



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma

L'INGEGNERIA MARITTIMA E LA RACCOLTA DEI DATI ONDAMETRICI: EVOLUZIONE STORICA

Roma 10 Marzo 2015
Parlamentino - IV Piano
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti



Storia dell'Ingegneria Marittima in Italia

prof. Leopoldo Franco

(Dipartimento di Ingegneria, Università di Roma Tre)



Politecnico di Milano 1995

Tesi di laurea : «Porto, teatro dell'utopia»



Viaggio fra le
tesi di laurea
più interessanti
del nostro Paese:
Alberto Triola



La musica di un'opera? È come una mareggiata

Uno studio sulle analogie tra porti e teatri: entrambi arginano le onde

di LUISILLA SEVESO

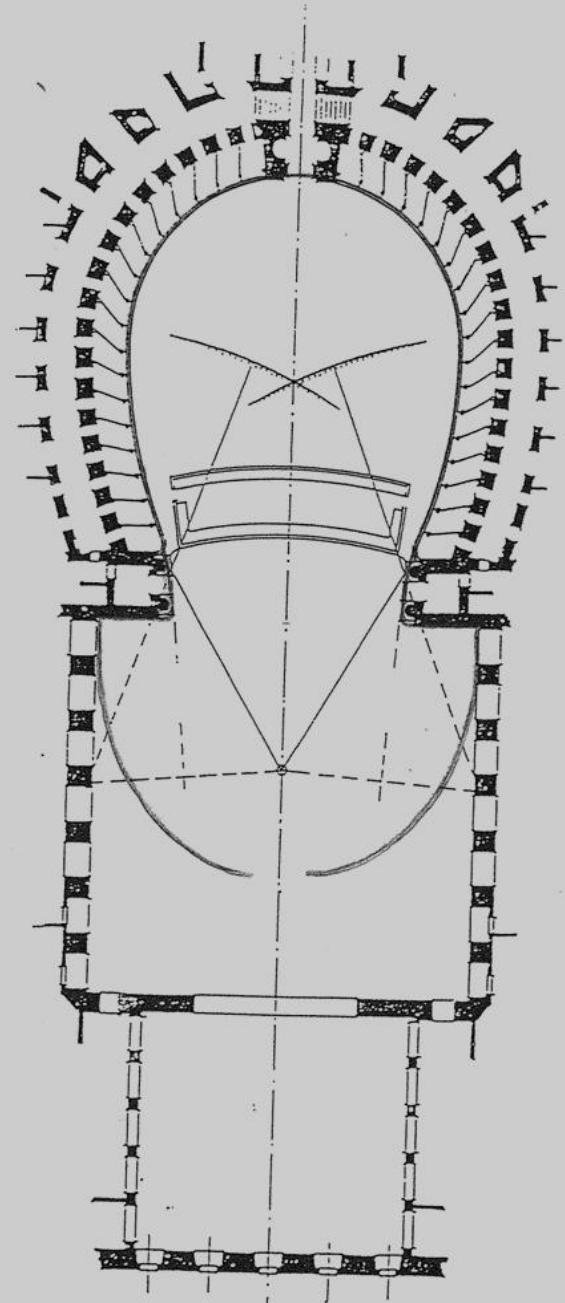
UNA BELLA provocazione la tesi di Alberto Triola, il neoingegnere civile che ha studiato e descritto la stretta analogia progettuale che esiste tra porti e teatri. La sua ipotetica trasformazione della Scala in un approdo sicuro per pascheracci e velieri, documentatissima e non del tutto folle (la Scala, ha scoperto, per ben due volte a fine '700 è stato «allagata» per accogliere spettacoli navali), ha fatto storcere il naso a molti solidi docenti del Politecnico. Ad altri ha comunicato invece ciò che ad Alberto stava a cuore: dimostrare come, affrontando un lavoro con mente aperta e senza pregiudizi culturali si possono raggiungere traguardi insperati.

Alberto Triola è da un paio d'anni l'assistente del maestro Riccardo Muti. Prima ha lavorato nella produzione del teatro alla Scala, prima ancora ha fatto, sempre alla Scala, la maschera. Ha frequentato con la

In porticcioli usati come scenario per rappresentazioni e feste religiose? ci siamo posti dei quesiti più realistici sull'identità delle leggi di propagazione delle onde, sulla tenuta delle strutture e così via.

Fatti e notizie che mi hanno confortato nella ricerca sono stati numerosi, come quando in vacanza in Turchia, a Cnidos, mi sono imbattuto nelle rovine di un antico porto greco sovrastato da un magnifico teatro della stessa epoca. Il Mediterraneo è costellato di porti e teatri, entrambi ricavati (anche i romani si sono attenuti a questa regola) in anse naturali o su declivi già predisposti in un abbraccio naturale. Si tratta di strutture simili, che hanno bisogno di una

forma che in un caso accolga le onde acustiche e nell'altro ripari dalle onde acquatiche. Ho scoperto anche che Vitruvio nel «De Architectura» scriveva che per porti e teatri ci vogliono gli stessi requisiti di orientamento per il vento, per la luce...



QVAE A MAVS GLO REGE IN ALICARNASSO SITV EGREGIVS OPERIBVS FERSTRVCK FVERIT
NAMQV SEPIEM SEECTACVLLIS MVNDI NVMERABATVR. AFFIGVRATIO HIC EXALTA.



Teatro Romano con lo sfondo del porto di Bodrum Turchia (antica Alicarnasso)



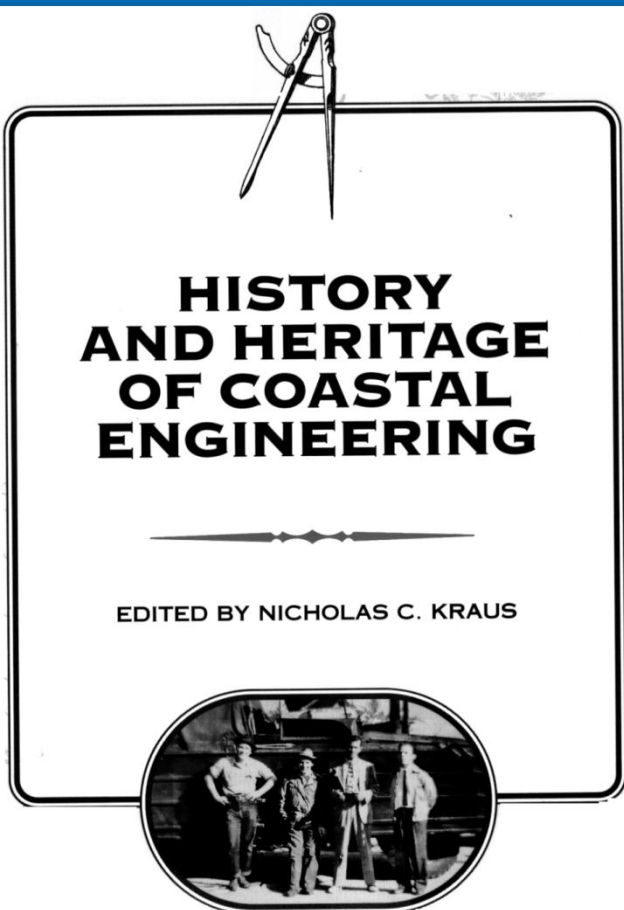
Cesare Cesariano - porto vitruviano di Alicarnasso

Spettacolo navale nel porto di Napoli

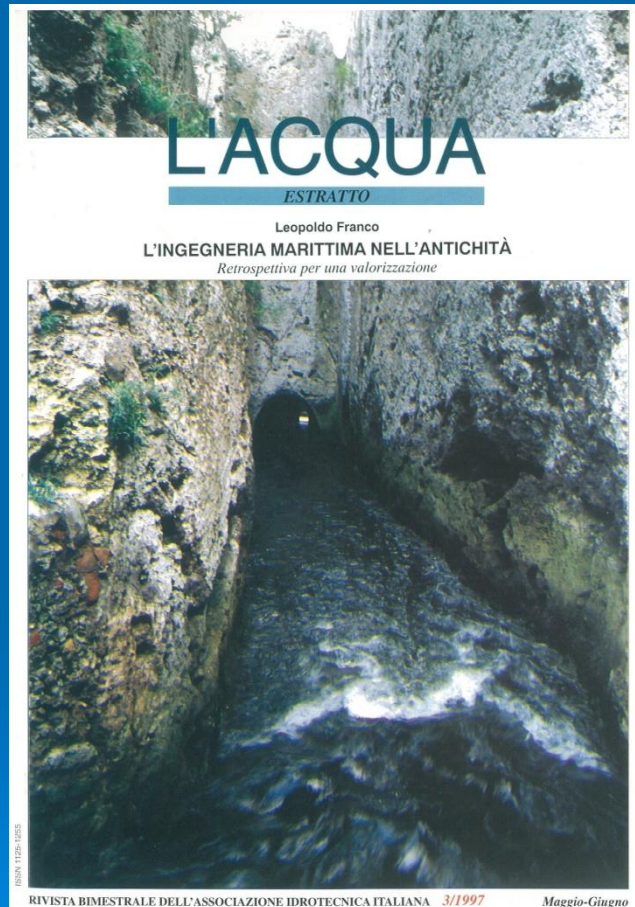


Pubblicazioni storiche ingegneria marittima

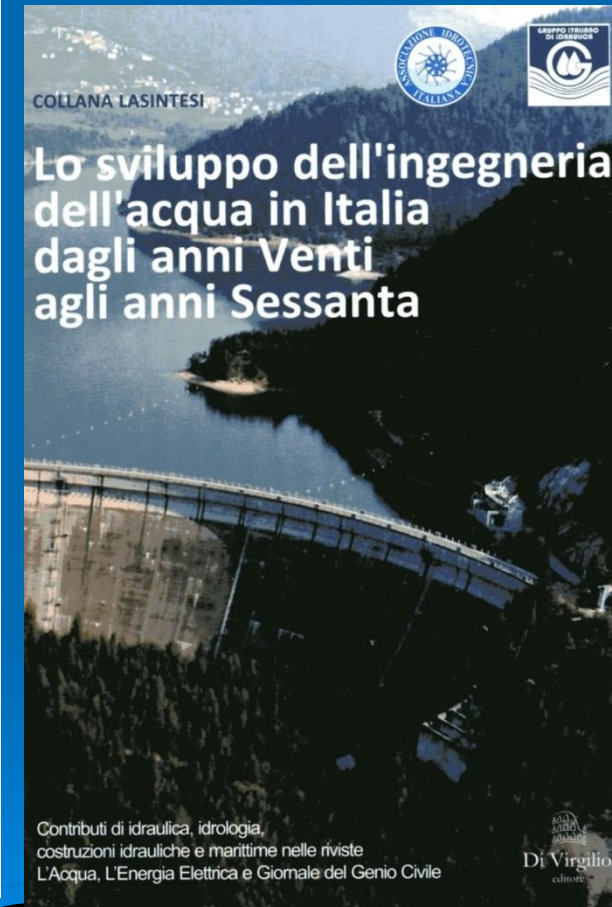
ASCE, 1996



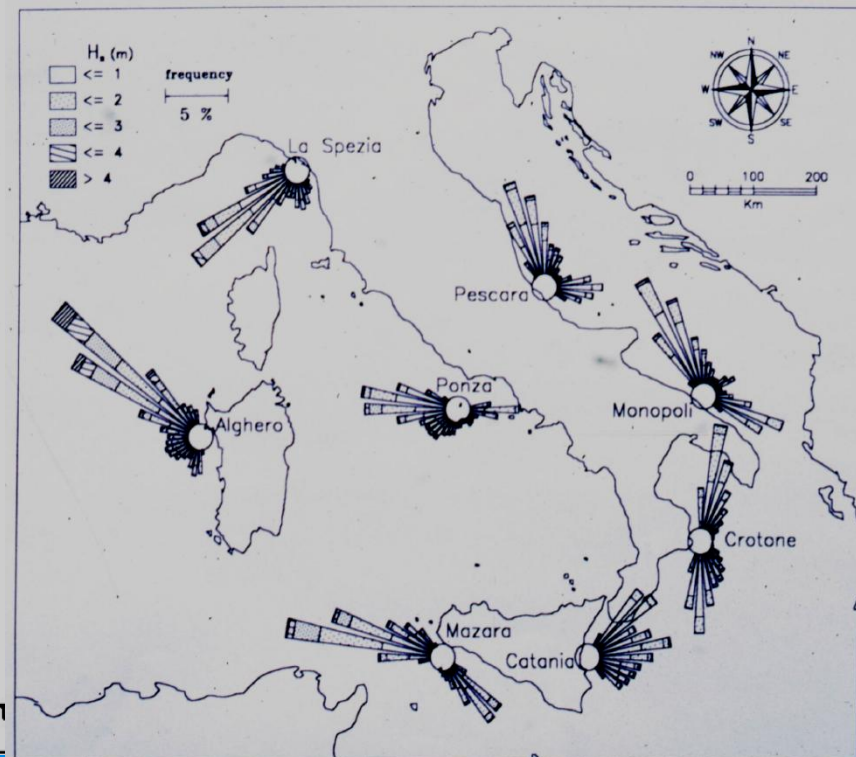
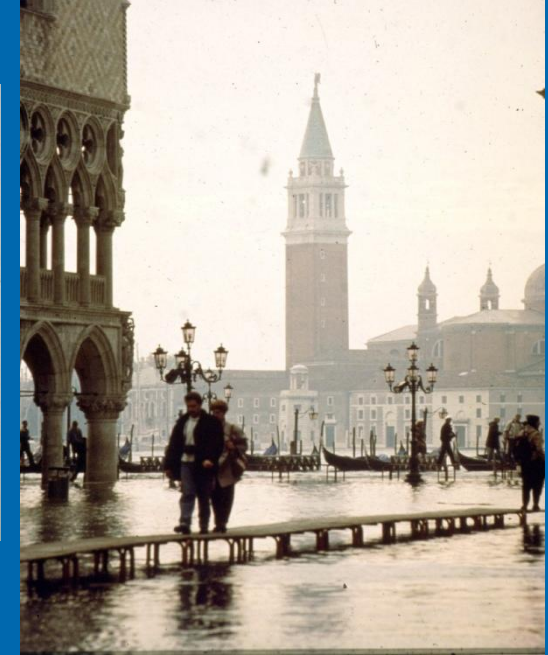
AII - 1997



AII - GII, 2010



Coste , onde e maree in Italia e nel Mediterraneo



Cronologia delle civiltà (Inman 1974)

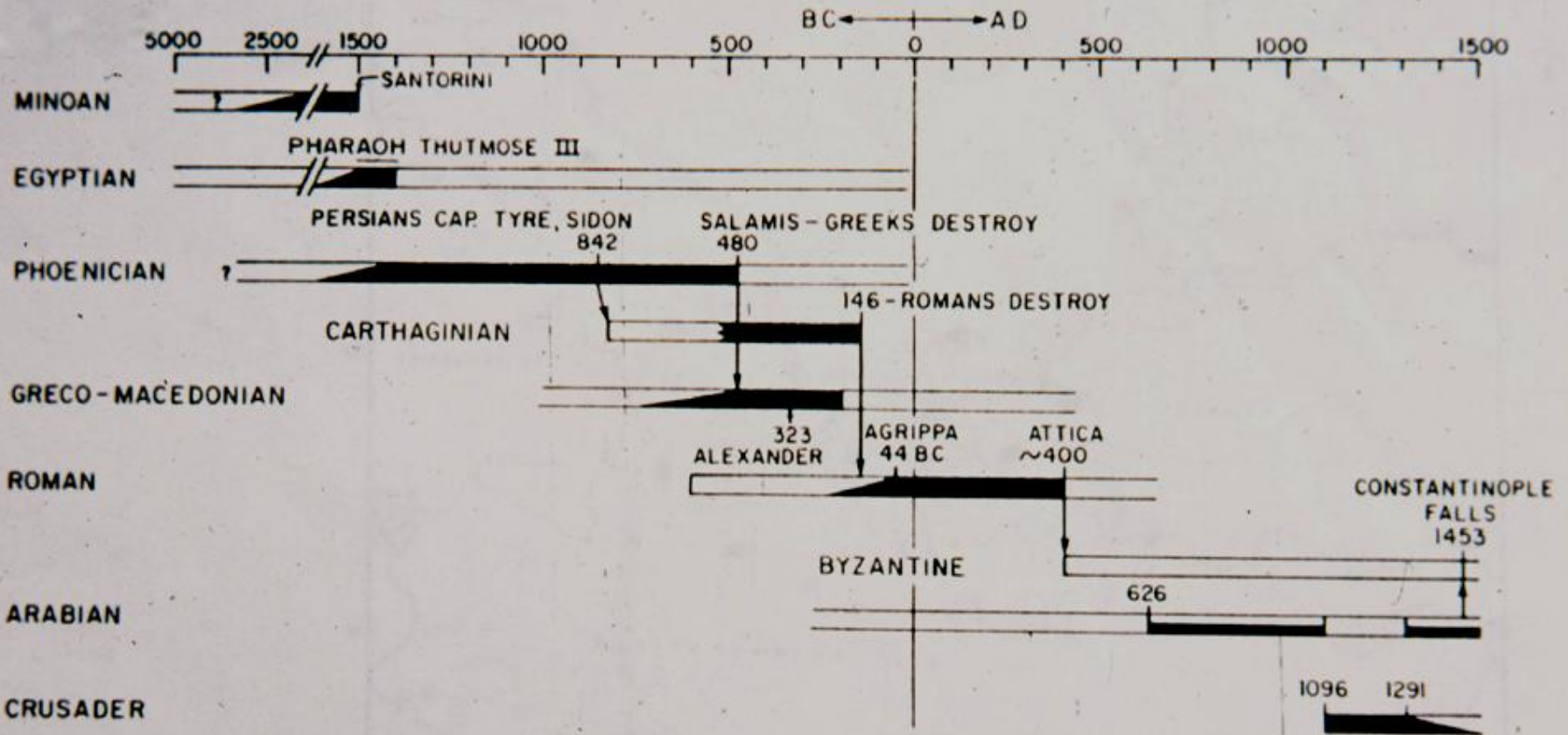


Figure 1. Chronology of civilizations' influence on Mediterranean harbors and ships.

Archeologia Marittima – censimento porti antichi dell'ing.A.De Graauw :
www.ancientportantiques.com

