, respectively on the Tyrrhenian and Adriatic sea.

Sommario Il mare è oggetto di studi geografici, storico-economici, antropologici, e anche di fisica. Tramite le osservazioni e le misure introduciamo gli studenti di scuola secondaria all'Oceanografia con alcuni argomenti da esaminare sul posto a Ostia e a Pescara: 1. Dune litorali e berma 2. Cella di Hadley locale (regime di brezza) 3. Maree e sesse (nel Tirreno e nell'Adriatico) 4. Bilancio energetico tra onde e venti 5. Strumenti marini: rosa dei venti e bussola, sestante 6. I codici METAR 7. L'oceano a Roma.

Keywords: Oceanography, Marine Instruments, Sun-sea interaction, Sea-winds interaction, Waves Mechanics.

Introduzione: i giovanissimi non pensano che il mare sia oggetto di studio e di misure, come gli esperimenti fatti nel laboratorio di fisica...eppure basta poco per capirlo, e Istituti prestigiosi nel Mondo e in Italia si occupano di queste tematiche (Scripps,¹ Trieste,² Genova,³ Monaco,⁴ Parigi⁵). Gli oceani sono oggetto di interesse della politica

¹ <https://scripps.ucsd.edu>

² <https://www.ogs.it/it>

³ <http://ge.ismar.cnr.it/>

⁴ <https://musee.oceano.org/en>

⁵ <https://www.oceano.org/>

mondiale.^{6,7} Gli Stati Uniti nel 1830 istituirono l'osservatorio astronomico navale.⁸

Ancora oggi gli interessi militari attorno agli oceani sono enormi.⁹

Le stesse funzioni le ebbe l'Osservatorio di Greenwich, quello di san Fernando in Spagna¹⁰. La grande tradizione portoghese la troviamo a Lisbona nel Museo della Marina.¹¹ Per Venezia c'è anche un servizio speciale di sorveglianza della Laguna.¹² Al termine di questa brevissima introduzione menziono Ostia, dove l'Università di Roma Tre ha aperto Ingegneria del mare, proprio sul Lungomare Caio Duilio.¹³ La scuola navale Francesco Morosini di Venezia,¹⁴ e l'Accademia navale di Livorno¹⁵ sono i percorsi per gli Ufficiali della Marina. Gli Istituti Nautici (De Pinedo,¹⁶ M. Colonna a Roma¹⁷) completano il panorama dell'offerta formativa, a cui si aggiungono i corsi veloci offerti a Sabaudia e a Taranto

⁶ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2398

⁷ <https://marine-conservation.org/us-ocean-governance>

⁸ <https://www.cnmoc.usff.navy.mil/usno/>

⁹ *Science on a Mission: How Military Funding Shaped What We Do and Don't Know About the Ocean* [Physics Today Webinar 25-Jan-2023](#)

¹⁰ <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/cienciaobservatorio>

¹¹ <https://ccm.marinha.pt/pt/museu>

¹² <https://www.venezia.isprambiente.it/>

¹³ <https://www.uniroma3.it/corsi/dipartimento-di-ingegneria/l/2021-2022/ocean-engineering-0580706200900002/>

¹⁴ <https://www.marina.difesa.it/il-tuo-futuro-e-il-mare/formazione-in-marina/morosini/Pagine/default.aspx>

¹⁵ https://www.marina.difesa.it/il-tuo-futuro-e-il-mare/formazione-in-marina/accademia_navale/Pagine/default.aspx

¹⁶ <https://www.ittlroma.it/>

¹⁷ <https://www.colonna.edu.it/index.php/it/?layout=edit&id=203>
(biblioteca)

dalla Lega Navale Italiana,¹⁸ la Sede di Ostia al lungomare Caio Duilio 36 ci ha visto ospiti virtuali con le osservazioni di tramonti tramite webcam.¹⁹