Les cités
lisparues de
Méditerranée
antique



Aquileia

Cosa
Centumcelle
Roma
Ventotene

Mozia

Cartagine

Leptis Magna

Efeso

Cnido

Rodi

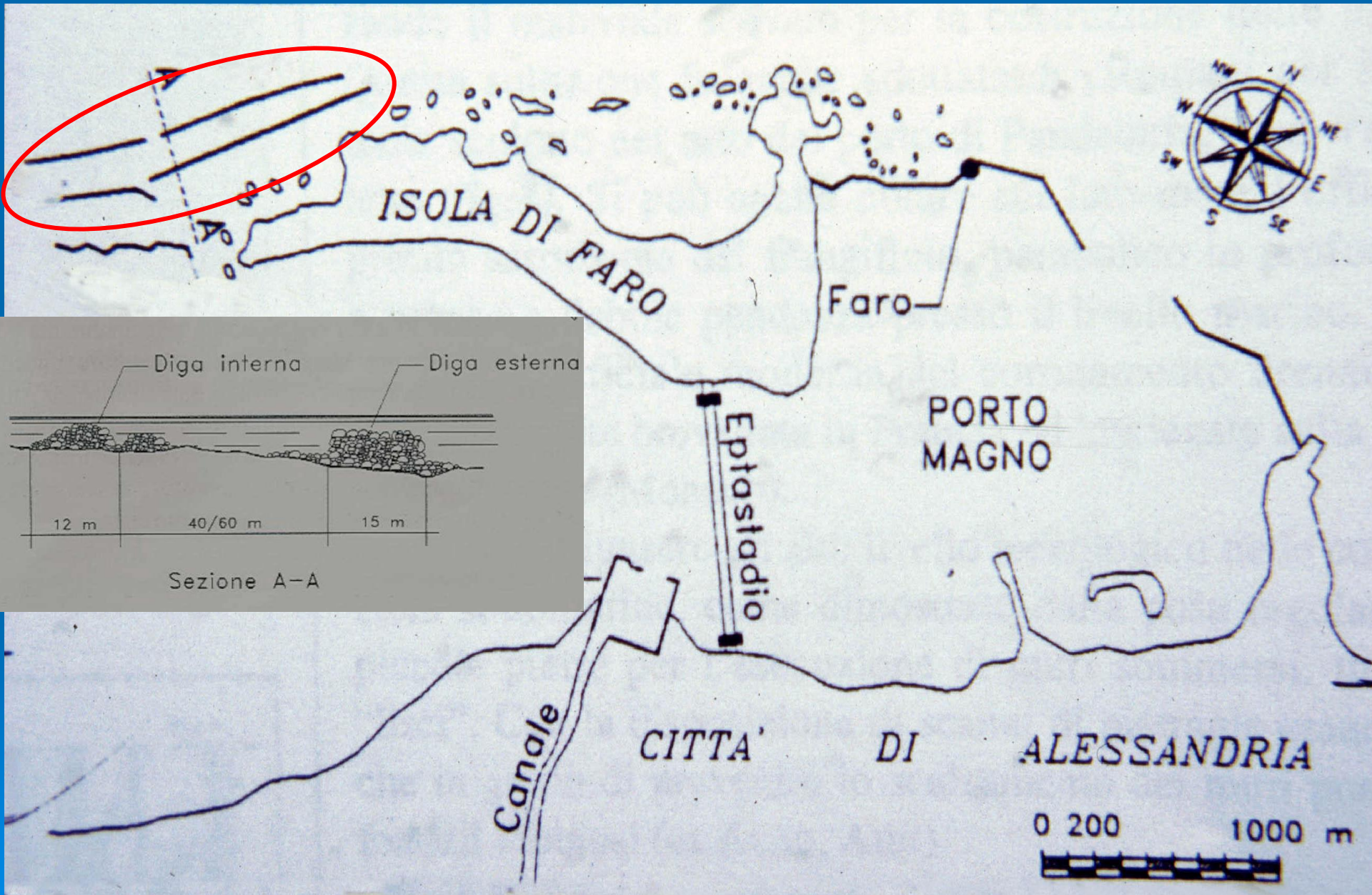
Sidone

Tiro

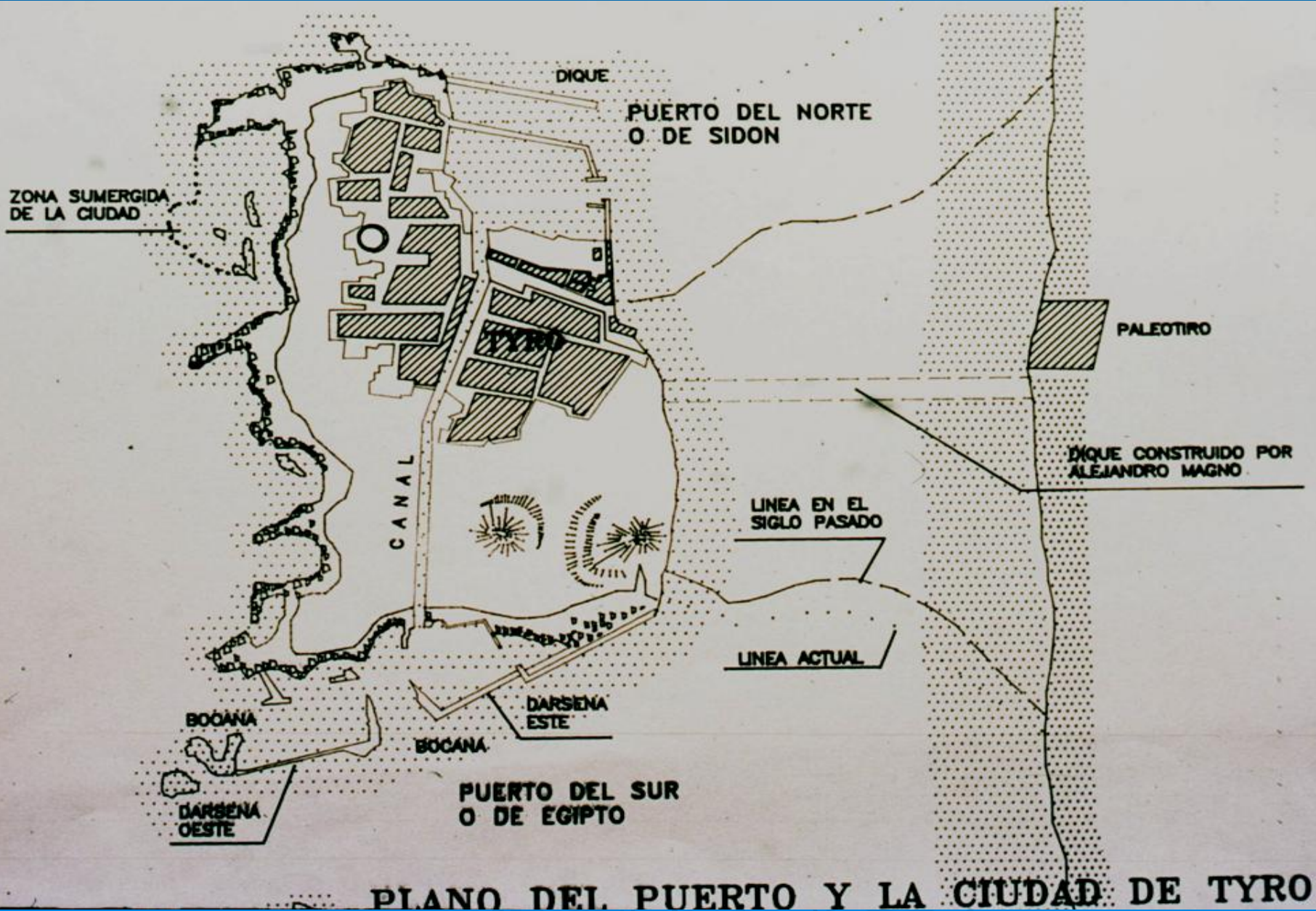
Cesarea

Alessandria

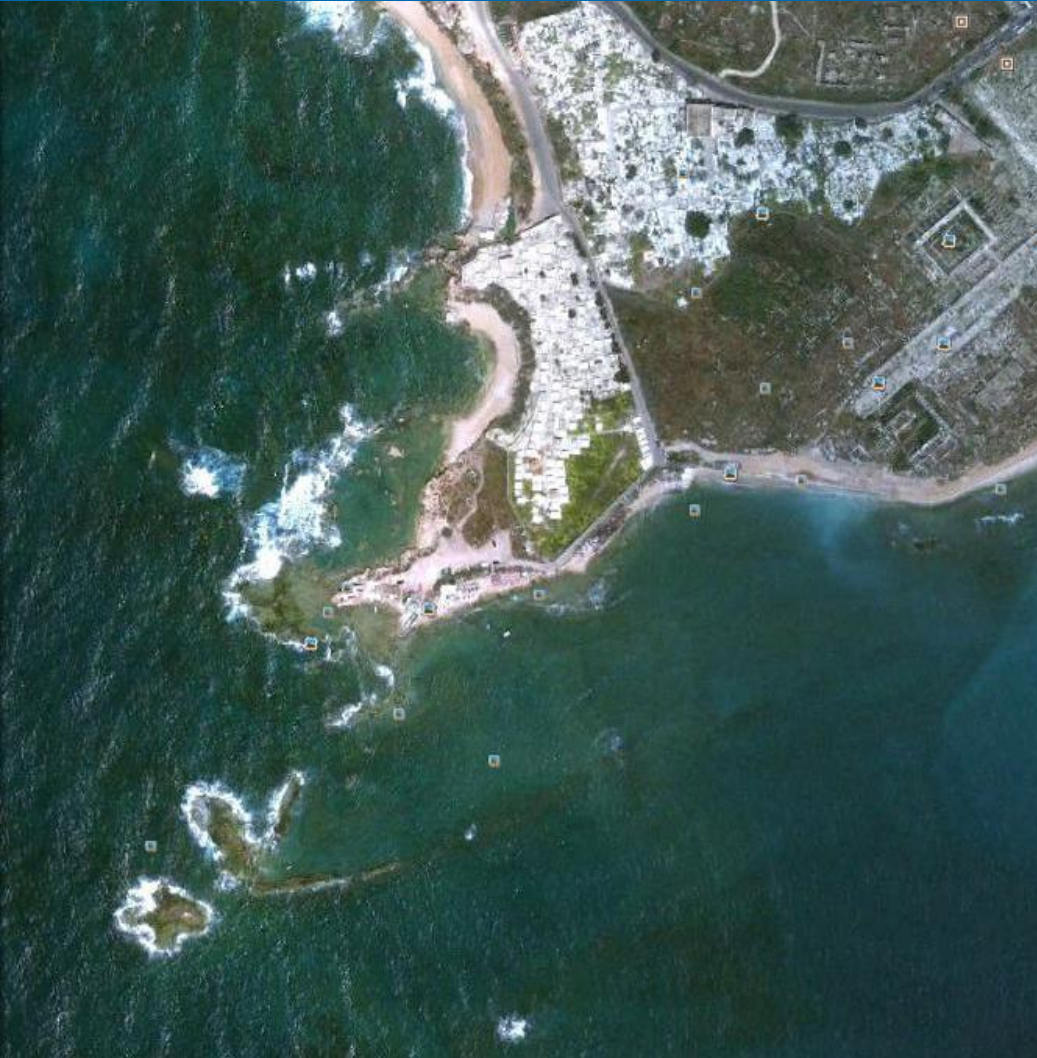
Primi frangiflutti minoici ad Alessandria d'Egitto (1800 aC)



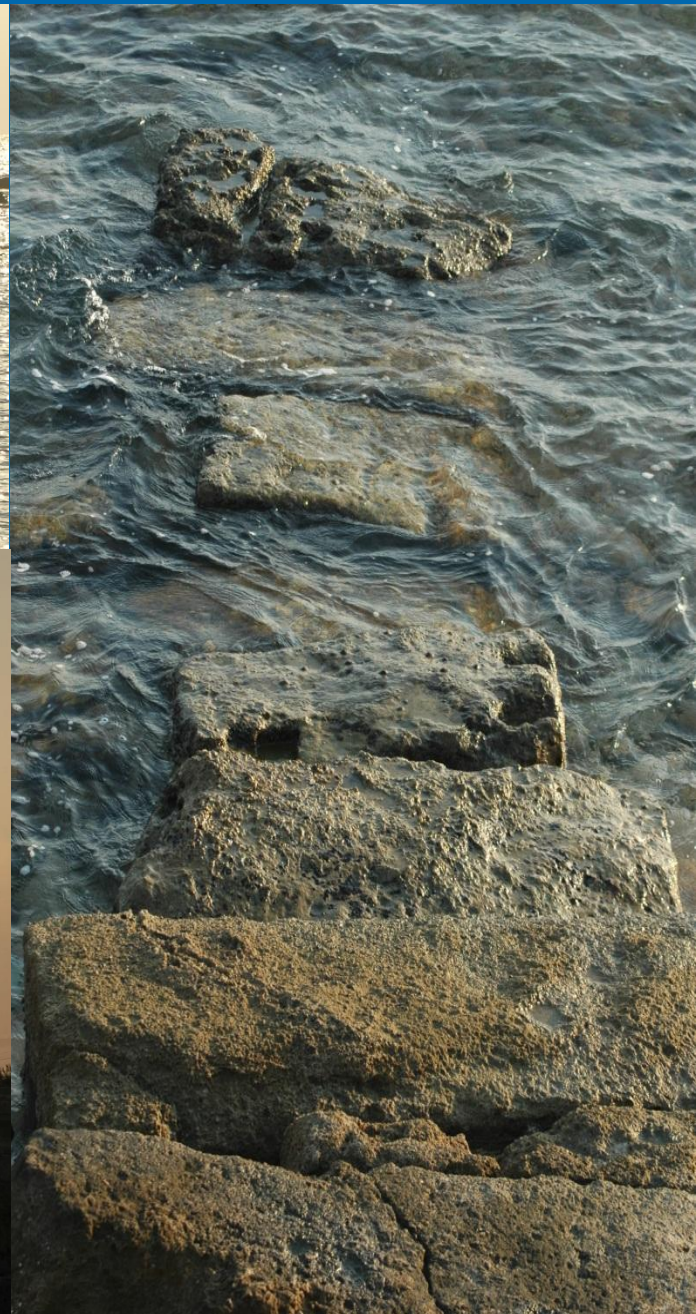
Doppio porto fenicio a Tiro, Libano (VIII sec. aC)



TIRO (Libano)



Resti delle dighe a scogliera e dei muri di banchina a massi a Tiro



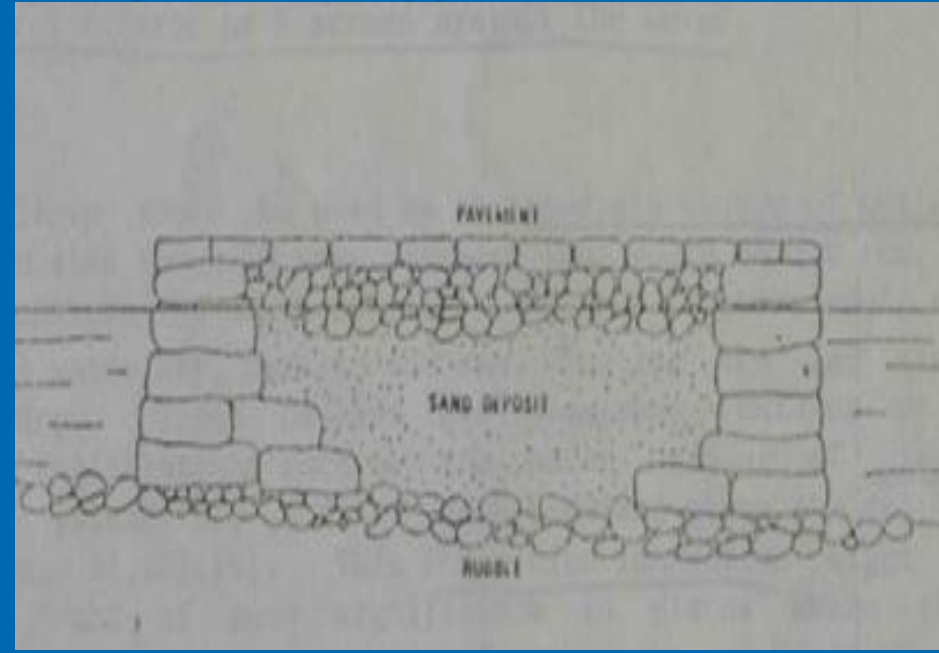
Banchine scavate nella roccia a Sidone (Libano) e Cnido (Turchia)



Muri di banchina a blocchi di pietra sovrapposti

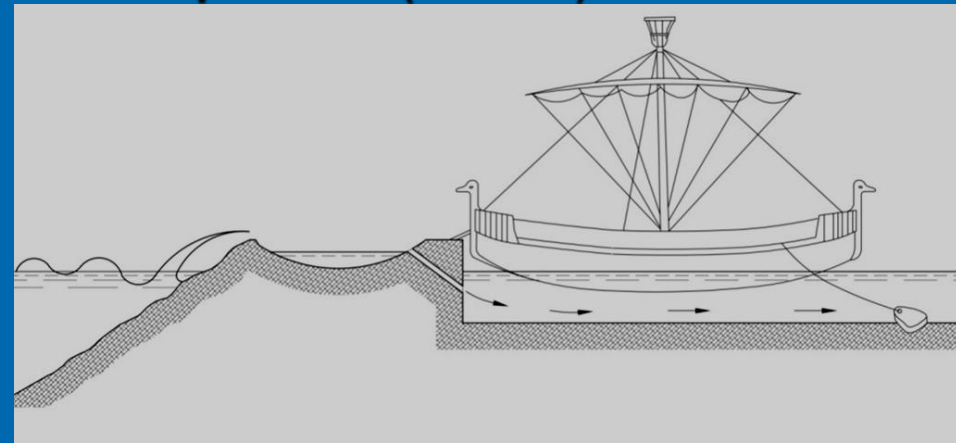


Chenchrae

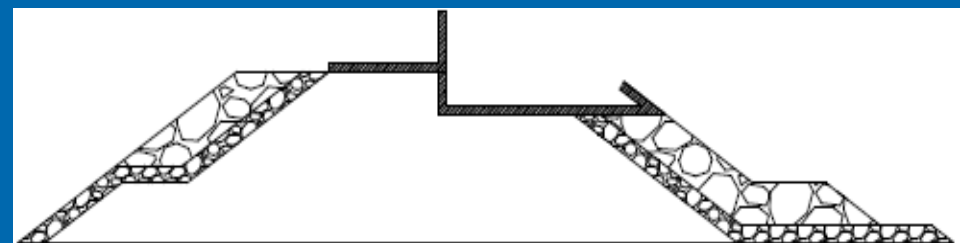
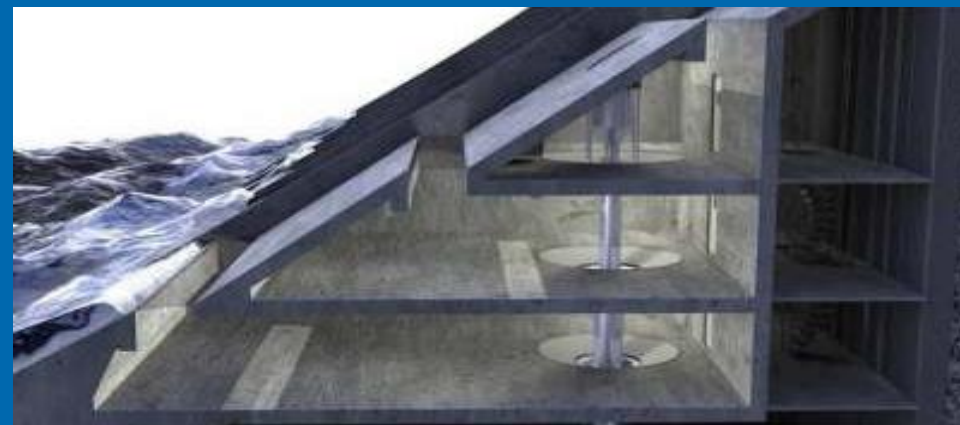


Knidos

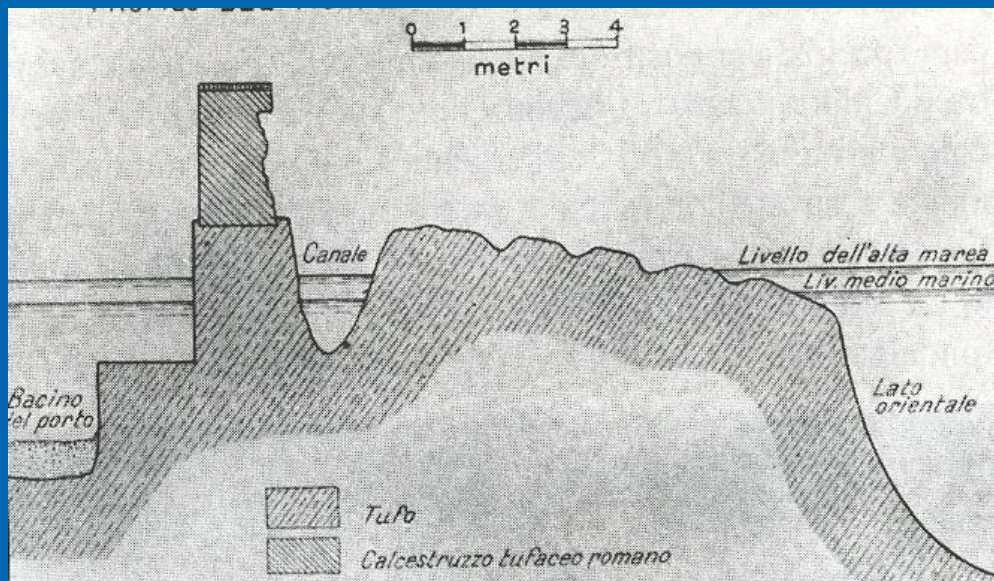
Sistema antinsabbiamento con raccolta volumi idrici tracimanti su rampa rocciosa e rilascio controllato nel bacino portuale (Sidone)



Energia dalle onde tracimanti: Seawave Slot-cone Generator (2002)



Canale di drenaggio dei sormonti ondosi nel porto romano di Ventotene



Il rischio dei sormonti per gli ormeggi a ridosso delle dighe foranee

VENTOTENE - 1997



SAN REMO - 2001



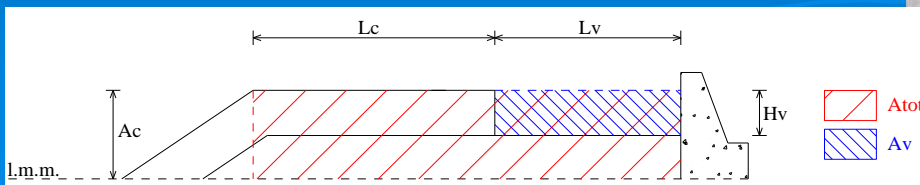
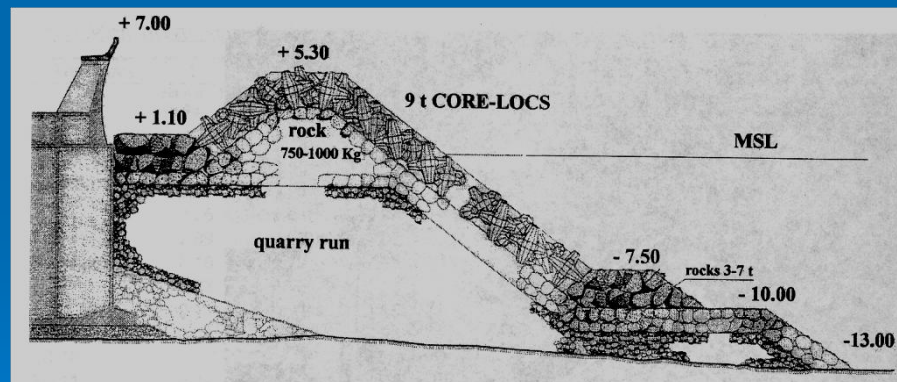
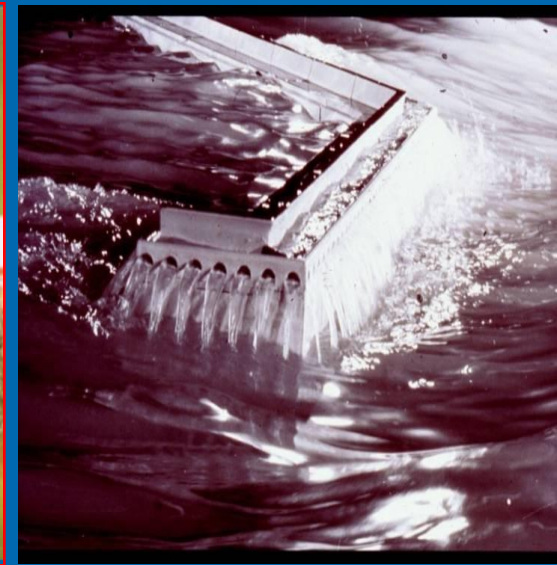
SALIVOLI - 2000



RAPALLO - 2001



Prove su modelli fisici in scala ridotta per dighe con vasca di dissipazione 2D-3D (Gela, 1998) e 3D (Montecarlo)



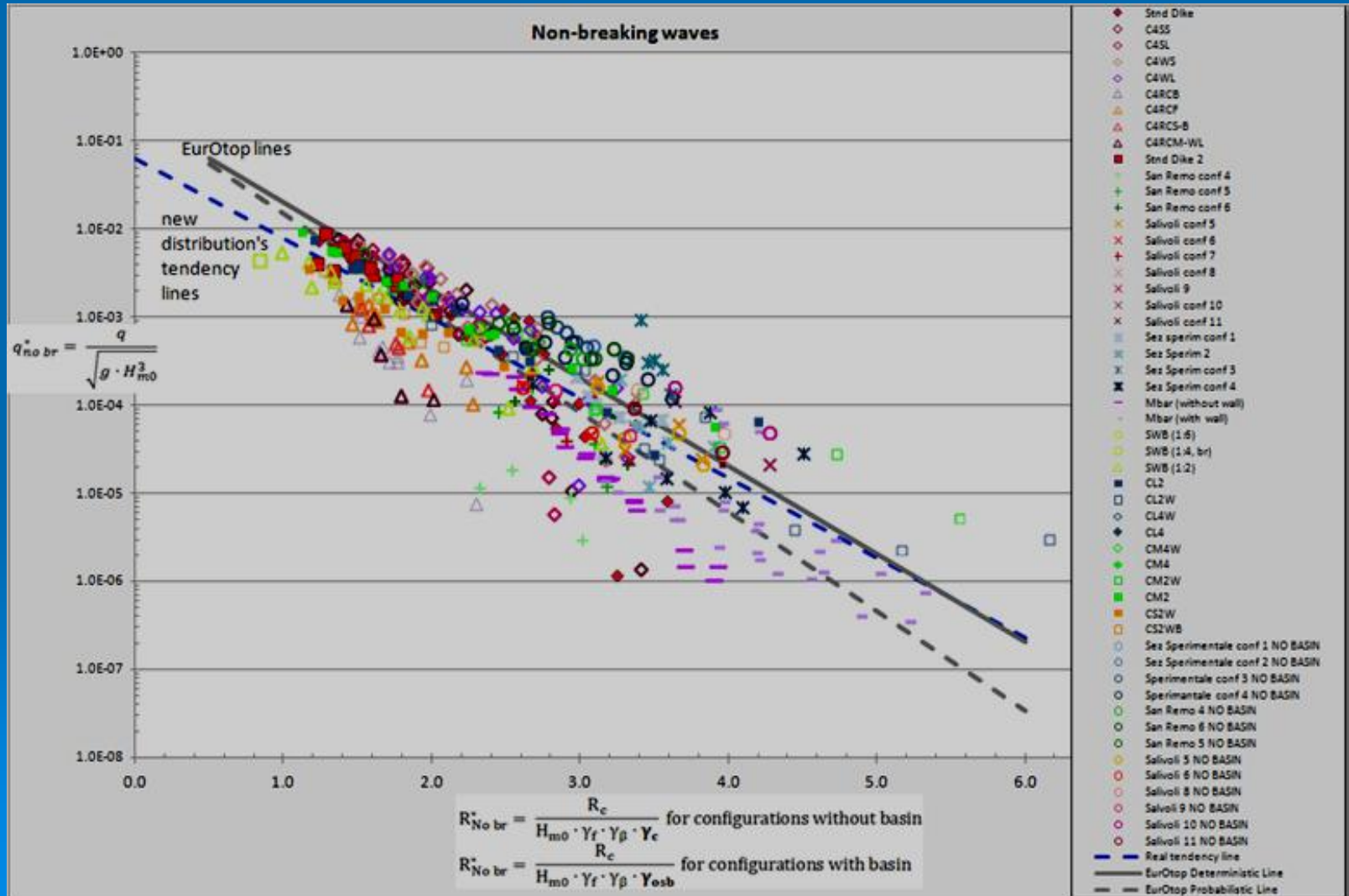
Misure di sormonto nel porto turistico di Ostia (2003) EU project CLASH

Effect of overspill basins on wave overtopping at the crest of coastal structures

Leopoldo Franco , Andreas Kortenhaus , Adriana Grossi, Alessandro Romano (2015)

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left(-4.3 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_{osb}}\right)$$

$$\gamma_{osb} = 0.387 \cdot \left(\frac{h_b \cdot G_b}{H_{m0}^2} \cdot \frac{G_c}{L_0} \cdot \tan \alpha\right)^{-0.14}$$



Resti del doppio porto di Cartagine (Tunisia), colonia fenicia 800-146 a.C

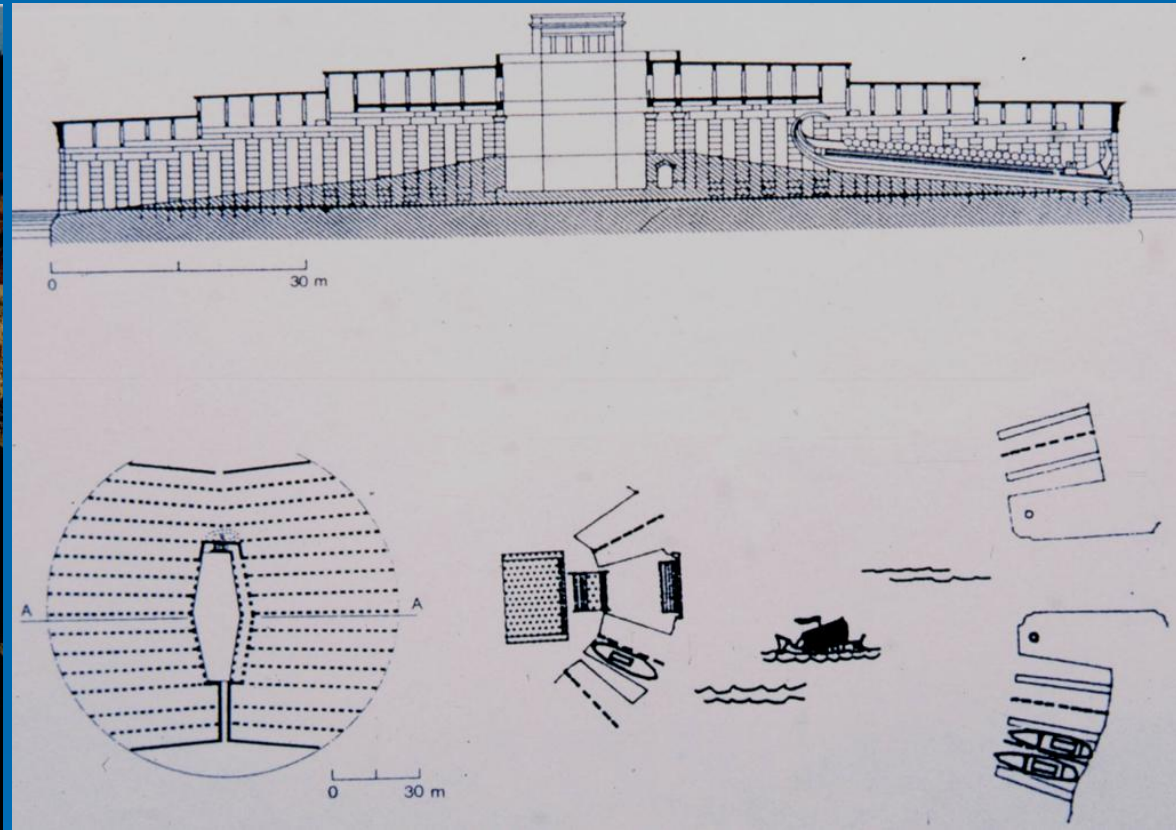


Ricostruzione del porto di Cartagine: porto militare circolare coperto e porto commerciale rettangolare