1. La duna litorale e la berma Tipico delle coste laziali, il sistema di dune litorali è il confine naturale del mare. Nel libro dei Proverbi (8, 29) “stabiliva al mare i suoi limiti, così che le acque non ne oltrepassassero i confini” viene espresso questo concetto di limite. La berma è quella zona in parte immersa in parte emersa dove si arresta il moto ondoso. Questa è più inclinata d’inverno che d’estate.²⁰ La batimetria presso la linea di riva anche ha un’evoluzione stagionale, con la presenza di secche, barre litorali più o meno pronunciate, ossia poco profonde. A Ostia-“cancelli” se ne trovano facilmente due entro i 100 m dalla riva, mentre l’andamento naturale è modificato con le **barriere soffolte** di scogli (presenti davanti a tutta la zona cittadina di Ostia, da Levante-Colombo a Ponente-Porto turistico). Si può dire che gli ultimi duecento metri di mare e i primi duecento metri di terra costituiscano, a tutti gli effetti, un sistema ben determinato dalla meccanica delle onde del mare, e della sabbia mossa dal vento: la regione litorale.²¹

¹⁸ <https://www.leganavale.it/post/46503/corsi-nautici-estivi-2022>

¹⁹ <https://www.leganavaleostia.it/webcam-ponente/>

²⁰ W. Bascom, *Onde e Spiagge*, Zanichelli, Bologna (1966).

²¹ <https://www.treccani.it/enciclopedia/regione-litorale/>



Fig. 1 La duna a Ostia, terzo cancello, ingresso di ponente.



Fig. 2 Un cespuglio di *Juniperus phoenicea*, sul lato Nord. La duna fronte mare si eleva per circa 10-12 metri di quota sul livello del mare. Alle sue spalle ci sono altre dune, interamente ricoperte di vegetazione, macchia mediterranea, che si trovano nella riserva naturale del Litorale Romano, riservata al Presidente della Repubblica. Fu Giuseppe Saragat che il 7 agosto 1965 aprì alla cittadinanza i cancelli della spiaggia libera più grande

d'Europa.²²



Fig. 3 e 4. Cespuglio e bacche di *Juniperus Phoenicea*, il cosiddetto *Ginepro Coccolone*.

Le coccole sono le bacche, che maturano in due anni.

Il ginepro è una pianta pioniera. In tempi molto lunghi, resistendo a temperature estreme e precipitazioni ridotte, e con pochi nutrienti a disposizione, conquista a poco a

²² <https://www.turismoroma.it/it/luoghi/elenco-dei-cancelli-di-castel-porziano-spiagge-libere>

poco l'ambiente sabbioso battuto dai venti e arso dal Sole e dalla salsedine.



Fig. 5 *Juniperus Communis*, sempre sulla duna del cancello 3.

Queste conifere sono Cupressacee, ed i loro pollini anticipano anche di due mesi la comparsa in aria, rispetto al *Cupressus Sempervirens* delle nostre città, già nel mese di novembre. Questo tipo di Ginepro ha foglie simili a quelle dei Cipressi, mentre quello Fenicio le ha a punta, lisce e lanceolate.

Un esperimento interessante è quello della misurazione dell'altezza massima della duna fronte mare e dell'andamento della temperatura nel corso di una giornata estiva, appena sopra la superficie della sabbia, **sopravento e sottovento**, in presenza o meno di brezza marina.



Fig. 6 e 7 Altre erbe pioniere sulla duna: agli e camomilla.

2. La cella di Hadley locale e il regime di brezza La brezza di mare sorge poco prima del mezzogiorno locale, quando l'insolazione ha scaldato molto la regione litorale. Con l'aumento della temperatura del suolo anche l'aria si riscalda velocemente e tende a salire verso l'alto, richiamando dal mare aria più fresca. Questo meccanismo si chiude in alto in un circolo che prende il nome di cella. George Hadley perfezionò nel 1735 il

modello di Edmund Halley sulla circolazione atmosferica planetaria tra l'equatore e i tropici,²³ specificando il ruolo della rotazione terrestre. Questo tipo di cella, localmente, senza bisogno di invocare la rotazione, spiega la brezza di mare di giorno, e quella di terra di notte.²⁴ La Treccani riporta che la brezza è una caratteristica delle regioni mediterranee tranne d'inverno, e la sua assenza è foriera di cambio del tempo.