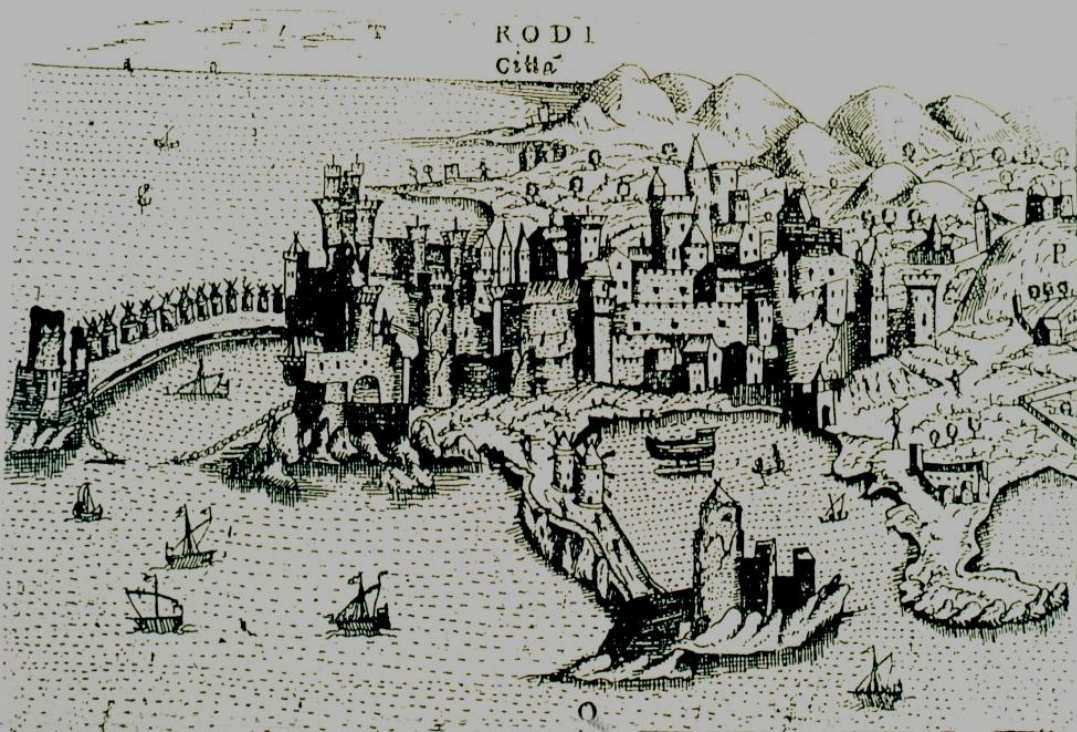
Diametro darsena 325 m per 220 navi

Porto militare di Cartagine: scali d'alaggio e pontili

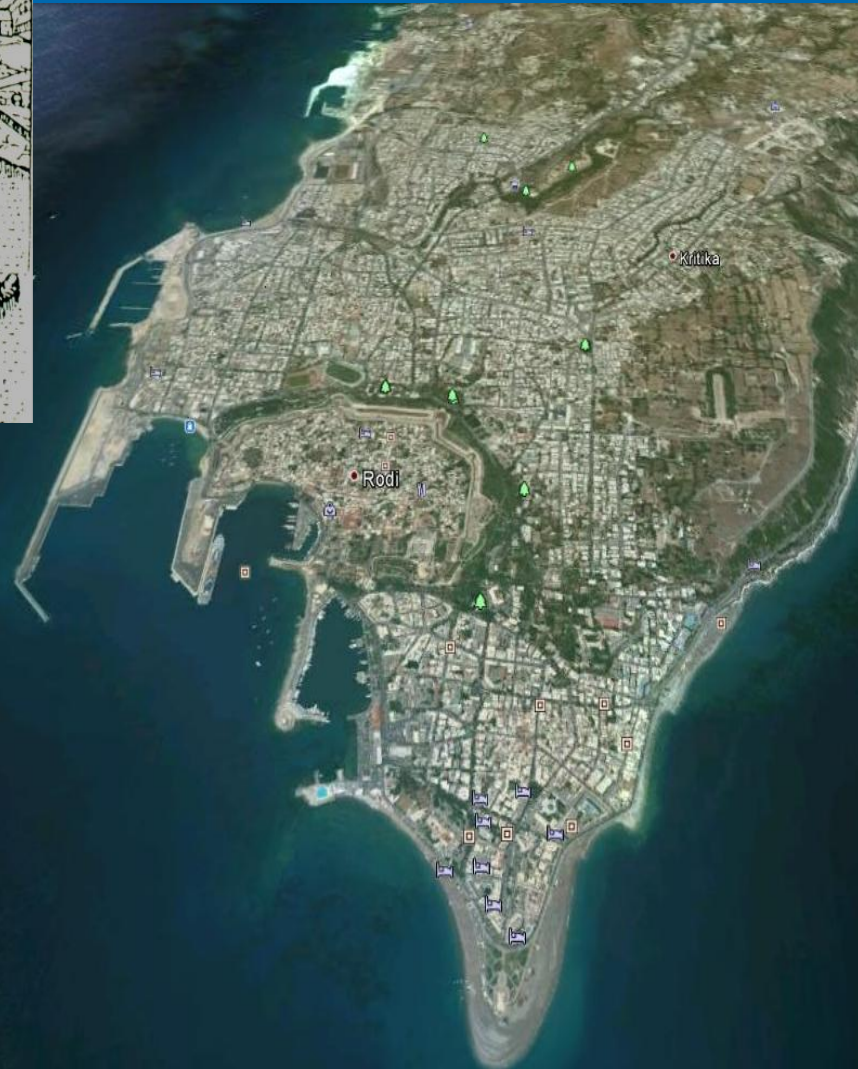


**Cothon (dry dock)
fenicio a Mozia, Sicilia**

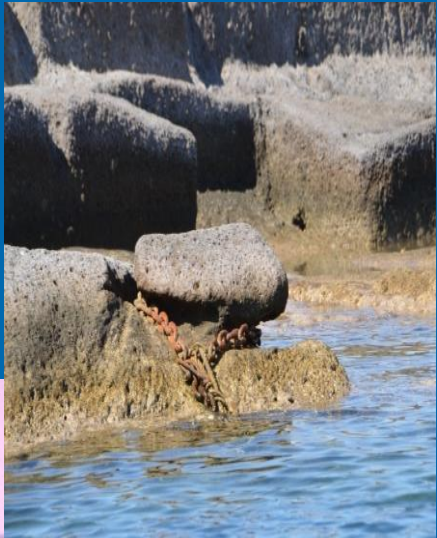




Porti multipli greci a Rodi



Bitte di tufo per chiusura con catene dell'imboccatura del porto romano di Ventotene (14 a.C)



Tibaldi (16°sec.) barriere mobili tipo MOSE



Testate circolari a parete verticale con fune e relitto di sbarramento nel porto di Portland (1914)

I mulini a vento sulla diga di Rodi e moderne turbine eoliche sulle dighe frangiflutti





Il Colosso di Rodi
(Carete di Lindo)
280-224 a.C.
h= 31 m
P = 600 t



Alessandria d'Egitto



MARE
MEDITERRANEO

Fiume
Nilo

Nilo

Rosetta

Baia di
AbuKir

Antica
Canopo

Abukir

Lago di
Burullus

Baia di
Alessandria
con
Portus Magnus

Porto di
Eunostos

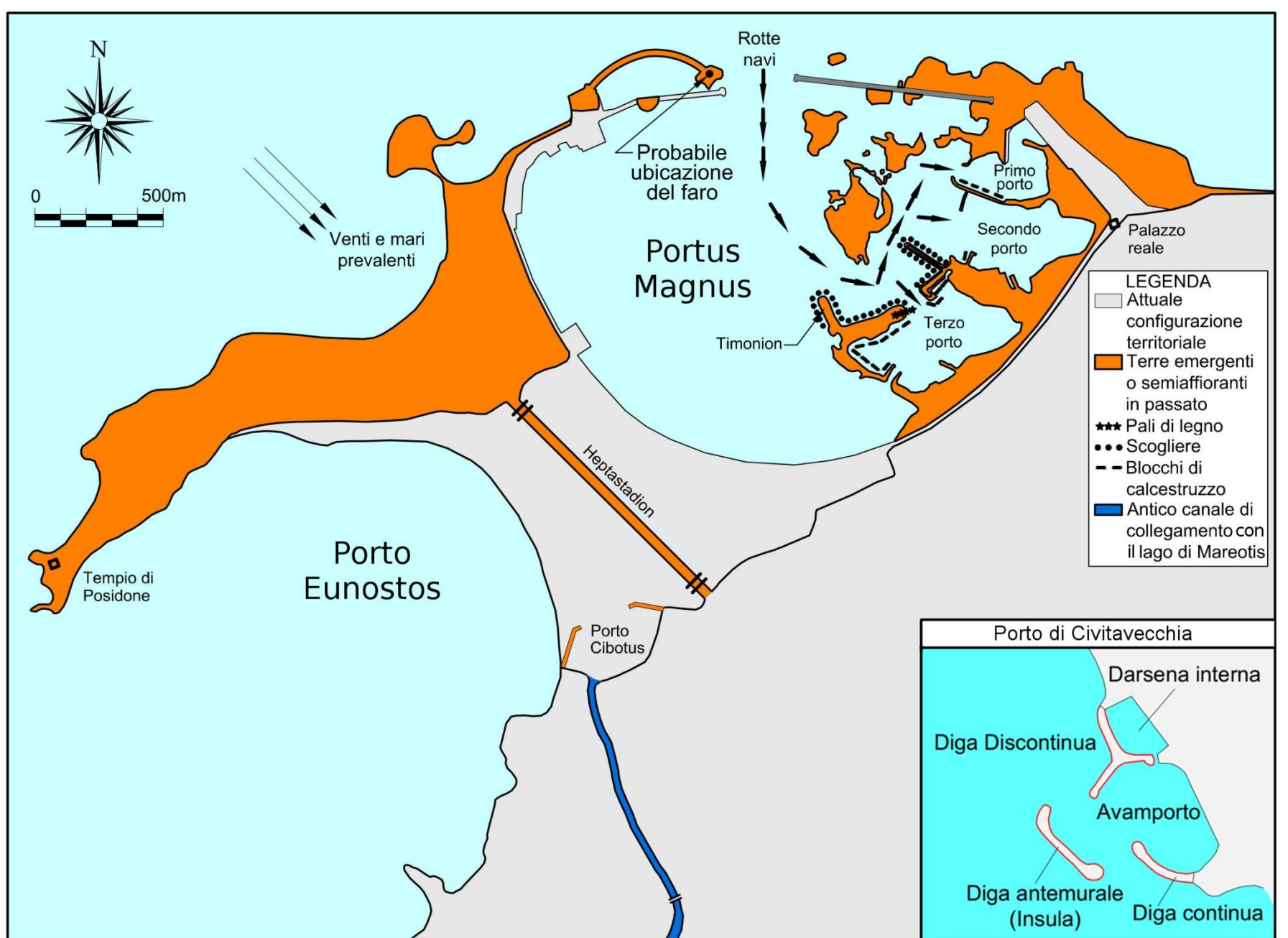
Porto di
Dikheila

Lago Mareotis
(oggi Maryut)

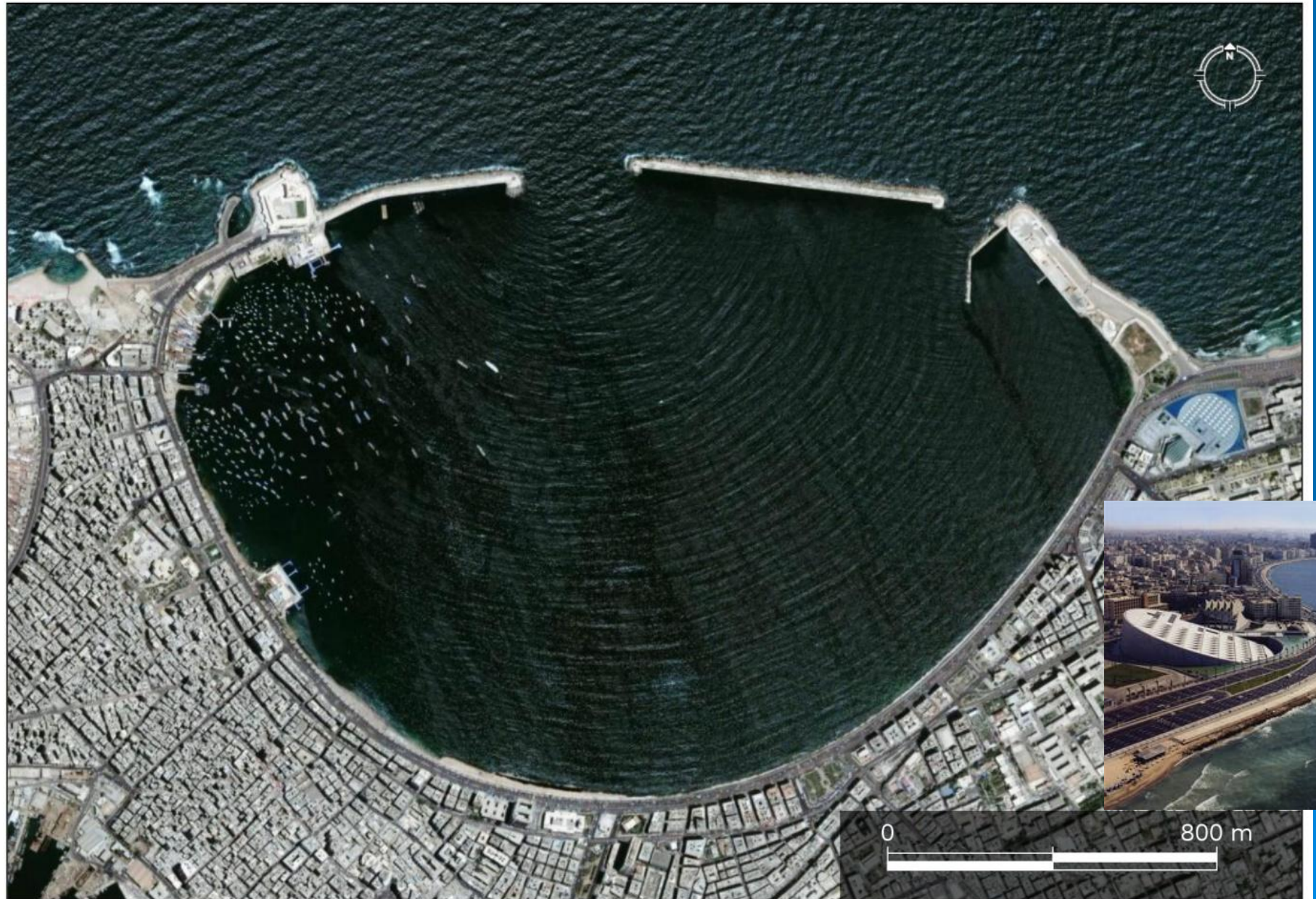


Porto di Alessandria

ricostruito dagli archeologi tedeschi e francesi



Penetrazione del moto ondoso nella baia di Alessandria (Google Earth)



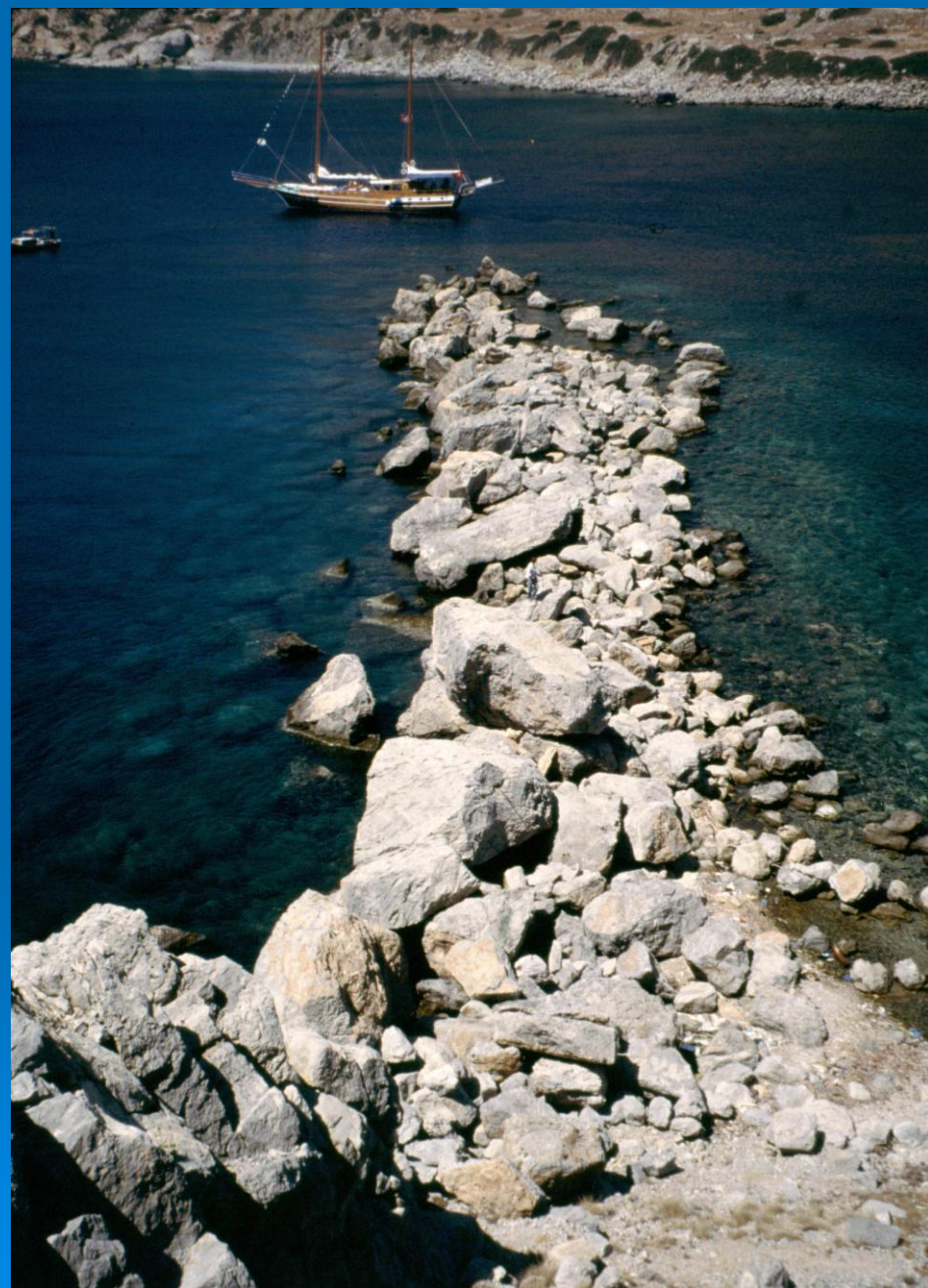
Faro di Alessandria

Sostrato di Chio
280 aC-1300 dC
h = 134 m !
visibilità 50 km

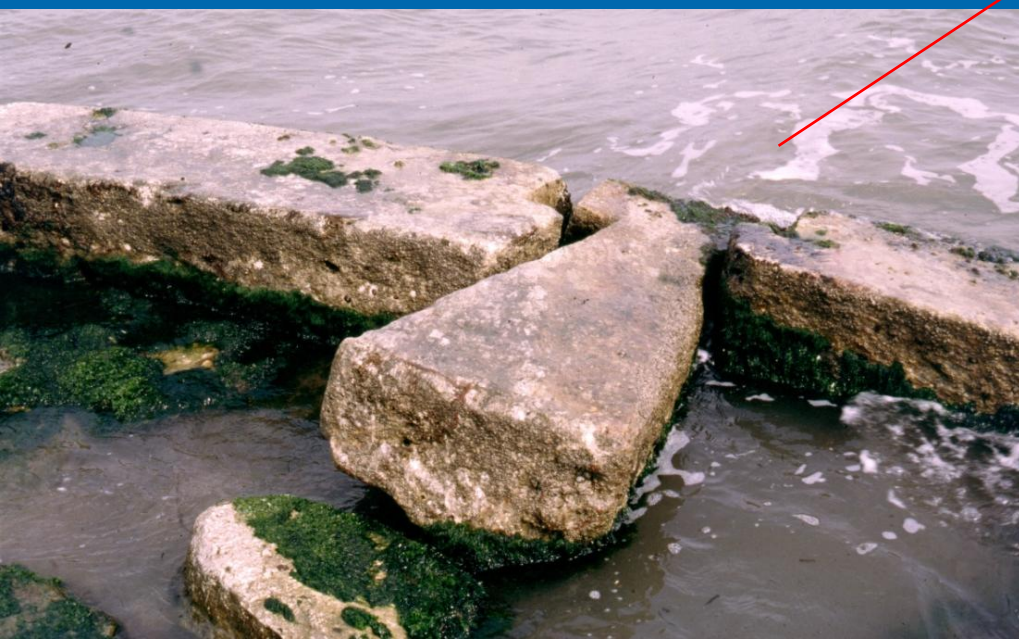
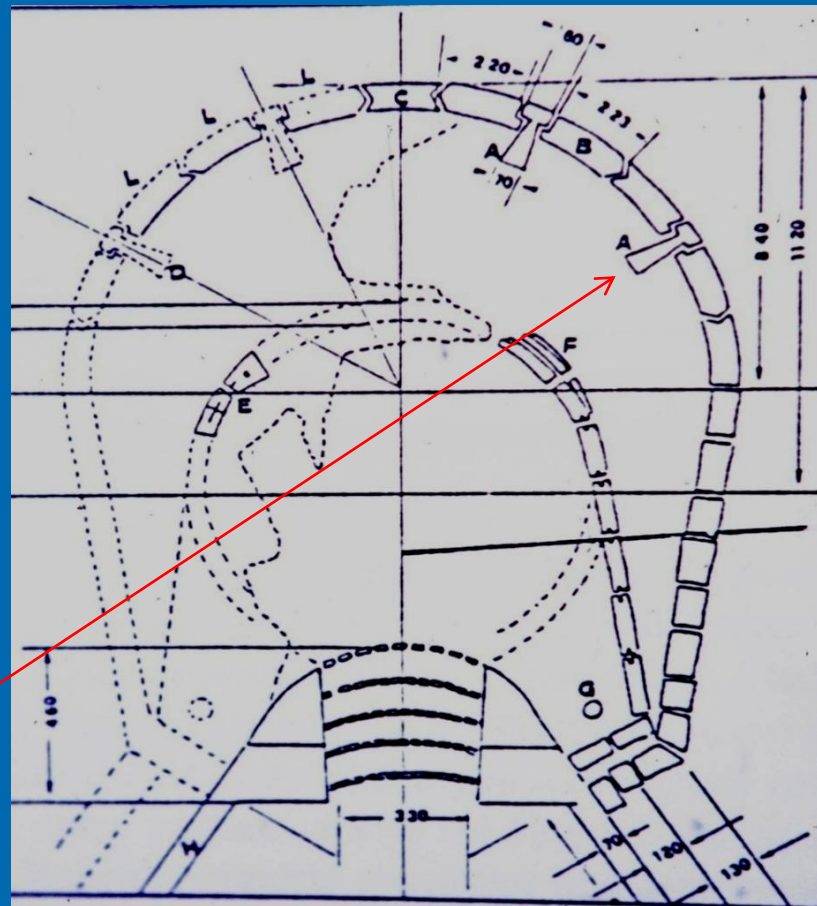


Copyright photo: Foto di Christoph Gerigk ©Franck Goddio/ Hilti Foundation

Diga greca a scogliera a Cnido (Turchia)



Molo circolare greco a Gravisca - 6° sec. aC (molo Clementino, Tarquinia)



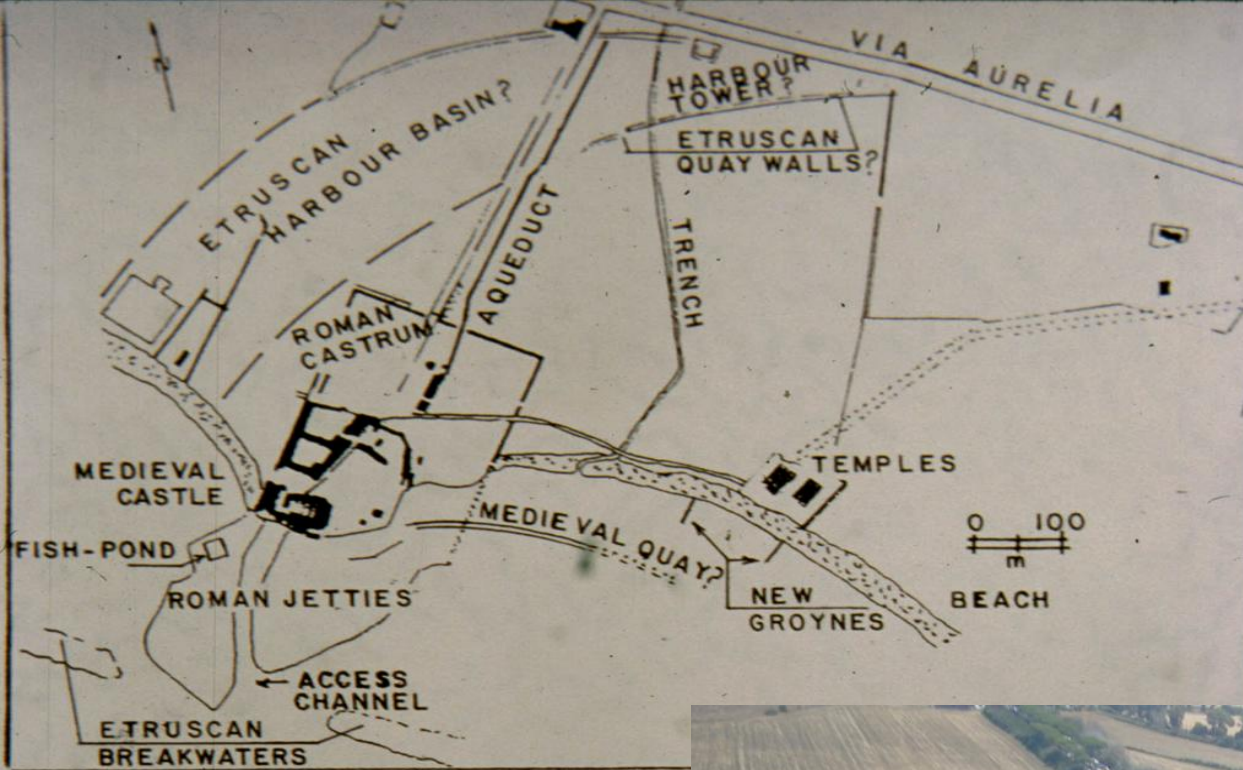
Siracusa

Principali porti e località nell'area romana nell'epoca della tarda repubblica ed inizio dell'impero

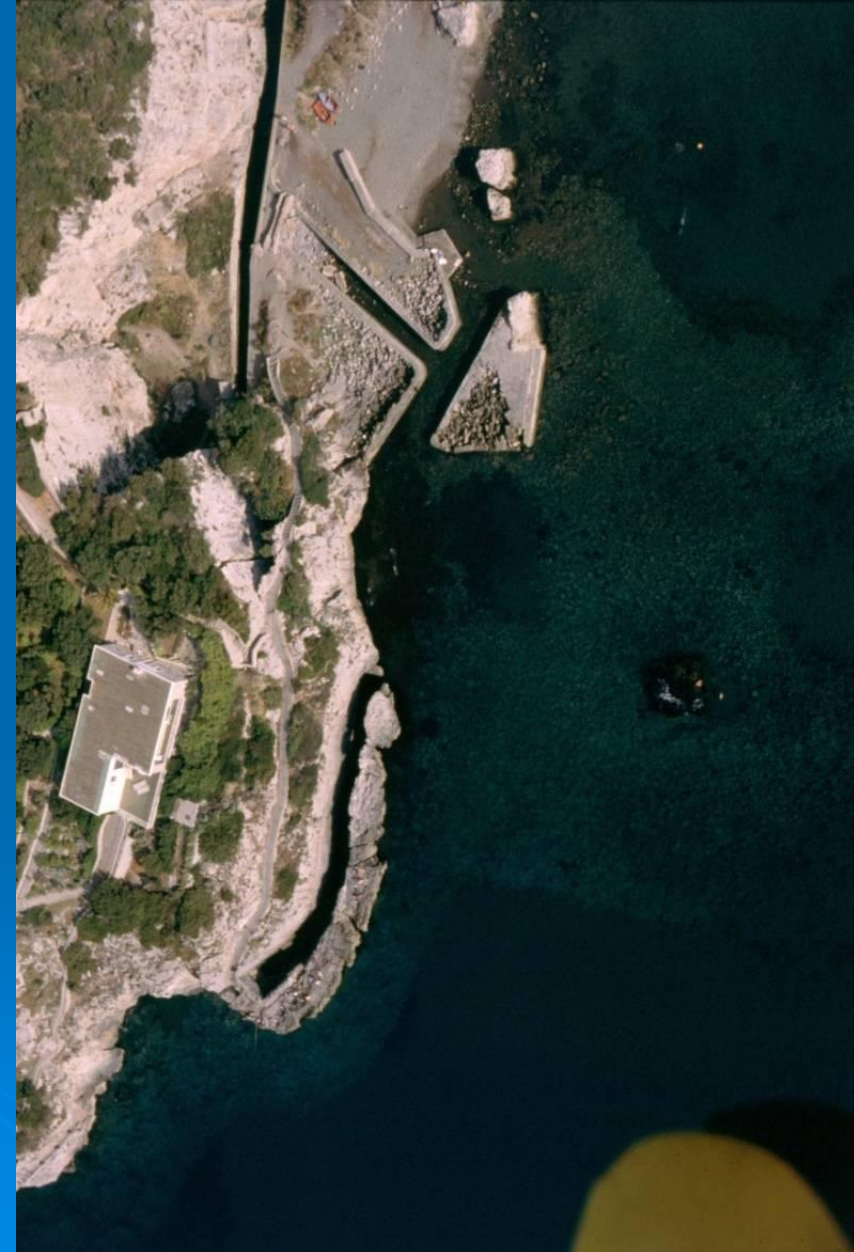
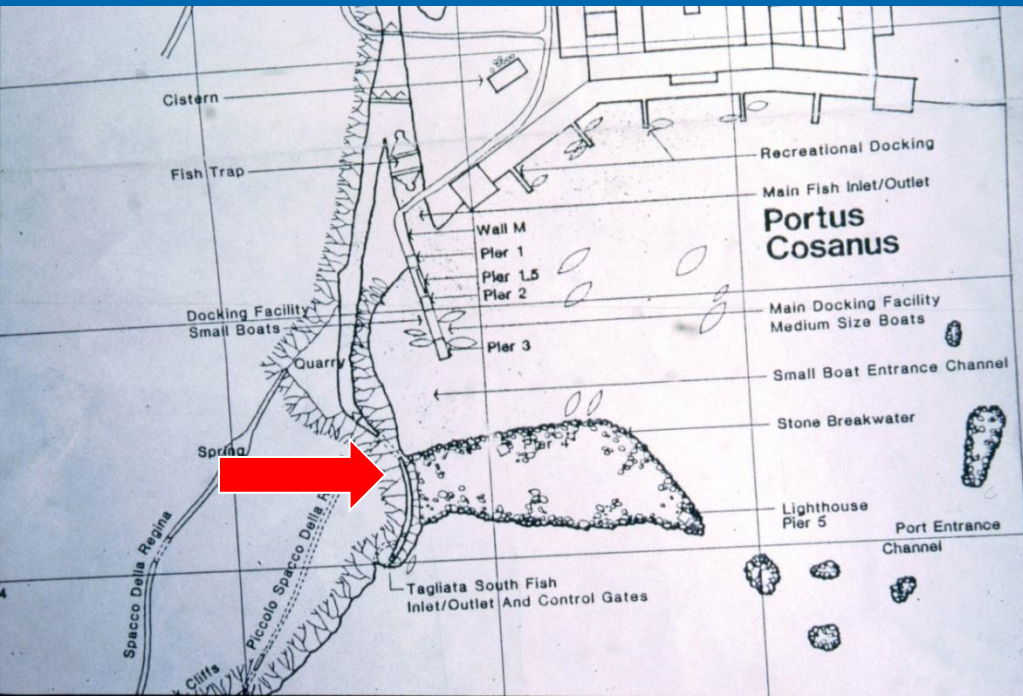


Porto etrusco di Pyrgi - S. Severa

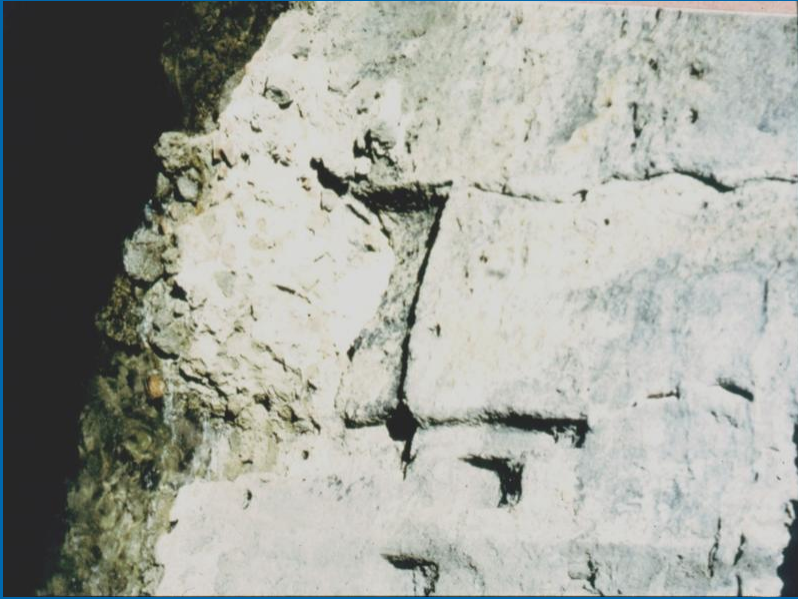
(distrutto dalla flotta di Dionigi di Siracusa nel 384 a.C)



Porto Etrusco-Romano a Cosa (Ansedonia) con canale antinsabbiamento scavato per 70 m nella roccia ("Tagliata") - circa 300 aC

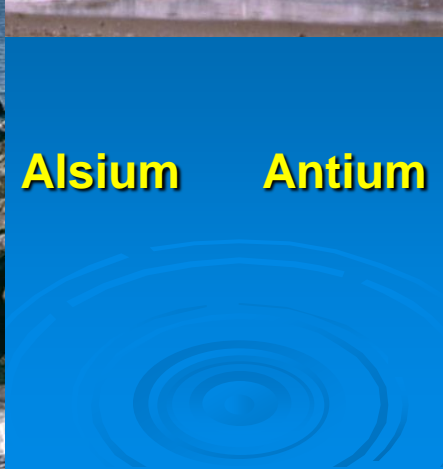
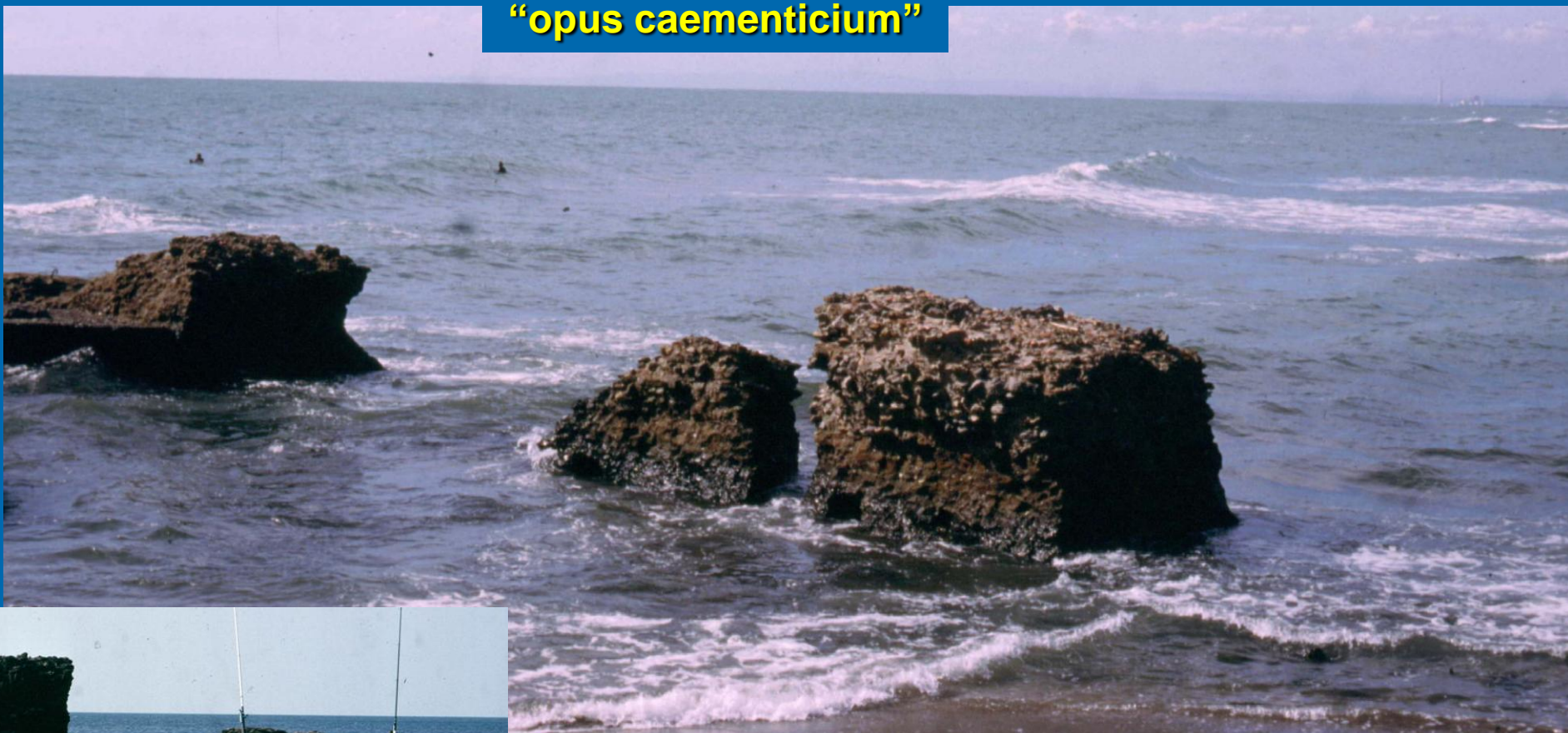


“Tagliata” etrusca ad Ansedonia



Primi moli romani con calcestruzzo pozzolanico a Cosa -Ansedonia (III sec. A.C)

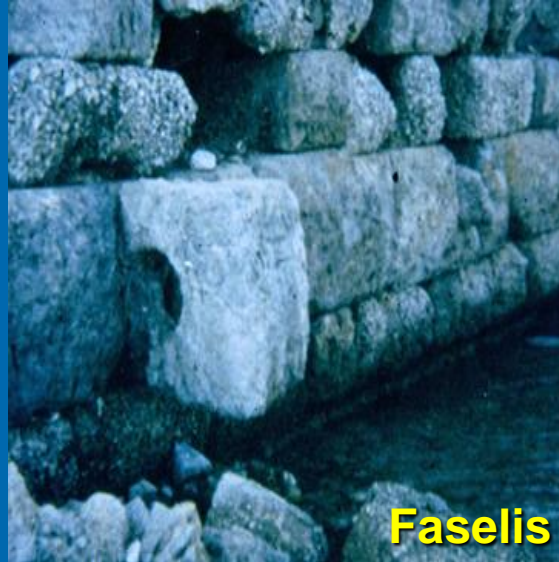
“opus caementicium”



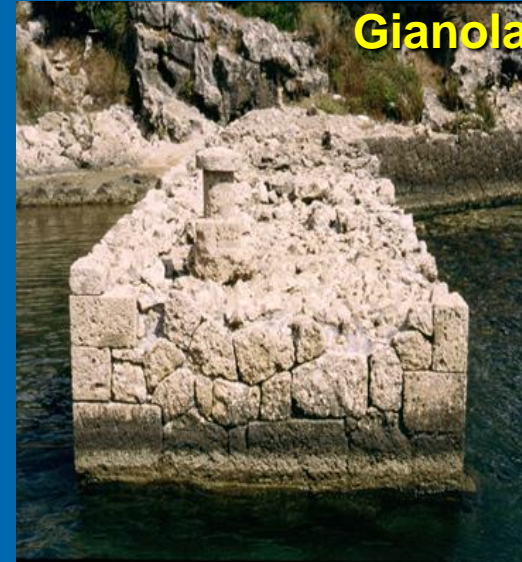
Alsium Antium



Tecniche romane di costruzione dei moli frangiflutti (Vitruvio, De Architectura 27 a.C, vol.II-V-XII)



Faselis



Gianola

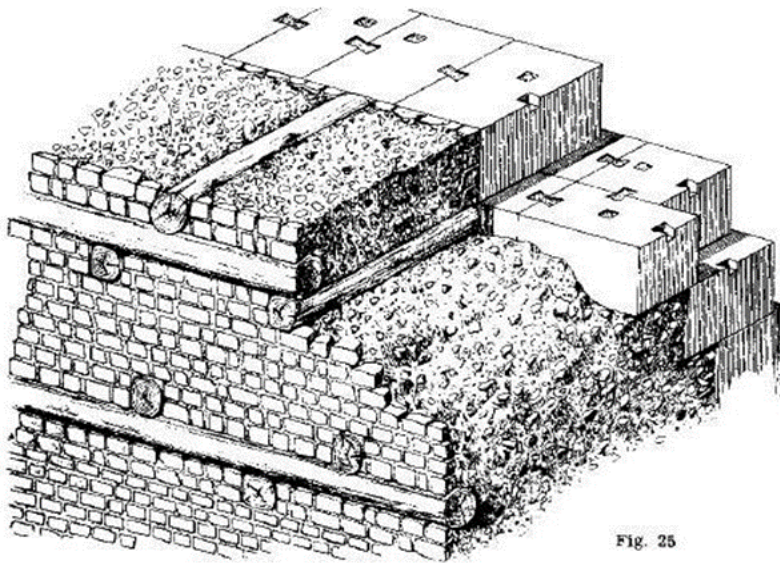
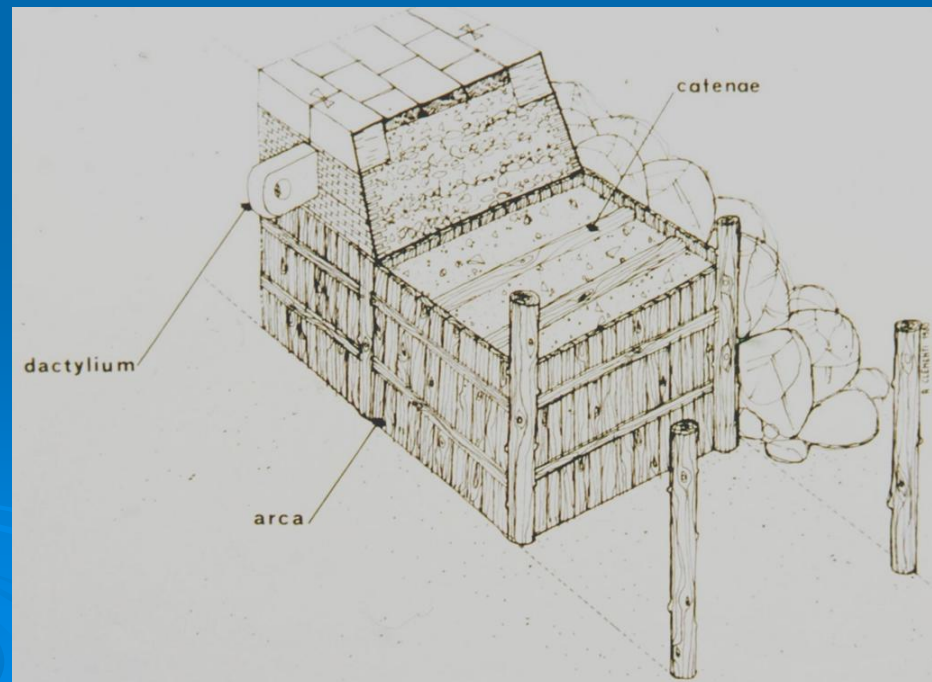


Fig. 25



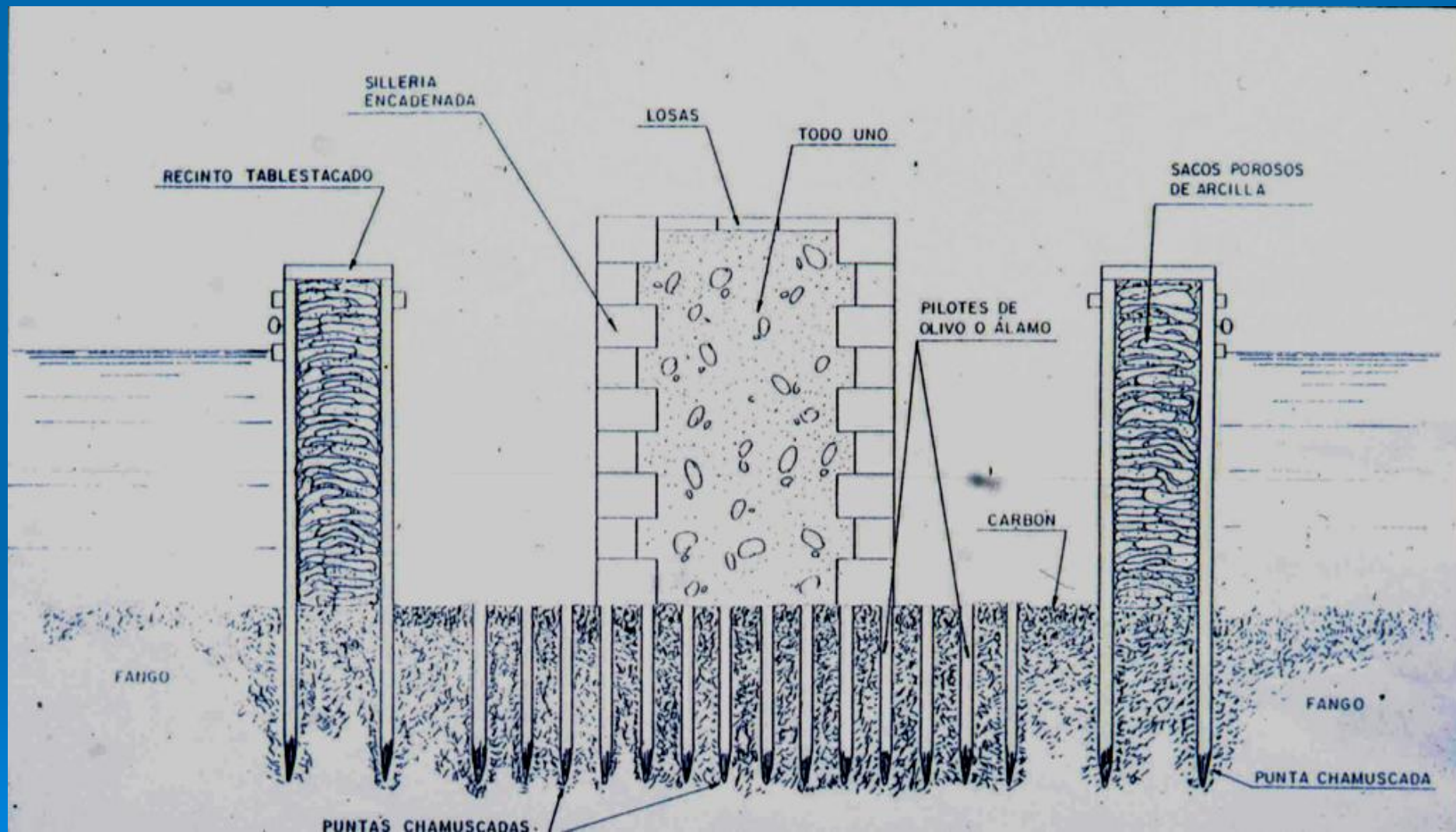


Aquileia. Mensolone in cui erano infissi i pali di attracco nel porto.