Durante l'estate con il Sole che è più alto e più forte, il riscaldamento della terra è molto forte e sui rilievi montuosi più vicini al mare si formano le nubi cumuliformi. Dai colli Albani (alti fino a quasi mille metri) e 30 km a Est dai cancelli si levano durante il pomeriggio nubi torreggianti che giunte alla stratosfera vengono deviate verso il mare proprio dal richiudersi della cella. Durante l'estate l'energia fornita dal Sole è sufficiente a creare questo ciclo, che può concludersi anche con un temporale sul litorale verso le 5 del pomeriggio.



²³ https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley_cell

²⁴ [https://www.treccani.it/enciclopedia/brezza_\(Enciclopedia-Italiana\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/brezza_(Enciclopedia-Italiana)/)

Fig. 8 Dalla duna, verso Est, nubi cumuliformi. Monte Cavo 960 m è scuro in basso a sinistra. Le nubi torreggiano a 7000 metri, h 14:51.

Dalla spiaggia si perde la vista dei Colli Albani, ma l'evoluzione delle nubi è rapidissima. Un filmato di 47 minuti mostra questa stessa nube fino alle 15:51, quando ha già raggiunto il litorale a 30 km di distanza.



Fig. 9 la stessa nube della fig. 8 alle 14:58. Il top è a 9000 m.

Dai Colli Albani le nubi si alzano in soli 8 minuti fino alla tropopausa: <https://youtu.be/9dZIOVCNHBk> 15 giugno '22 h15-16.

La velocità verticale è di 1 km al minuto, impressionante!



Fig. 10 un'ora dopo h 16 la nube è arrivata sopra al mare coprendo 30 km in orizzontale, segno che la cella

“richiama” verso il mare.

La stessa dinamica atmosferica si osserva sul litorale Adriatico a Pescara rispetto al Gran Sasso (che è a 40 km a Ovest) e a Fossacesia rispetto alla Majella (40 km a Ovest). A Lanciano che è nell’entroterra a 30 km a Est della Majella quella pioggia pomeridiana è più probabile che sul litorale.



Fig. 11 Evoluzione di una nube cumuliforme in 45 minuti, 14/6 h 19.



Fig. 12 la nube della fig. 11 illuminata dal Sole cadente, sopra Roma.

Un'altra osservazione della cella di Hadley locale può essere condotta durante il viaggio in treno tra Roma e

Ostia. Se appena lasciata Roma ci sono delle nubi, sistematicamente ad Acilia –a metà strada- queste nubi raggiungono un massimo, per poi diradarsi e sparire verso il mare. Due celle adiacenti si toccano ad Acilia, a 9 km dal mare, come il modello seguente suggerisce.

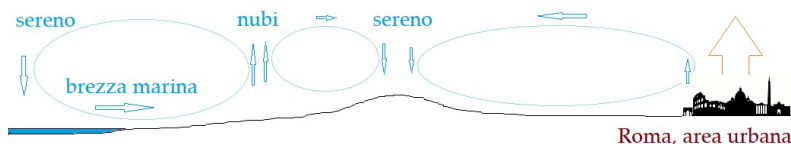


Fig. 13 Le celle locali di circolazione atmosferica tra Roma e il mare.

Queste celle mettono quotidianamente in comunicazione l'isola di calore di Roma con il mare che sta a 25 km di distanza verso Sud,²⁵ nel momento di maggior calore solare. Acilia è a circa 2/3 della distanza dell'isola di calore urbana di Roma dal mare Tirreno.

7. METAR (METeorological Aerodrome Report) Sia andando per mare, che restando a riva o su un pontile, sopra abbiamo il cielo e sotto l'acqua. Dunque non si può prescindere dalla conoscenza delle meteore,²⁶ come le chiamava Aristotele. Associate ad un determinato luogo e una determinata stagione, esse possono aiutare anche a prevedere il tempo meteorologico. A fronte di servizi online sempre più accurati di previsioni meteo e di analisi di dati da satellite,²⁷ i dati METAR forniti dagli aeroporti sempre da personale militare, sino ad anni molto recenti, sono indicativi della situazione meteo ora per ora, e sono accessibili anche alcuni mesi dopo nei siti

²⁵ C. Sigismondi, (2003)
<http://www.icra.it/solar/sigismondi/STAR40/relazione.html>

²⁶ <https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>

²⁷ <https://www.meteoblue.com/>

opportuni,²⁸ senza richiedere abbonamenti. La stringa di un METAR include le variabili necessarie a comprendere i principali fenomeni osservabili.

LIRP 141515Z 29007KT CAVOK 30/16 Q1015 NOSIG

Questo METAR viene dall'aeroporto di Pisa con sigla LIRP, è del 14 (giugno) alle 15:15 Z=17:15 locali. Z sta per "zulu", ossia Greenwich senza ora legale. Da 290° di azimut, viene un vento di 07 Knots= 7 nodi=12.85 km/h. CAVOK la visibilità è OK, la temperatura è di 30°C e quella di rugiada di 16°C (a cui l'umidità condenserebbe). La pressione atmosferica ridotta al livello del mare è 1015 hPa. No altri segnali. L'umidità al 43% è una conseguenza delle due temperature misurate. Più le due cifre sono simili, più l'umidità tende al 100%, e la visibilità si riduce per nebbia o foschia.

La corrispondenza tra le due temperature e l'umidità relativa si deduce dalle tabelle di saturazione per l'atmosfera standard.

C'è poi una previsione meteo TAF (Terminal Area Forecast) a breve termine. Infine esistono anche stazioni meteorologiche marine, con l'indicazione della temperatura del mare e "pesantezza" delle onde, es.

W12/S8 Water=12°C onde S=8 pesanti (max 9).²⁹

L'accuratezza di una osservazione meteorologica viene capita leggendo questo sito <https://metar-taf.com/it/explanation> in cui si vede un'articolazione ben dettagliata rispetto al classico "brutto tempo". Le velocità sono espresse in nodi, ossia in miglia marine all'ora, ossia 1837 m/h. Un miglio

²⁸ <https://metar-taf.com/it/LIRP> es. aeroporto di Pisa Galileo Galilei

²⁹ <https://metar-taf.com/it/explanation> qui è la spiegazione complete delle voci, da consultare ogni volta per avere chiaro il codice dei METAR e tutte le possibili osservazioni meteorologiche.

marino corrisponde ad 1' di latitudine che, essendo letto su un cerchio massimo, ha lo stesso valore per tutti i punti della Terra. Ricordiamo che $60' = 1^\circ \approx 111 \text{ km}$ e tutto il giro 360° sono circa 40.000 km. La pressione atmosferica si misura in hPa, ma può trovarsi espressa anche in millibar (mb) ed è riportata al livello del mare. La **US Standard Atmosphere 1976**³⁰ è valida per moderata attività solare

<https://www.digitaldutch.com/atmoscalc/> .

8. L'oceano nelle antiche mappe medievali



Fig. 14 La fontana dei fiumi a Piazza Navona: tutti i fiumi sfociano a mare e tutti i mari sono in comunicazione tramite il fiume Oceano, che circonda le terre emerse. Questa è la geografia medievale.

La fontana del Bernini a Piazza Navona, sormontata

³⁰ R. Mizner, *Rev. Geoph.* **15**, 375 (1977)

dall'obelisco egizio, non solo rappresenta la geografia a quattro continenti, ma anche il mare Oceano, o fiume che dir si voglia, attorno all'ecumene abitato e non. Prima della scoperta dell'America i continenti recensiti nella cartografia medievale erano tre. La tradizione che attribuisce ai Magi il numero di tre è legata anche a questa ragione: essi rappresentavano tutta la Terra davanti a cui si manifestava il Cristo. Uno è nero, e rappresenta l'Africa, gli altri due L'Europa e l'Asia.