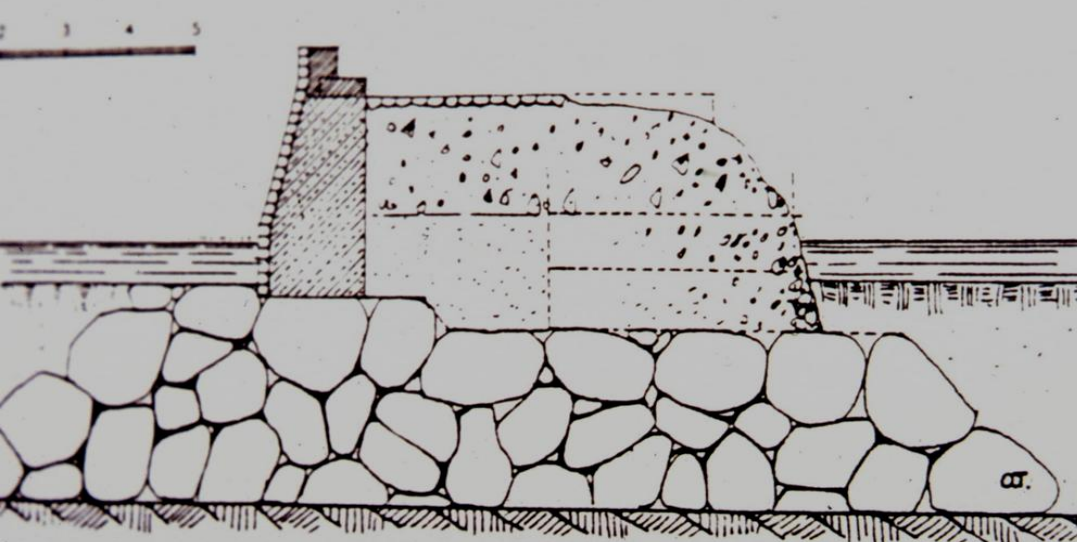
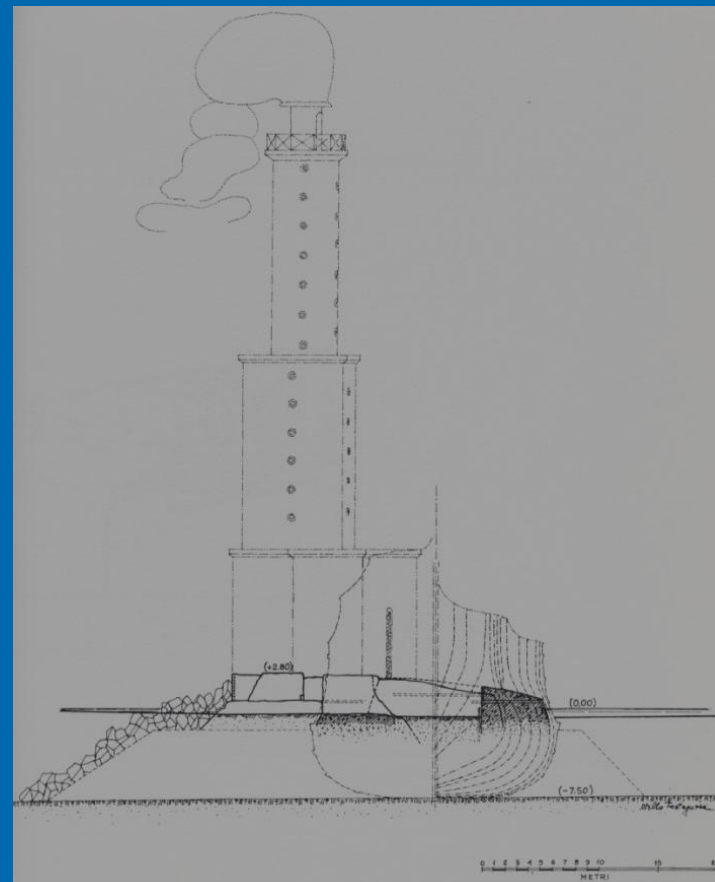
Porto fluviale di Aquileia

Banchina a due livelli e
blocco forato d'ormeggio per palo

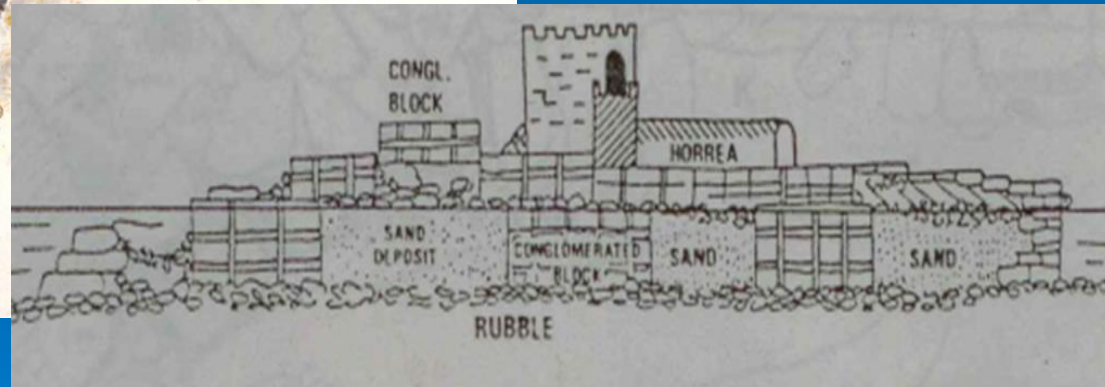
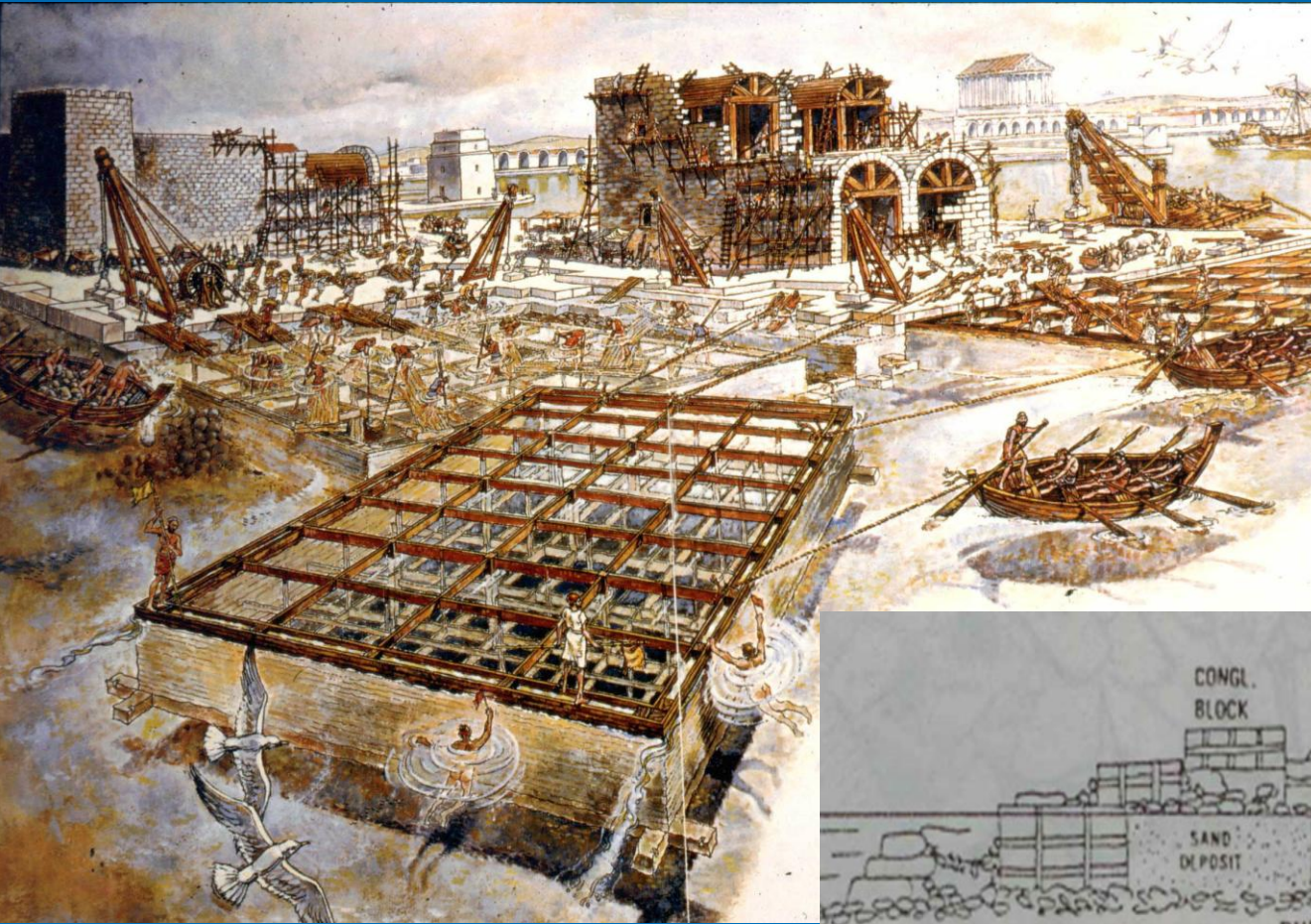
Diga a parete romana "opus pilarum" costruita all'asciutto



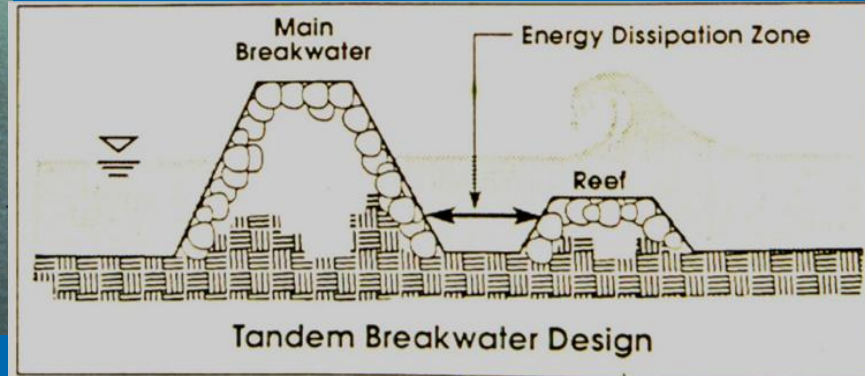
Resti della diga del porto di Claudio nell'aeroporto di Fiumicino



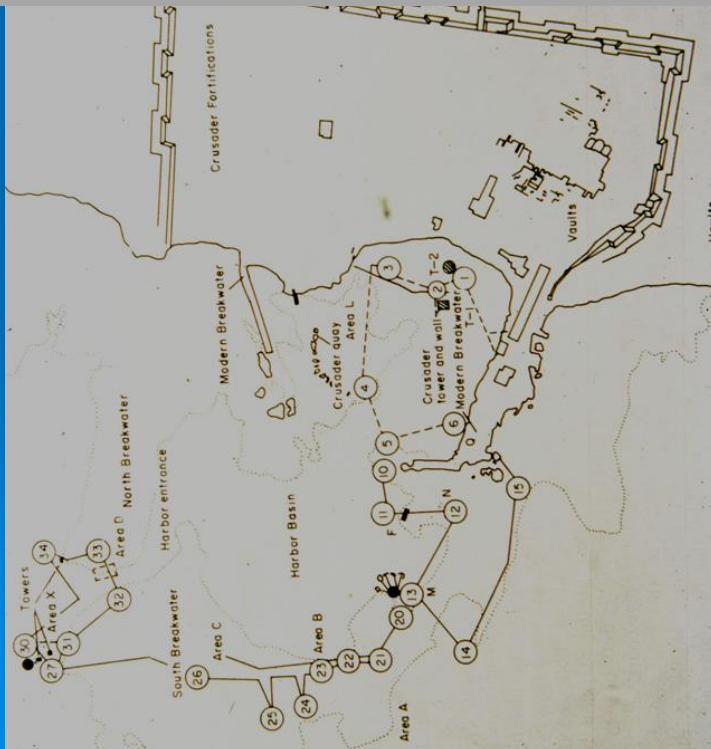
Prima diga a cassoni cellulari realizzata dagli ingegneri romani nel porto di Erode a Cesarea (Israele) – 18 aC



Porto Romano di Cesarea



Parco archeologico sottomarino

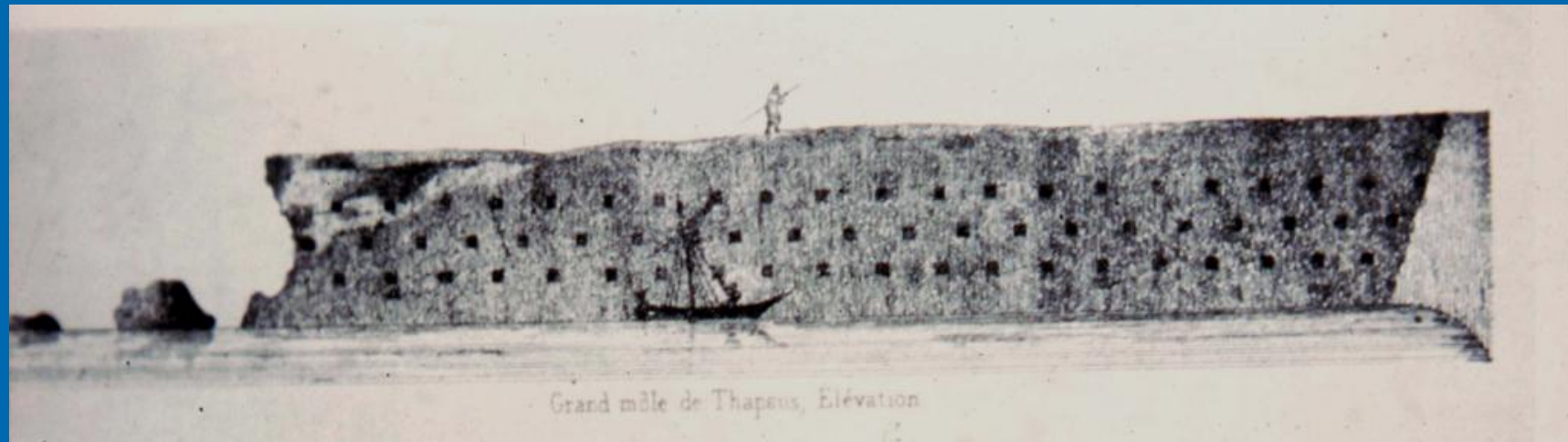


Diga tandem a Salerno, modello ENEL Cris

Diga romana a cassoni a Sapri (villa di Camerelle)



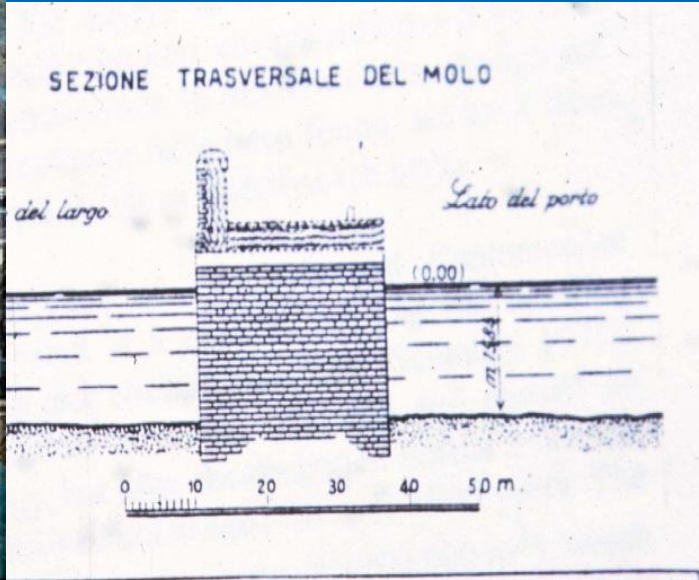
Parete forata a Tapso (Tunisia)



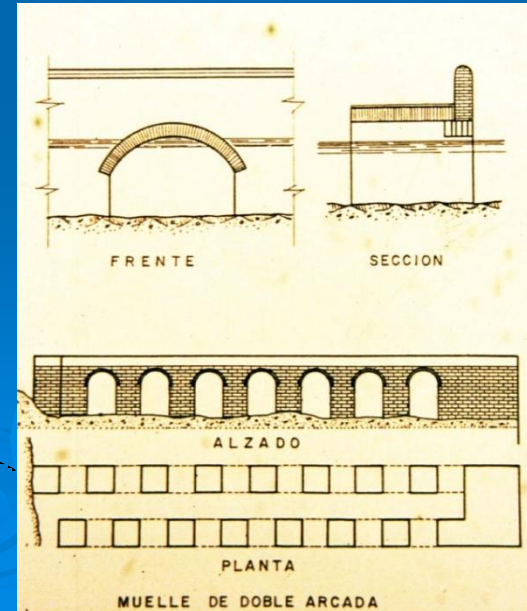
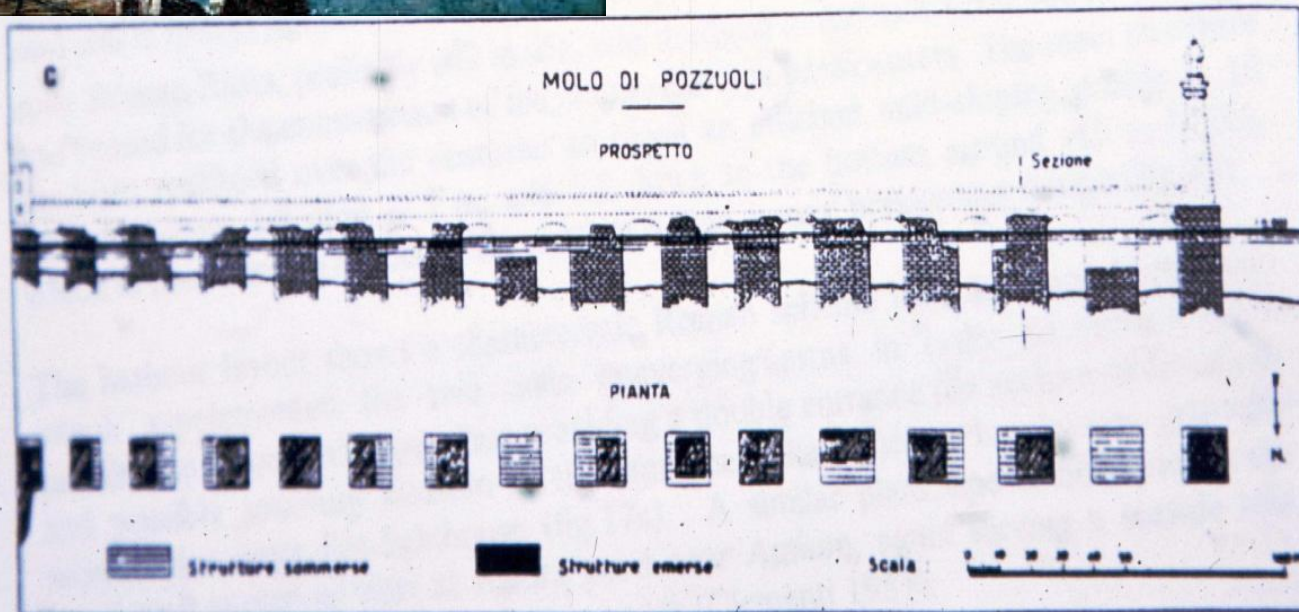
Cassoni forati in Giappone

Diga romana ad archi a Pozzuoli e Miseno (15 x 372 m)

canoni vitruviani opera ingegneria : stabilità - funzionalità ? - bellezza



piscina mirabilis
12000 m3





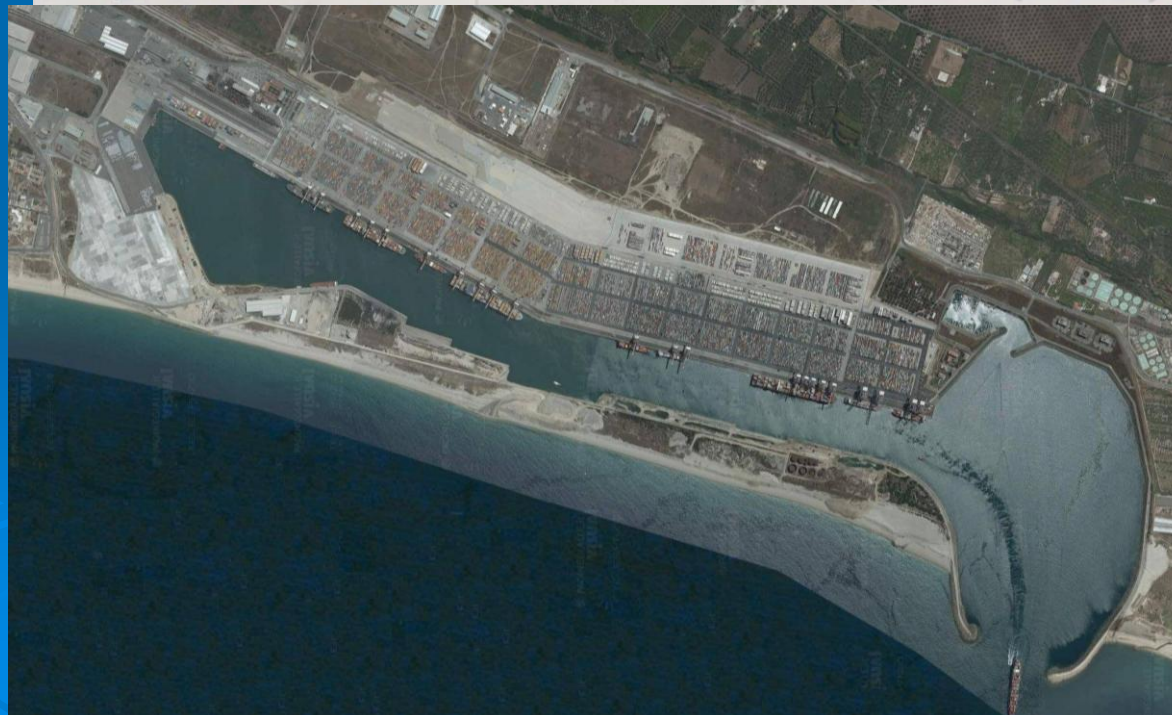
**Porto romano di Ventotene
(14 a.C, Augusto)**

**Confronto tra gli efficienti
schemi planimetrici di Ventotene
(14 aC) e Gioia Tauro (1980)
(scale differenti)**

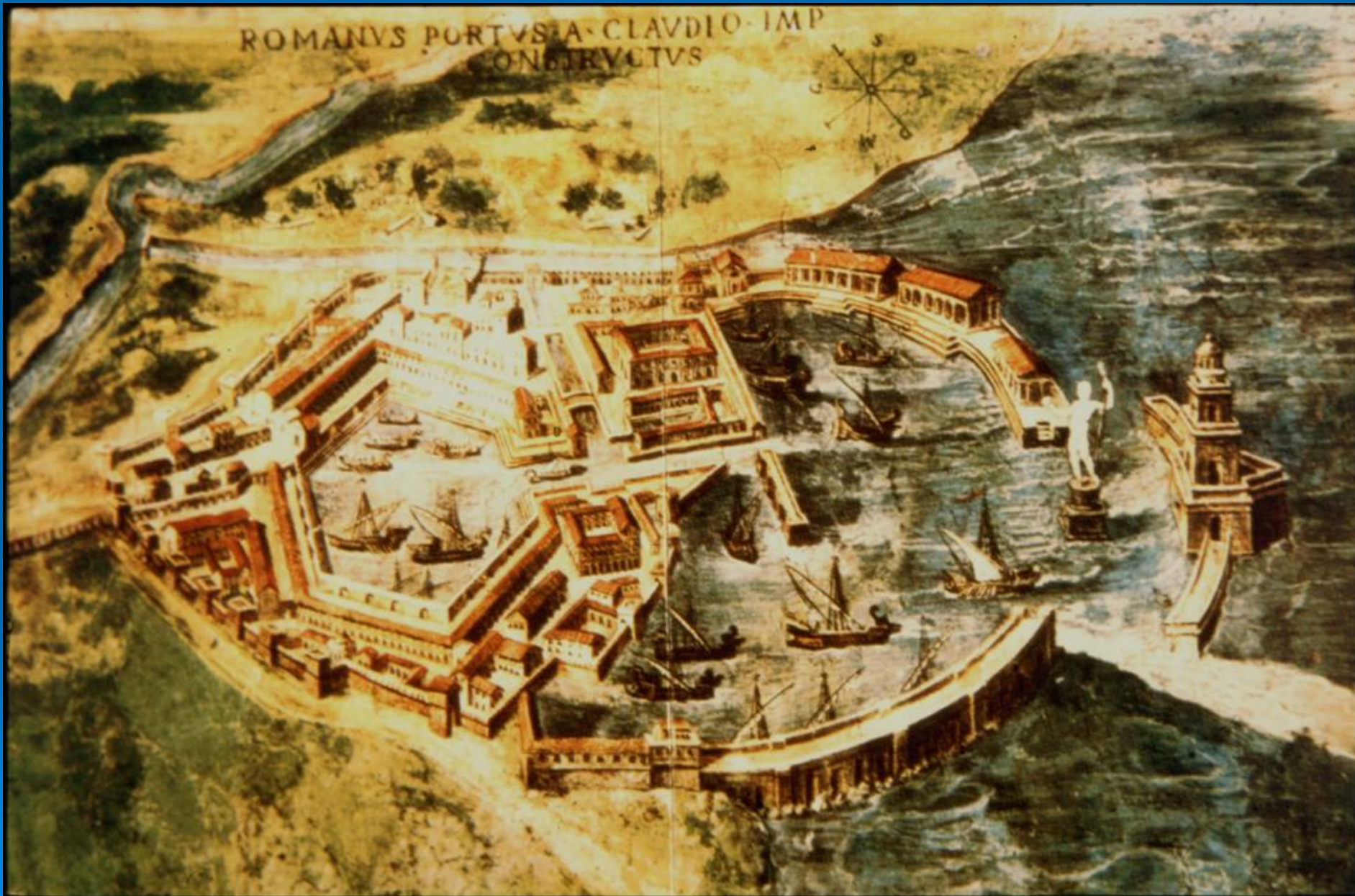


Fig. 19. Layout of the Roman imperial port of Pandataria-Ventotene (De Rossi)