Fig. 15 Il presepe con i Magi.
La mappa della Cattedrale di Burgo de Osma mostra la struttura a 3.



Fig. 16 La mappa della Cattedrale di Burgo de Osma (1086); sulla destra si vede un quarto continente abitato da uno sciapode, ossia uno che si fa ombra con i propri piedi. L'oceano è tutto attorno.

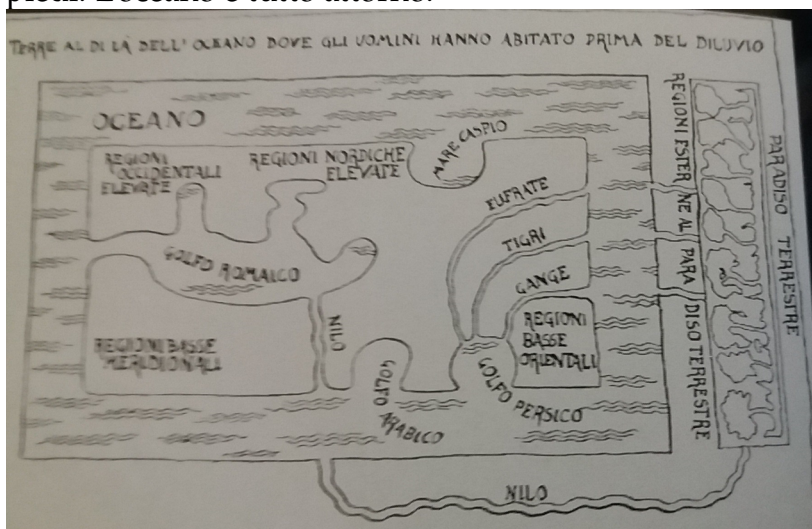


Fig. 17 Uno schema del mondo tripartito medievale.

Anche in questo caso l'Oceano circonda le terre emerse, o
Abbraccia terre il gran padre Oceàno. (Foscolo, *I Sepolcri*, v.
99)



Fig. 18 Oceano, nella fontana di Trevi, circondato da cavalli marini.

9. Misure della corrente marina dal punto di vista langrangiano

Si possono fare con il mare calmo, usando dei boli di poseidonie, come quello fotografato in fig. 19.



Fig. 19 Egagropilo dalla spiaggia di Ostia, di circa 45 mm di diametro.

Questi oggetti, volgarmente chiamati “palle di Nettuno” hanno lo stesso peso specifico dell’acqua marina e rimangono a mezza altezza nel mare. Li ho osservati per decine di minuti consecutivi tracciare il percorso di una corrente marina.

Questo è il punto di vista lagrangiano, dentro il fluido, mentre quello euleriano, lo ricordiamo, è quello affacciati dal ponte osservando la corrente.

Queste correnti litorali hanno origine mareale, e trasportano con costanza i sedimenti, Quelli del Tevere hanno condizionato la costa laziale modificandola anche sostanzialmente nel corso degli ultimi secoli, come le testimonianze storiche confermano.