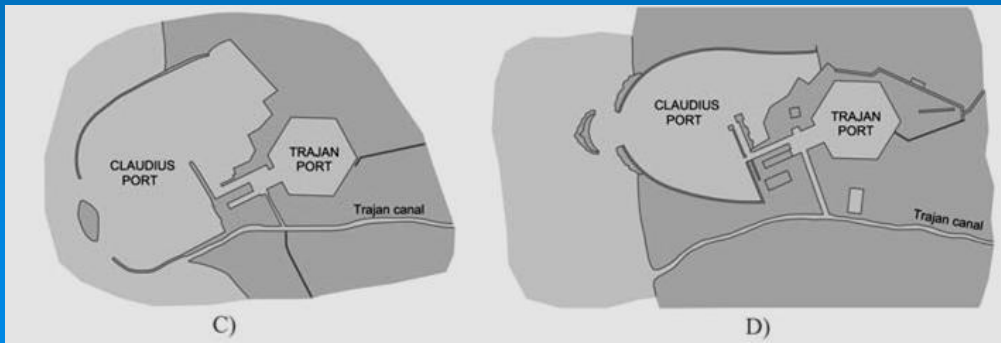
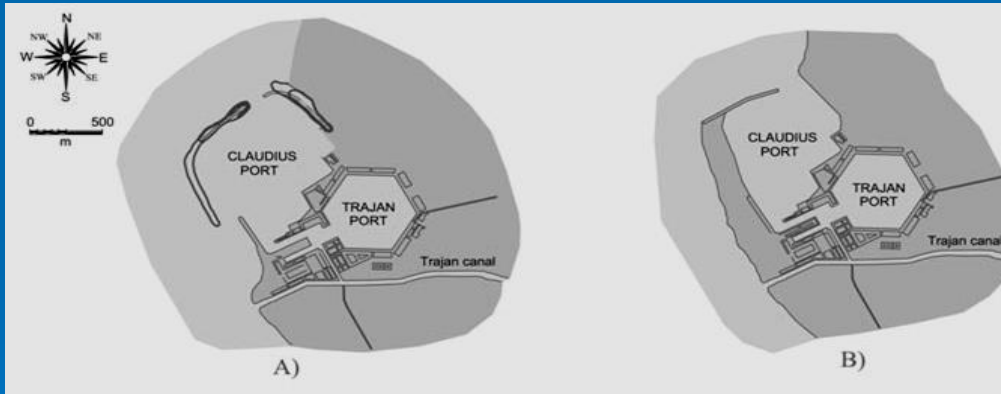
**Porto turistico di Canouan,
Caraibi (MODIMAR)**



Portus - Claudio 54 d.C.



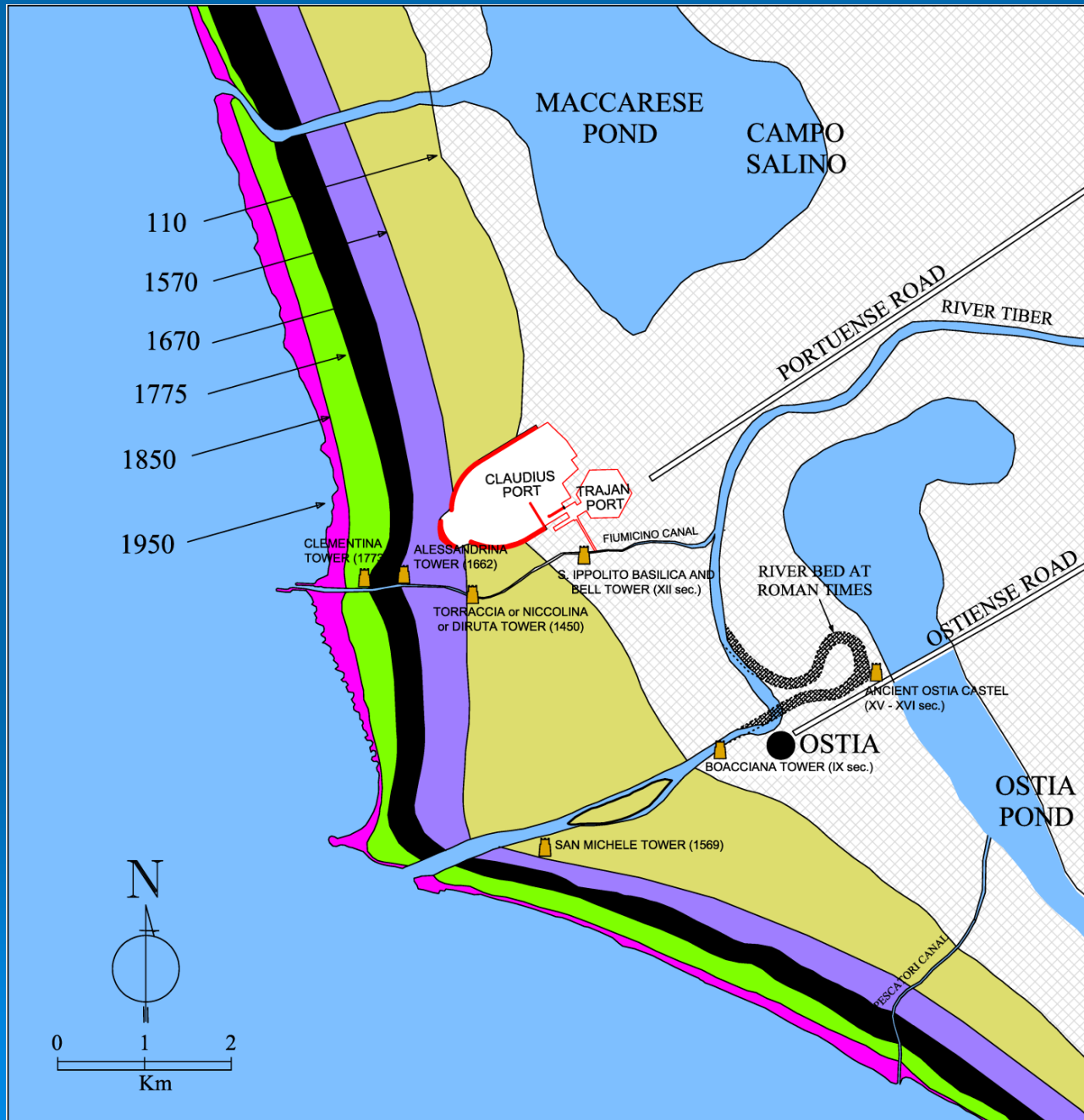
Noli A., Franco L. The ancient ports of Rome: new insights from engineers, Archaeologia Maritima Mediterranea n.6, 2009



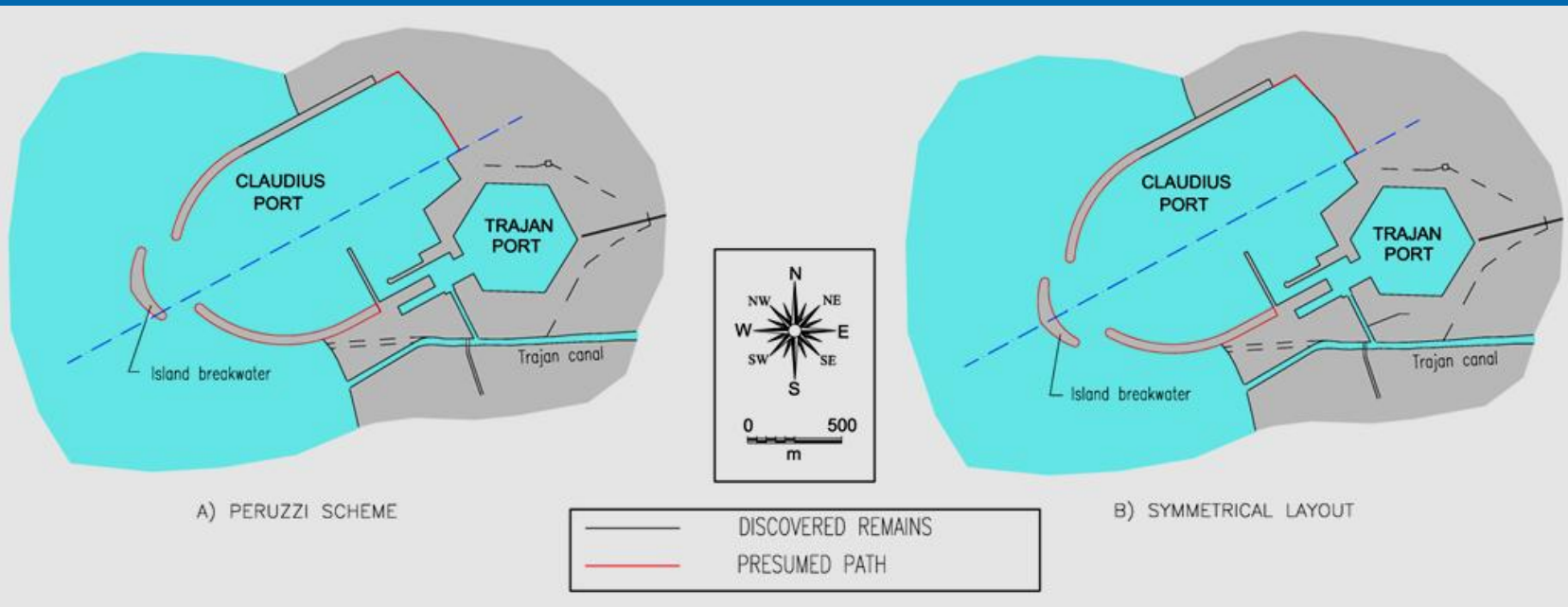
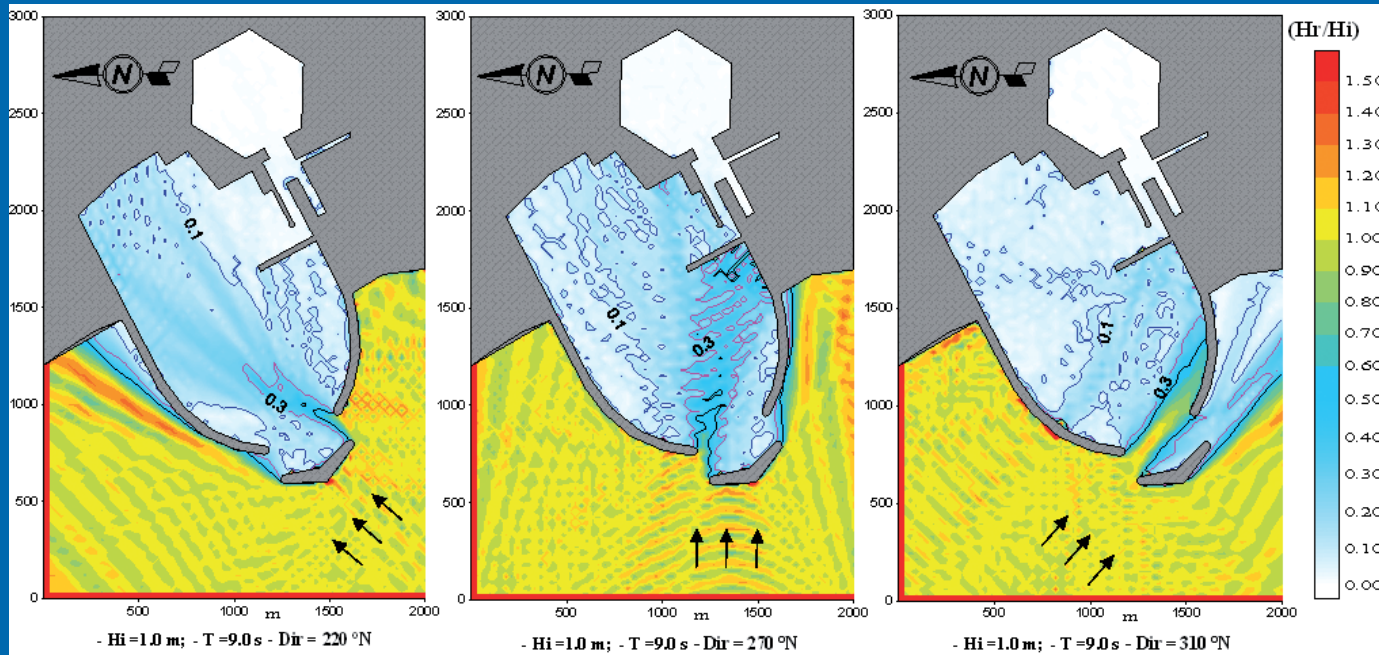
Ricostruzione porto di Claudio e Traiano:

- A) Lugli and Filibeck 1935,**
- B) Testaguzza 1970,**
- C) Giuliani 1992,**
- D) Peruzzi 1550-1573**

Evoluzione storica del delta tiberino

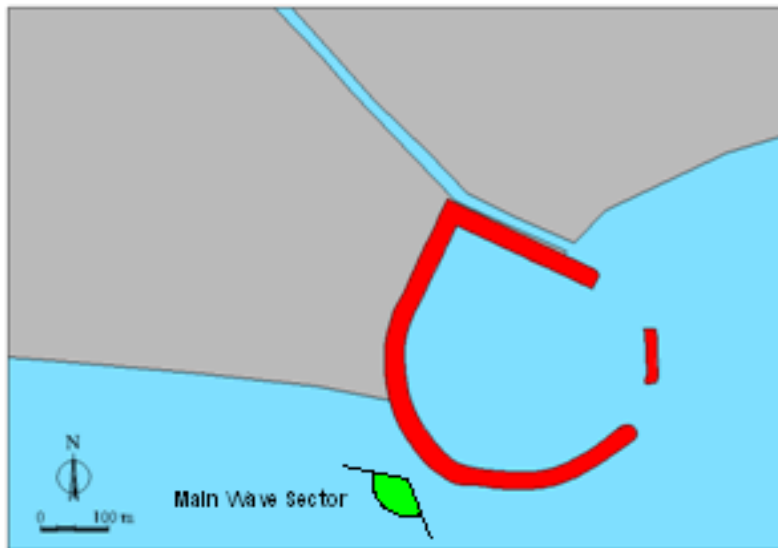


Penetrazione ondosa a Portus con il modello matematico VEGA



Ricostruzione di Portus come proposto da Peruzzi (A) e come proposto da Noli e Franco (B)

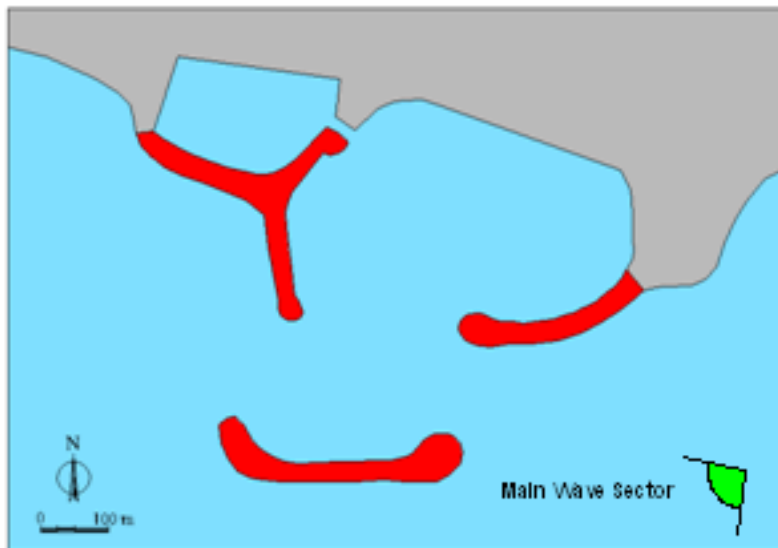
Porti imperiali a moli convergenti con antemurale



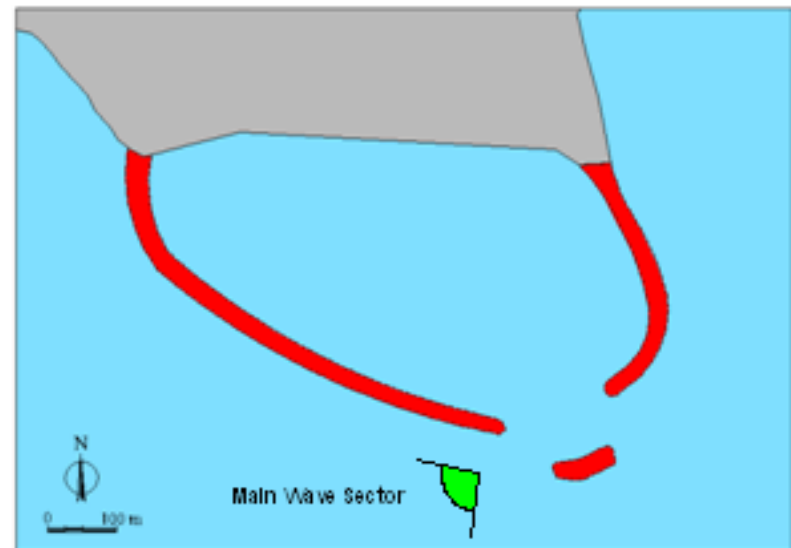
TERRACINA



ASTURA



CENTUMCELLAE

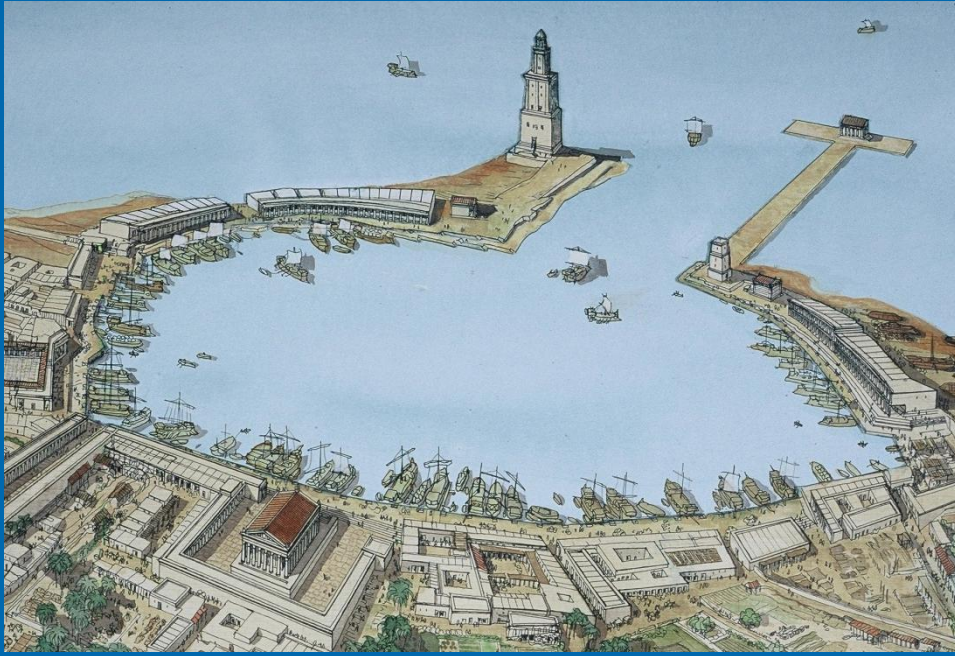


ANTIUM (Nerone)

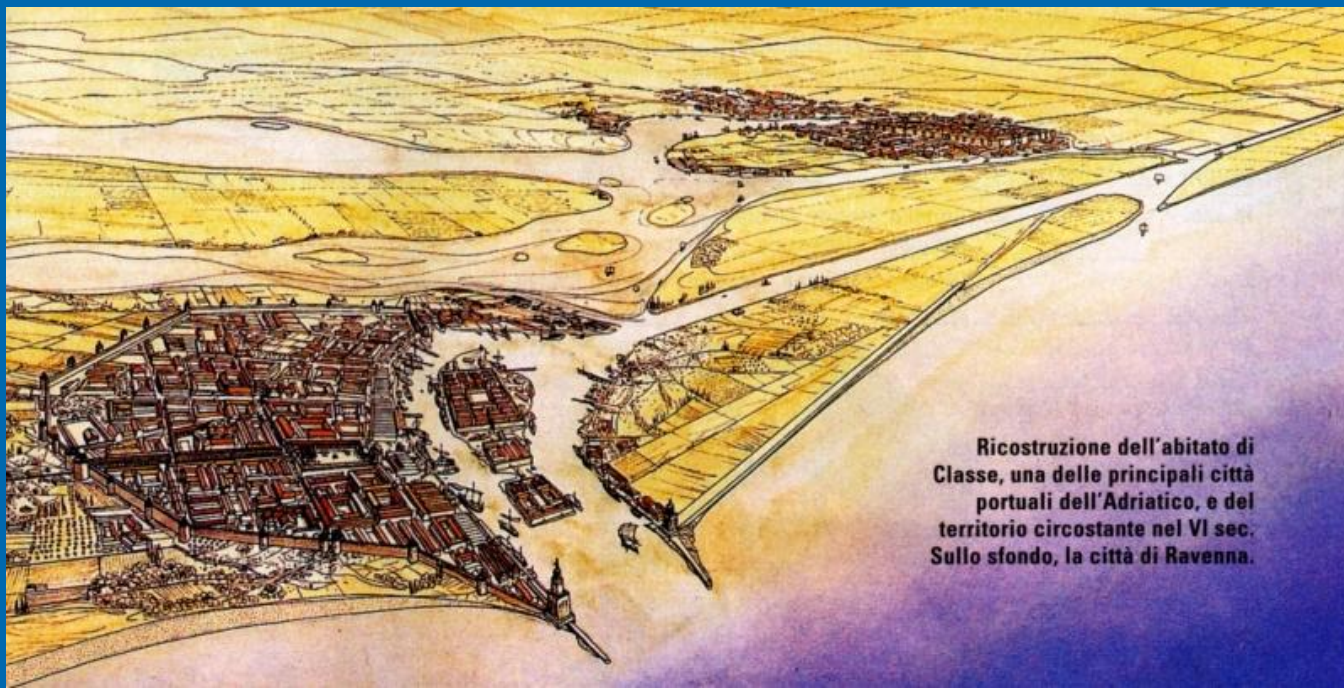


L'antico porto di Centumcellae (in giallo, Traiano 110 d.C.) sovrapposto alle opere del porto moderno di Civitavecchia (fonte M. Seifert, J. Danm, Antike Häfen Universität Hamburg)

Leptis Magna, Libia (Settimio Severo, 3°sec. dC)



Classe, Ravenna (6°sec. dC)



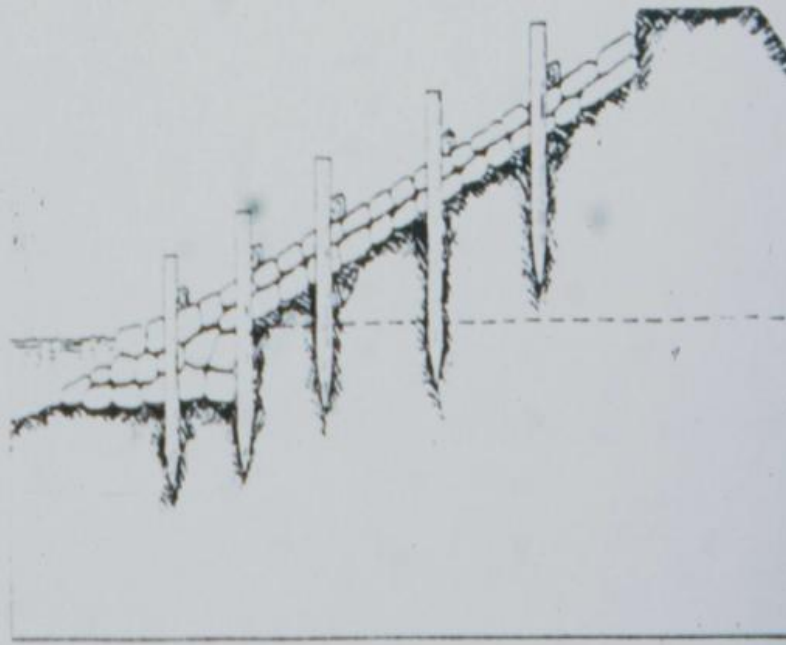
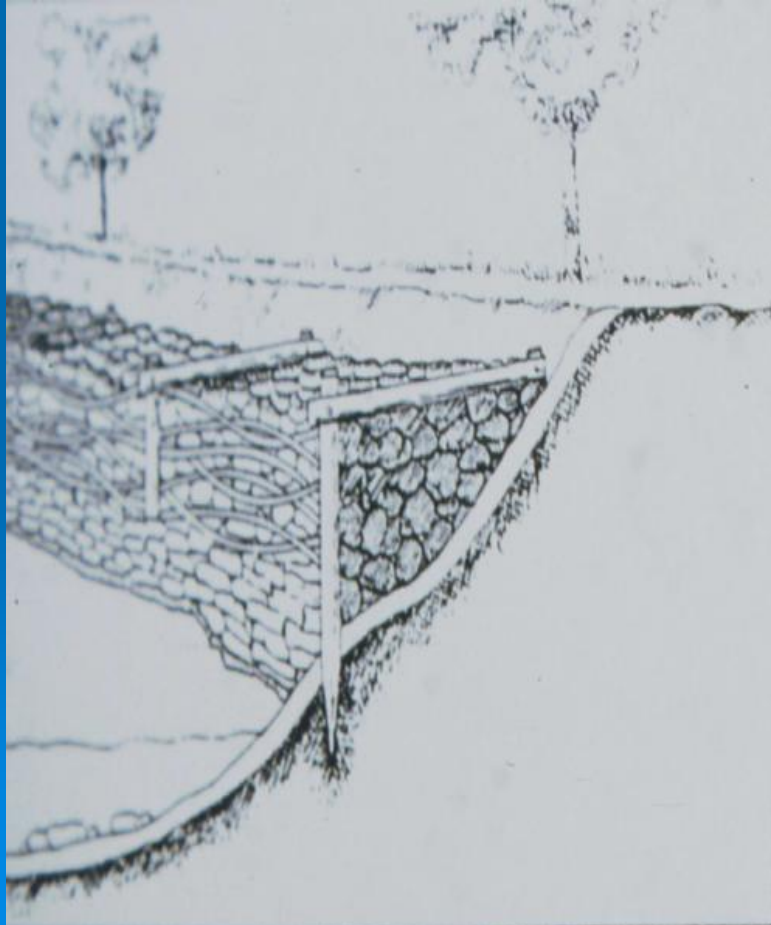
Ricostruzione dell'abitato di Classe, una delle principali città portuali dell'Adriatico, e del territorio circostante nel VI sec. Sullo sfondo, la città di Ravenna.