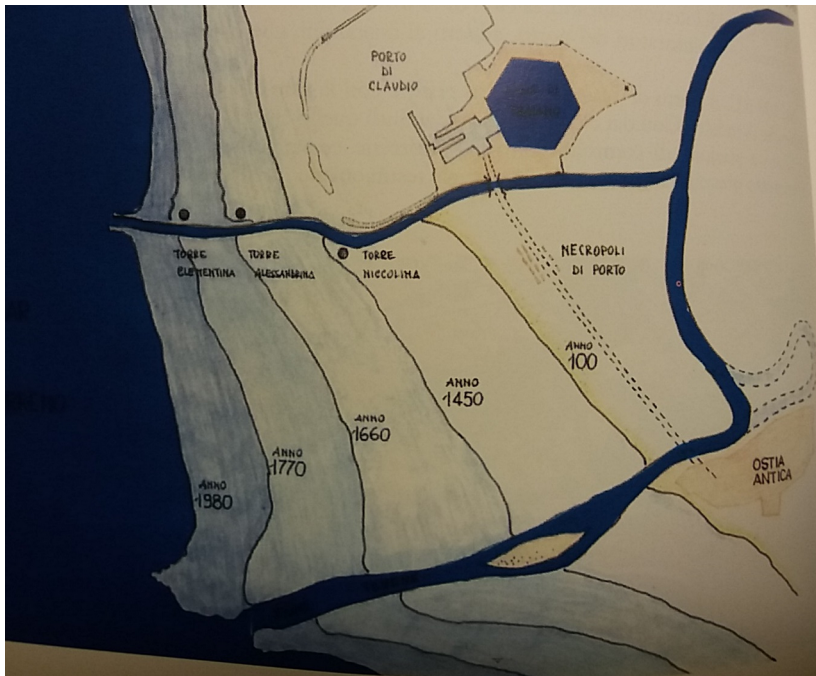


Fig. 20 la linea di Costa alla foce del Tevere dal 100 d.C. al presente.

9. Maree e sesse nel Tirreno

Il Tirreno centrale, come l'Adriatico centrale, presentano delle maree dalle escursioni piuttosto limitate, che giungono ad un'ampiezza massima di 50 cm alle sizigie equinoziali. Pertanto la componente più significativa delle oscillazioni del livello marino sono le sesse, di origine meteorologica, che sovente hanno ampiezze dell'ordine dei 30 cm e periodicità attorno ai 40 minuti.

Le sesse, che sono tecnicamente onde lunghe in acqua bassa, anche se il mare è profondo oltre 1000 m, giacché la loro lunghezza d'onda è molto più lunga, si comportano come tutte le onde lineari, ossia vale il principio di sovrapposizione. Varie onde sovrapposte tra loro non si influenzano a vicenda, e spesso ciò che si osserva è una serie di treni d'onda sovrapposti tra loro, col risultato di vedere un pattern irregolare di oscillazioni del livello globale del mare.

Se alle sesse e alla marea si aggiunge il vento, può accadere –anche nel mare nostrum– una *enchente de maré*,³¹ ossia che l'intero livello marino si alzi e tracimi nelle zone costiere depresse. È proprio ciò che è accaduto a Ostia il 22 novembre 2022 (in questo volume, p. 67).

La ricorrenza di tali fenomeni, però, non è tanto rara quanto si possa credere, infatti le condizioni per queste inondazioni, sia pur limitate, si presentano spesso nel mese di Novembre. Considerarle una fatalità è l'errore a cui viene indotta l'opinione pubblica, che poi paga i danni a strutture abusive, con le tasse.

10. Paleomari: le barriere coralline del Tetide a Roma

³¹ [https://it.wikipedia.org/wiki/Inondazione_di_San_Marcello_\(1362\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Inondazione_di_San_Marcello_(1362))