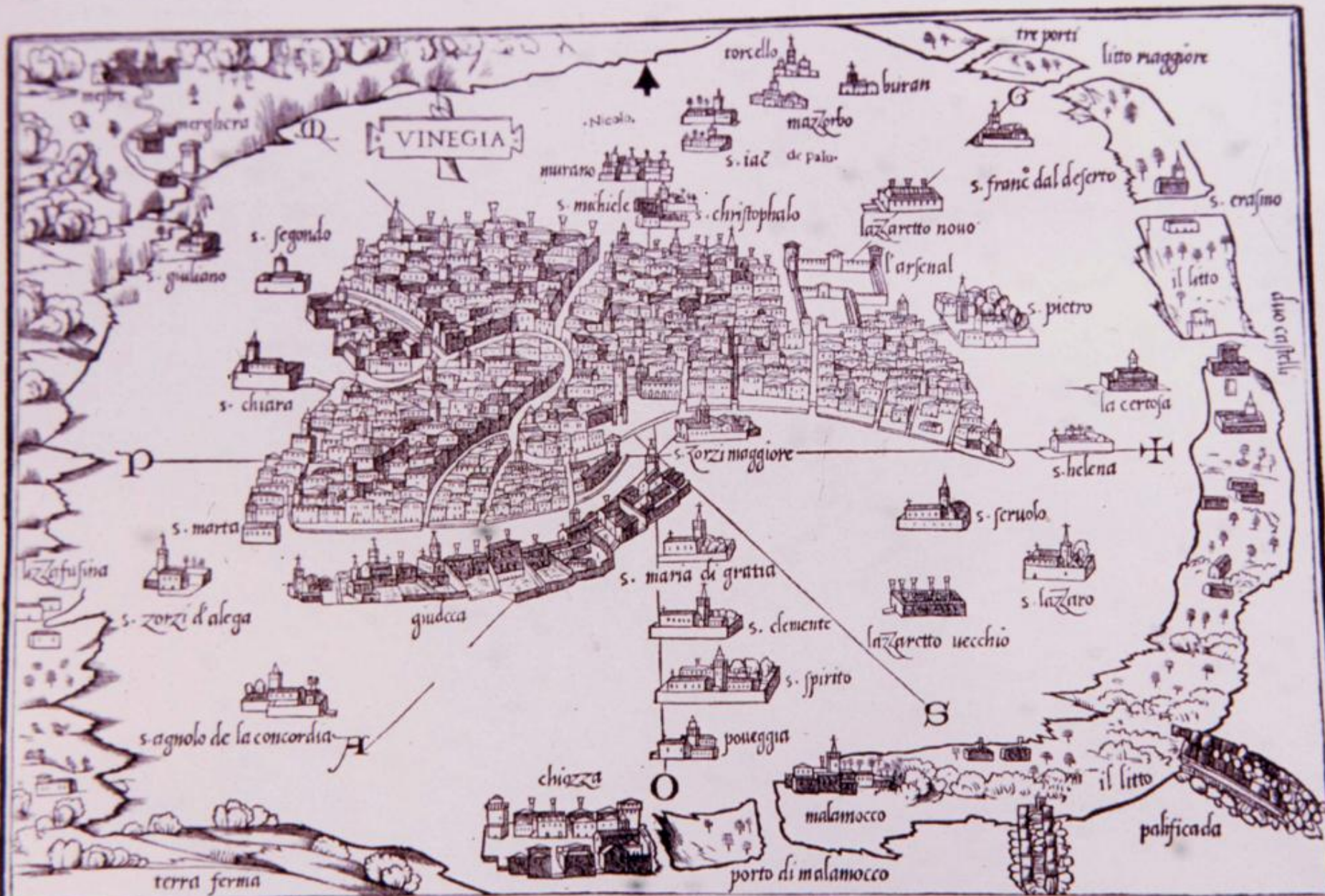
mosaico bizantino a S. Apollinare Nuovo

VENEZIA

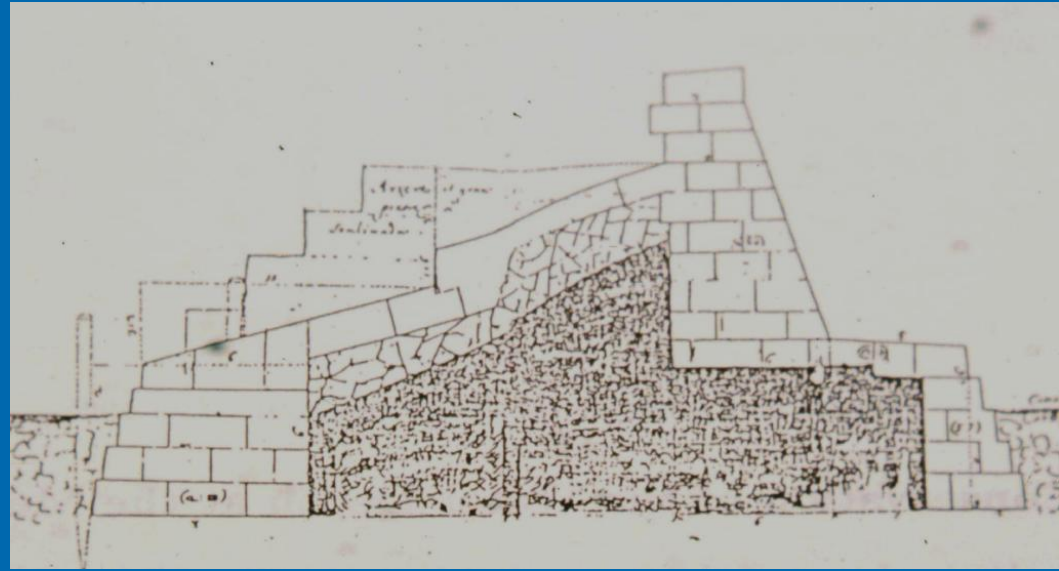
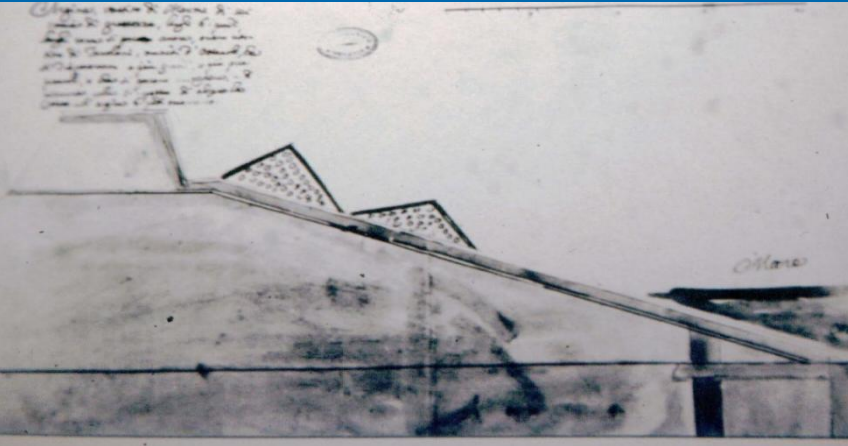
(primi rapporti tecnici di difesa costiera del 537)
Dune protette da opere radenti con fascinate o
con pietrame tra pali di legno «paleselle»



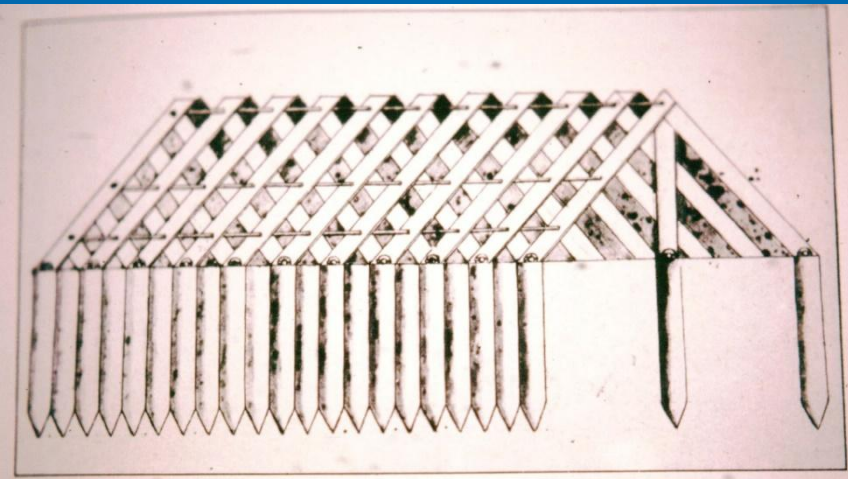
I primi pennelli per protezione costiera a Venezia (1528)



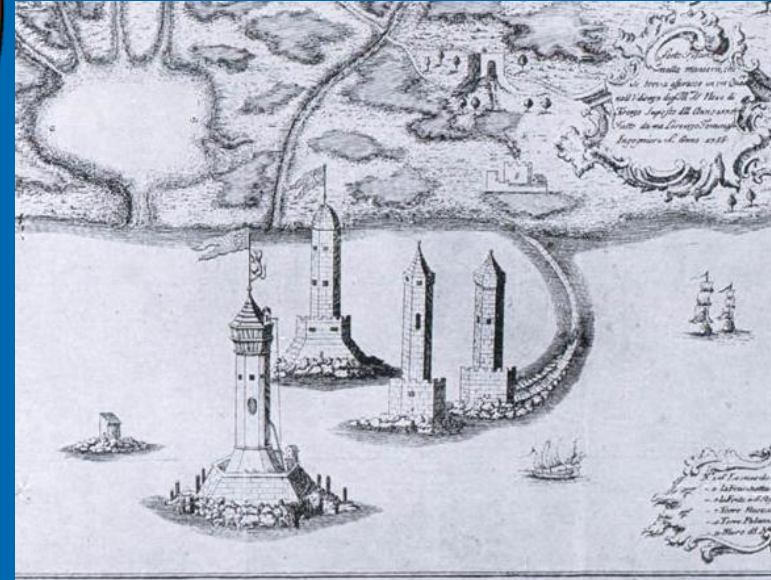
Murazzi a Pellestrina (Zendrini 1743)



**V. Coronelli: progetto di un pennello
alternativo con legno e ferro (1716).**



Repubbliche Marinare: Amalfi (distrutta da tsunami nel 1270)-Pisa-Genova-Venezia



secondo una stampa dell'ingegnere Tommasi (1755). Si vedono la Torre Nuova (cioè il Mar
Torre Nuova (1162), il Castello Nuovo (1162), il Castello Vecchio (1162), il Castello Nuovo (1162), il Castello Nuovo (1162)

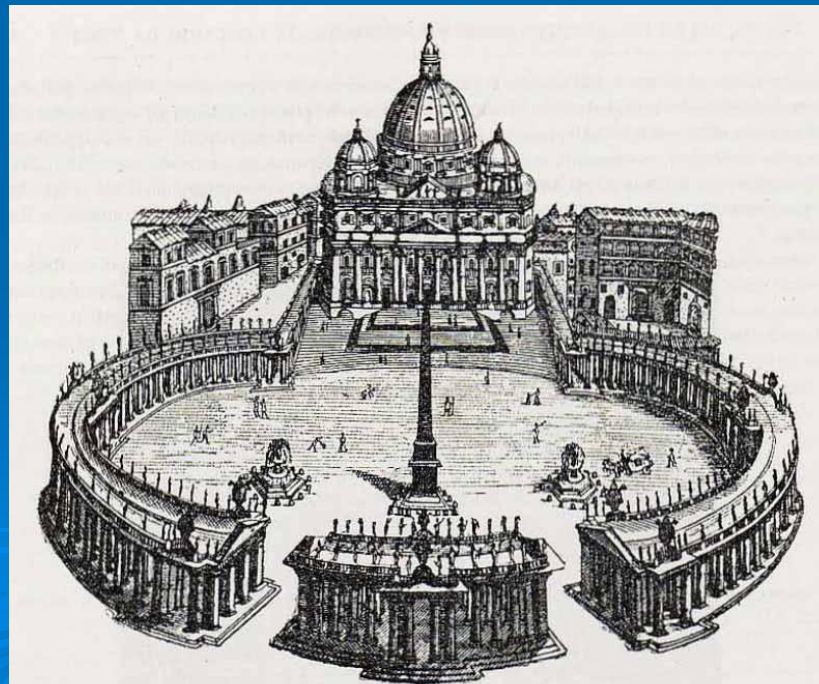
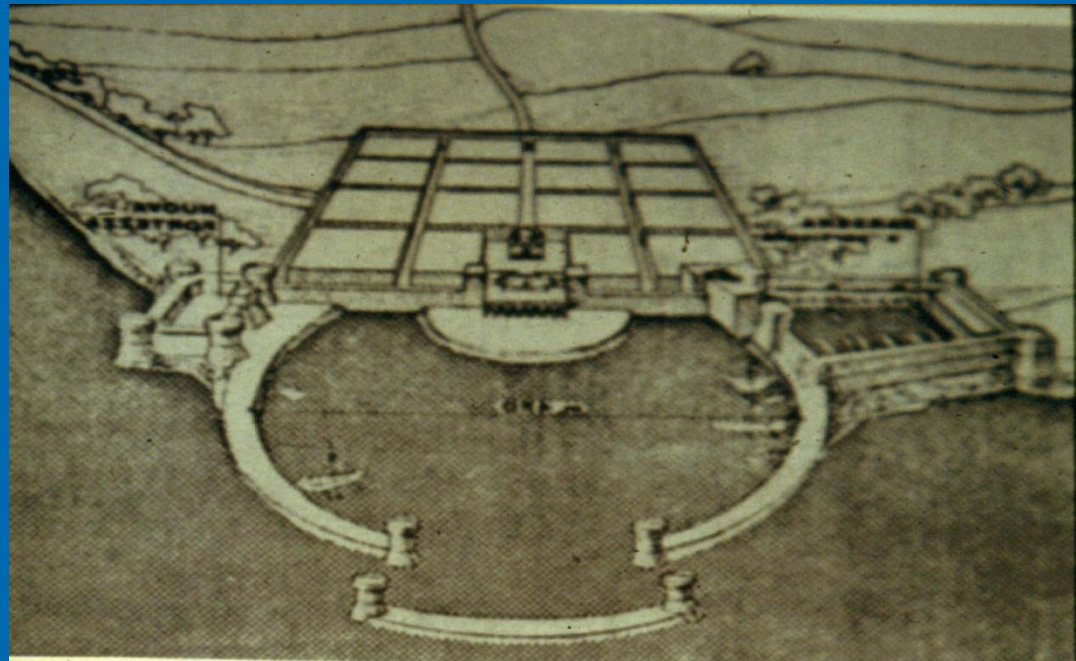


Diga Genova "Opera Pia" dal 1245



**Porto di Civitavecchia
modello urbanistico
del Rinascimento**

**L.B. Alberti 1452
Di Giorgio Martini 1475:
canoni città-porto ideale
misure auree:
diga-isola di 100 m
imboccatura di 70 m
arretrata di 70 m
moli curvilinei**

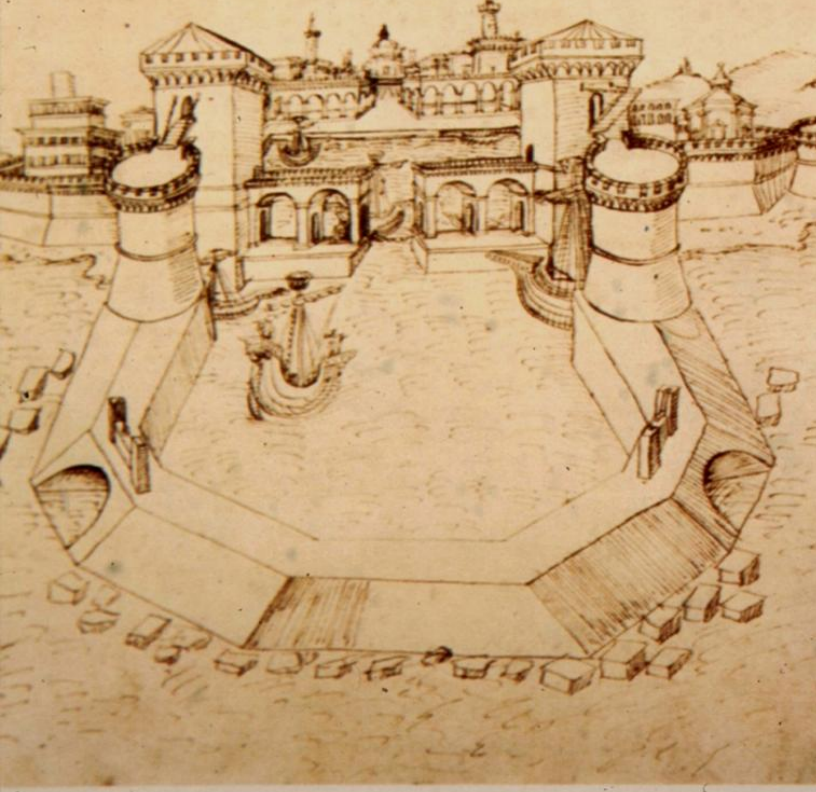


1. — PIAZZA DI SAN PIETRO SECONDO IL DISEGNO DEL BERNINI

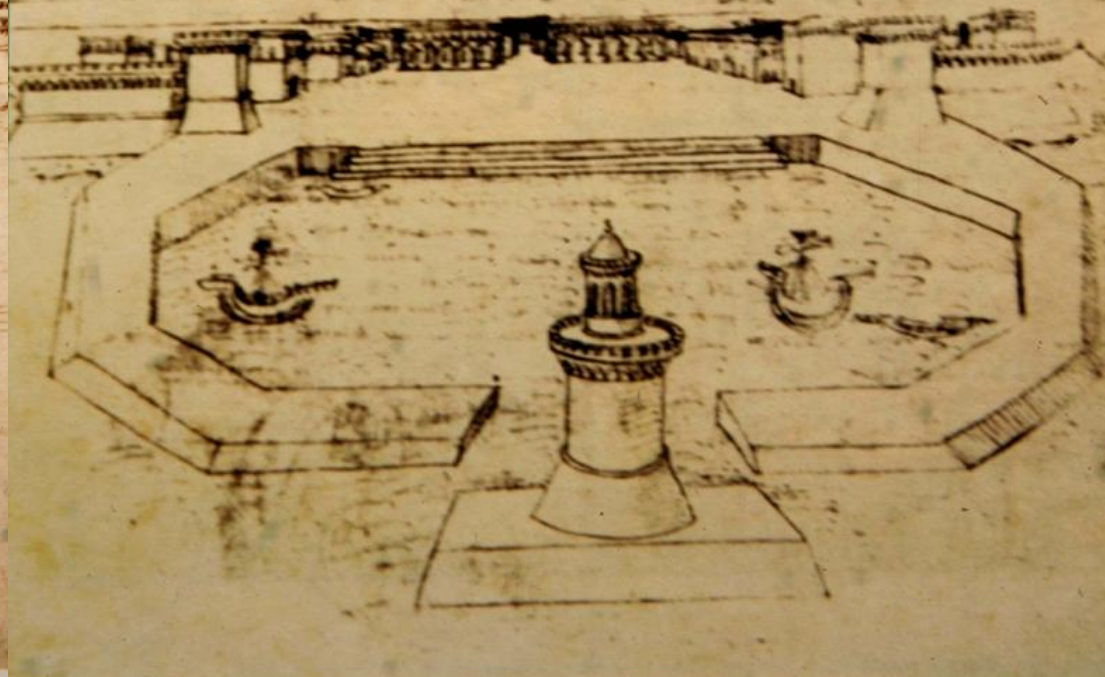
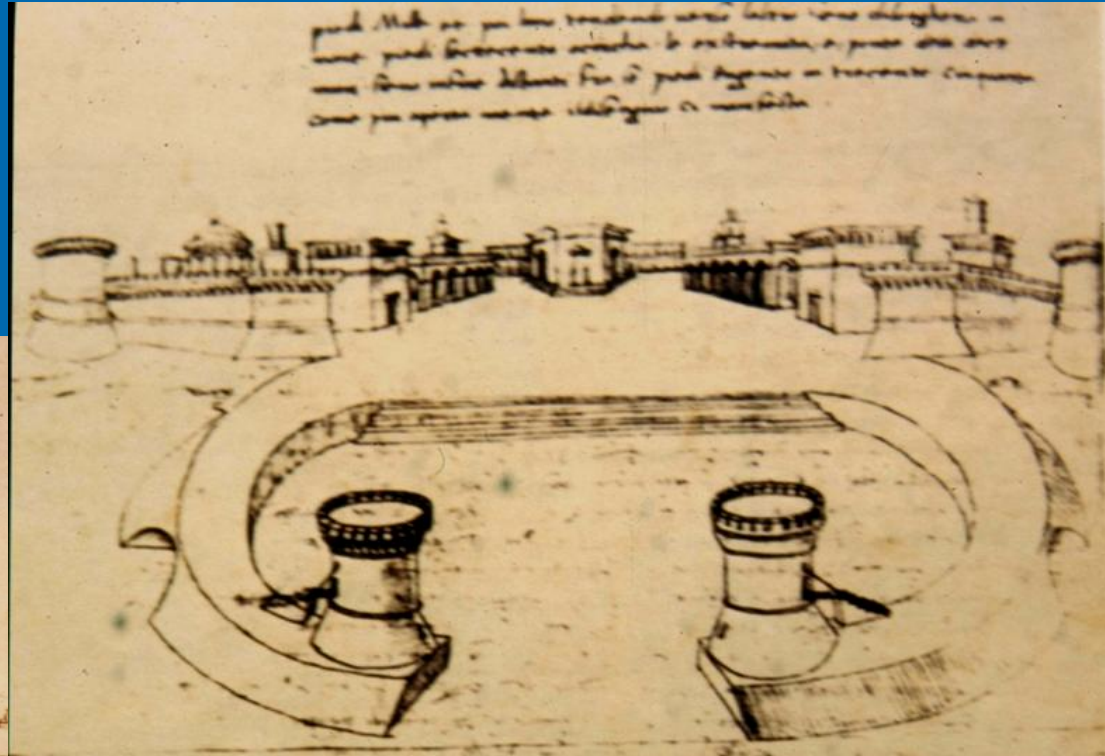
Disegni di porti ideali (Di Giorgio Martini 1475)

un'inclosure nel porto d'antico con il porto
 di deposito facciano a. Con spandito bolognese quale si dice
 che stende solo l'ordine dato intale. Spada non facessero la
 forma e loro di questo bolognese istantale.