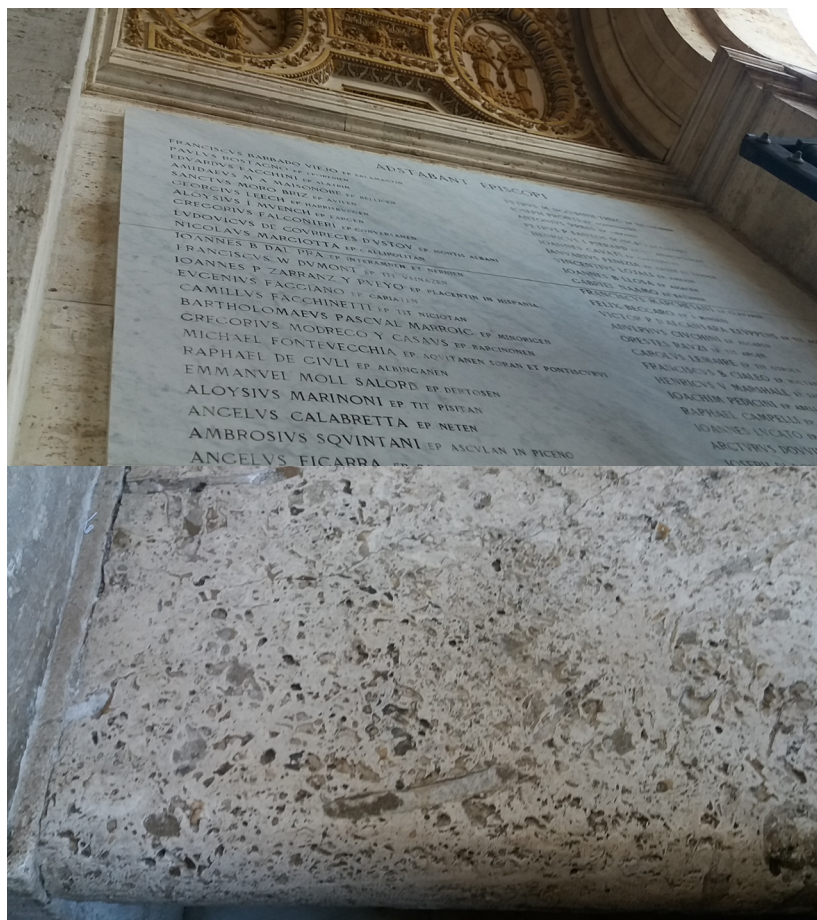


Fig. 21 Portico della Basilica di S. Pietro, sedile del portone centrale, sotto l'iscrizione con i vescovi presenti alla proclamazione del Dogma dell'Assunta.

Come tutto il travertino del Colonnato di San Pietro, anche quello che troviamo nella Basilica ha una chiara origine bentonica, come possiamo vedere meglio nel dettaglio di fig. 22.

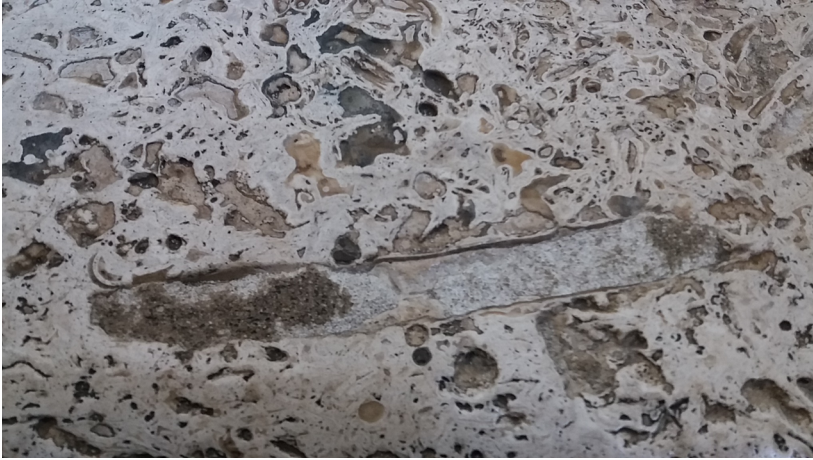


Fig. 22 Conchiglia fossile inclusa nel bentos miocenico ³²



Fig. 23 Muschio tra i fossili bentonici miocenici, Colonnato Nord-Nord Est di piazza San Pietro.

Si può dire che tutto il marmo travertino di San Pietro e del Colonnato sia stato in fondo all'Oceano Tetide durante il Miocene, e ne porta tracce evidenti.

³² G. B. Brocchi, Milano, 1845
<https://archive.org/details/conchiologiafos03brocgoog>