Dopo postocione se forza del porto si puo fare un
 delimito dela usura diocesi sua e porti dugente cinque
 un muro guati piedi Lxxx come appone. Invece intalora
 Lunghe porti traccano perque scilicet infirma di angulo obtuso
 e scilicet traccano e scilicet scilicet delenda delenda. Quati
 porti se inguati intale modo perche scilicet scilicet scilicet scilicet
 in angulo obtuso delenda un'guati scilicet scilicet scilicet scilicet
 scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet
 se intale forza scilicet del principe come appone scilicet scilicet



piedi Mili se puo loro traccano come loro scilicet scilicet scilicet scilicet
 un'guati scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet
 un'guati scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet
 come puo appone scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet scilicet



Porto ideale (De Marchi 1545)

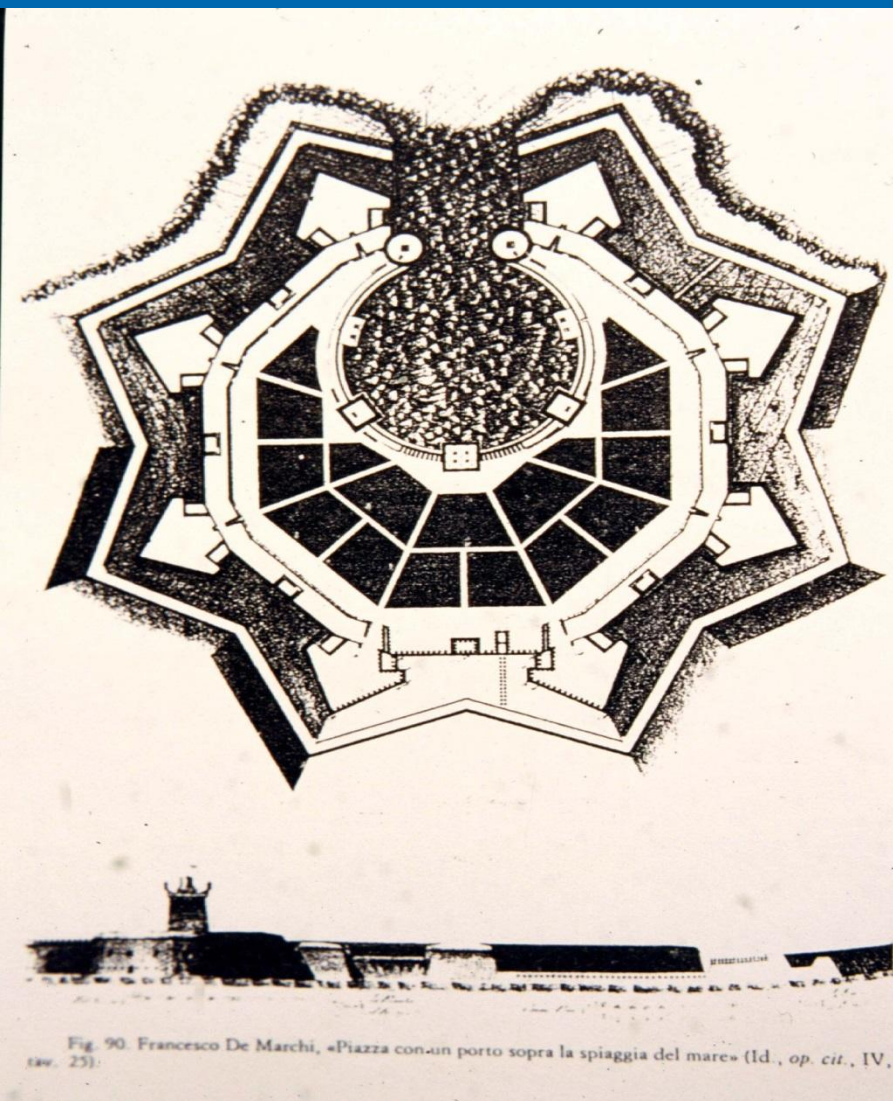
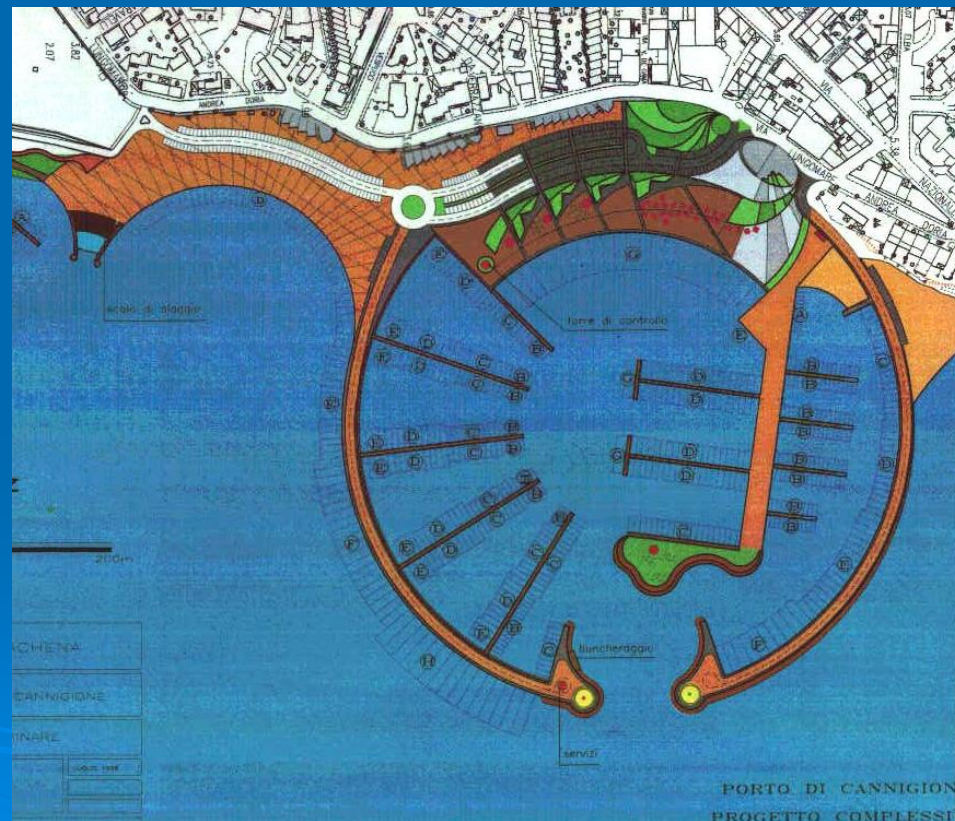


Fig. 90. Francesco De Marchi, «Piazza con un porto sopra la spiaggia del mare» (Id., *op. cit.*, IV, tav. 25).

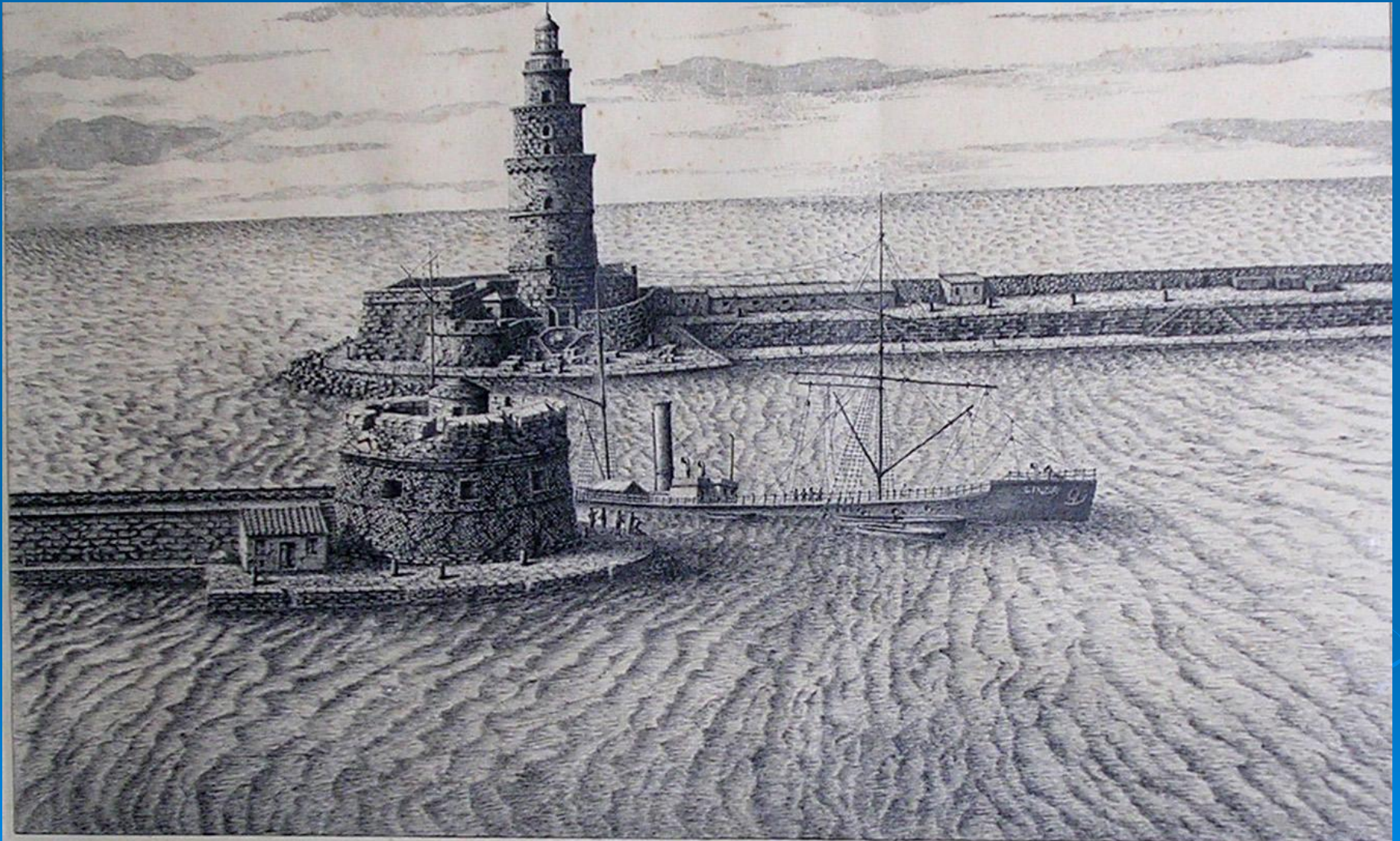
Progetto di un marina a Cannigione (MODIMAR)



Il porto papalino di Civitavecchia nel 1700 circa



Stampa del 1902 con la nave "Linda" incagliata sul Molo del Bicchiere



.....Linda hai preso sonno
su la bocca di levante
.....

CIVITAVECCHIA
9 MAGGIO 1902

dis. di Piero Longoni

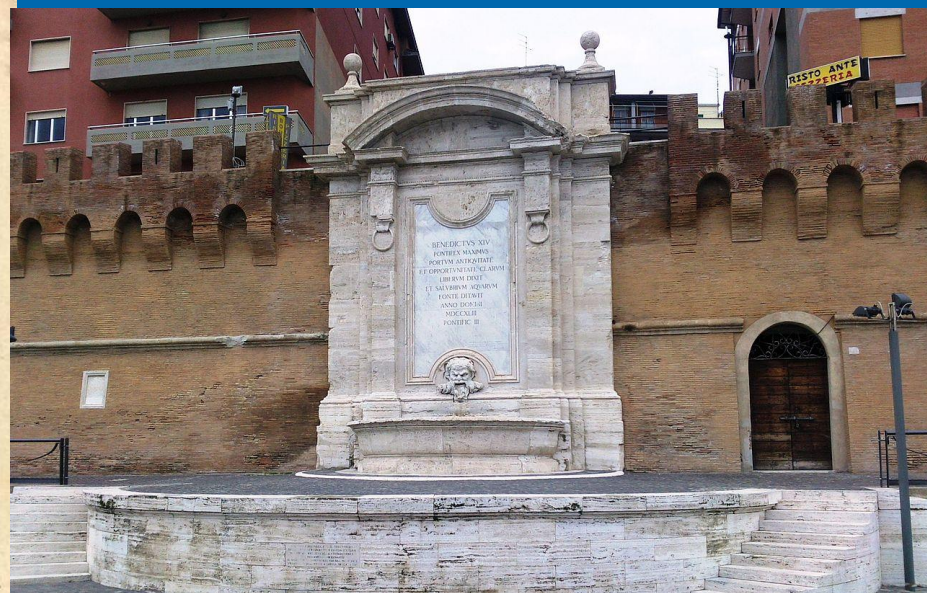
Civitavecchia



Forte Michelangelo



CIVITAVECCHIA - Capitaneria di Porto - Arsenale Bernini



Fontana e scalinata a mare del Vanvitelli



Leonardo da Vinci

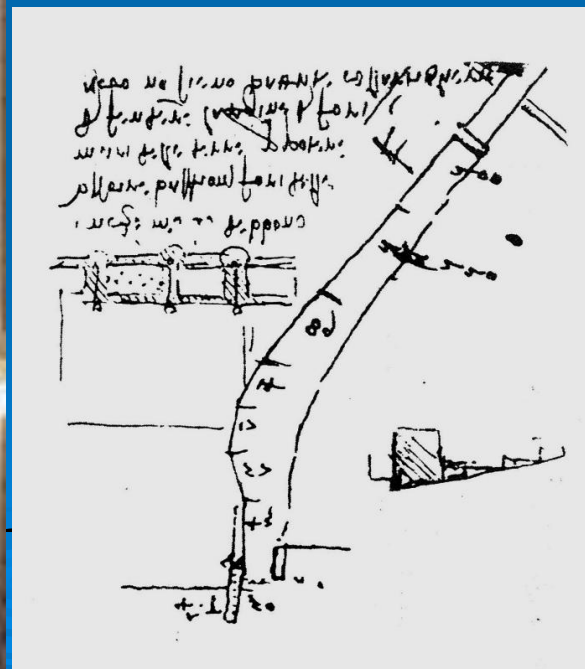
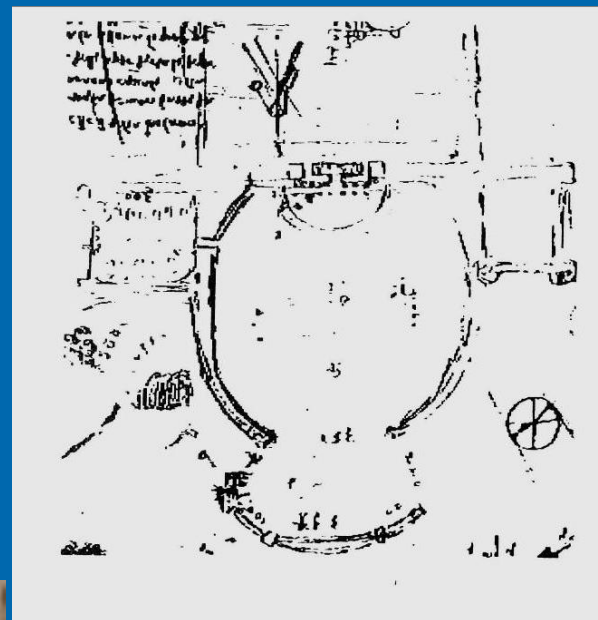
(1465-1519)

Scienziato ed ingegnere portuale e costiero

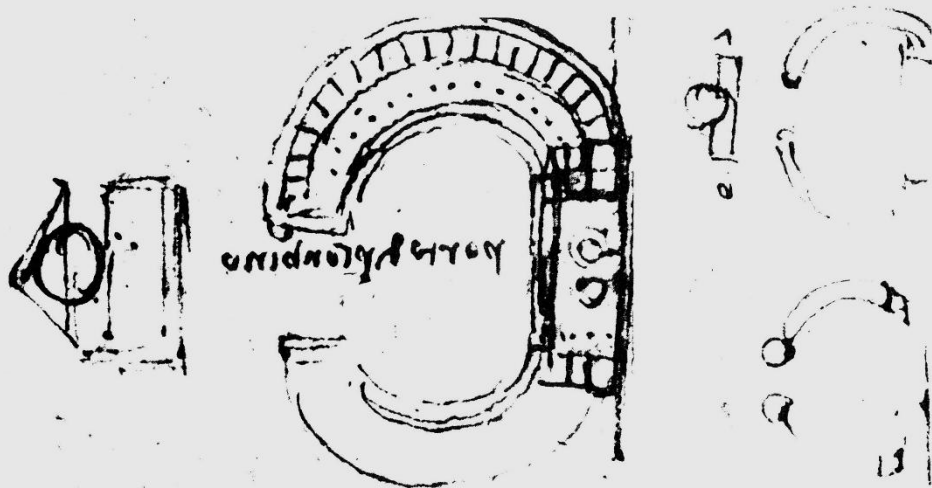
Leonardo presenta il progetto del porto di Cesenatico al principe Cesare Borgia (Valentino)



Porto di Civitavecchia



b



समाप्तमोक्षमय

Porto a spirale
(Gallaccini 1603)

Porto di Piombino
(Codice Madrid, f.88v)

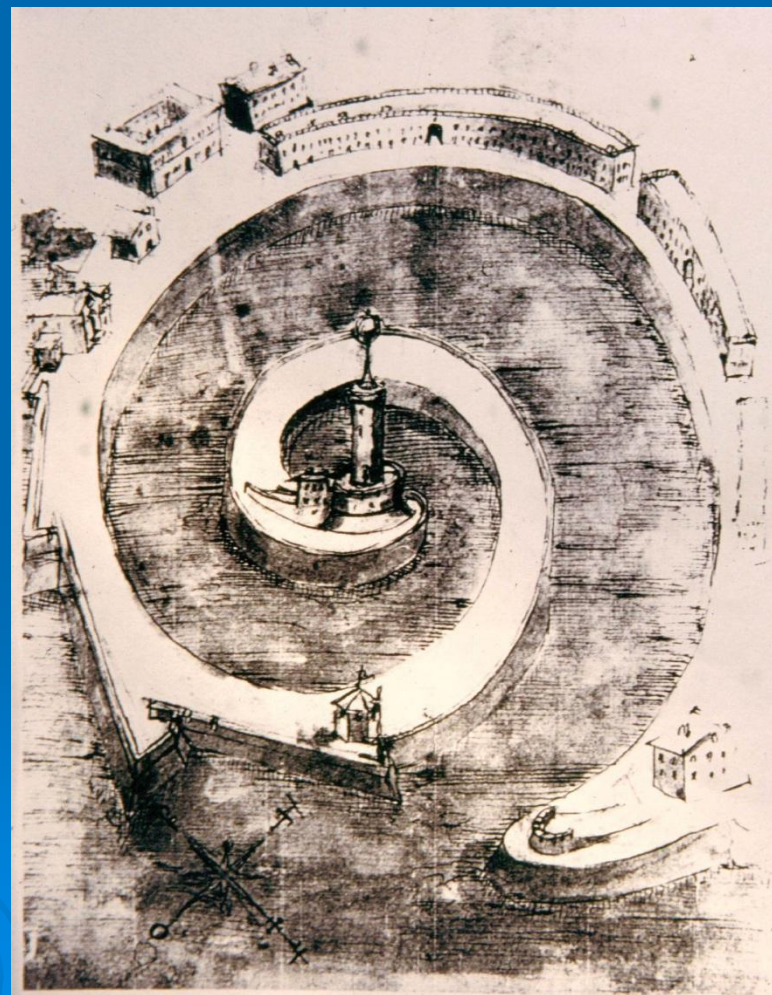
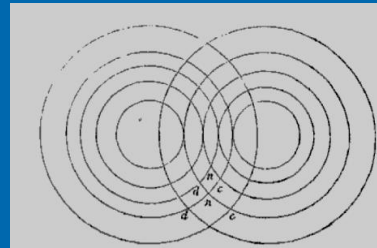
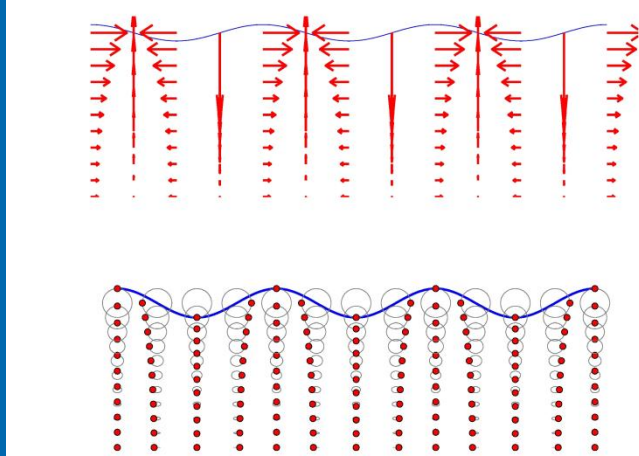
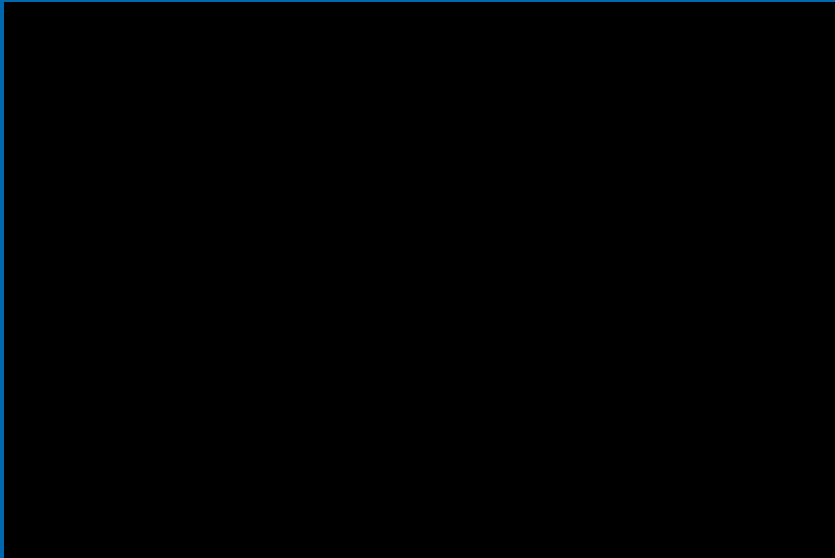


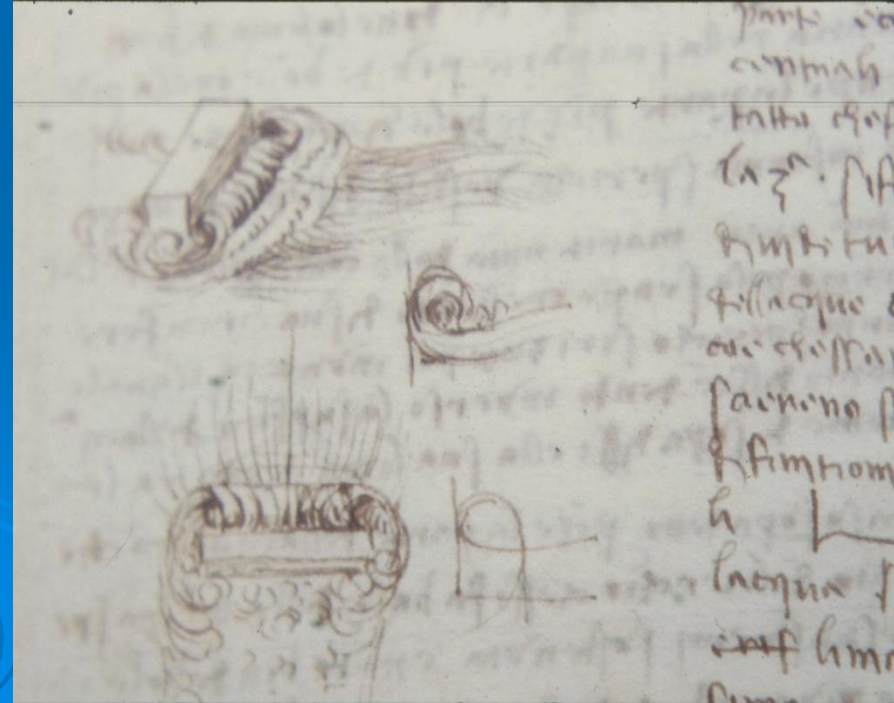
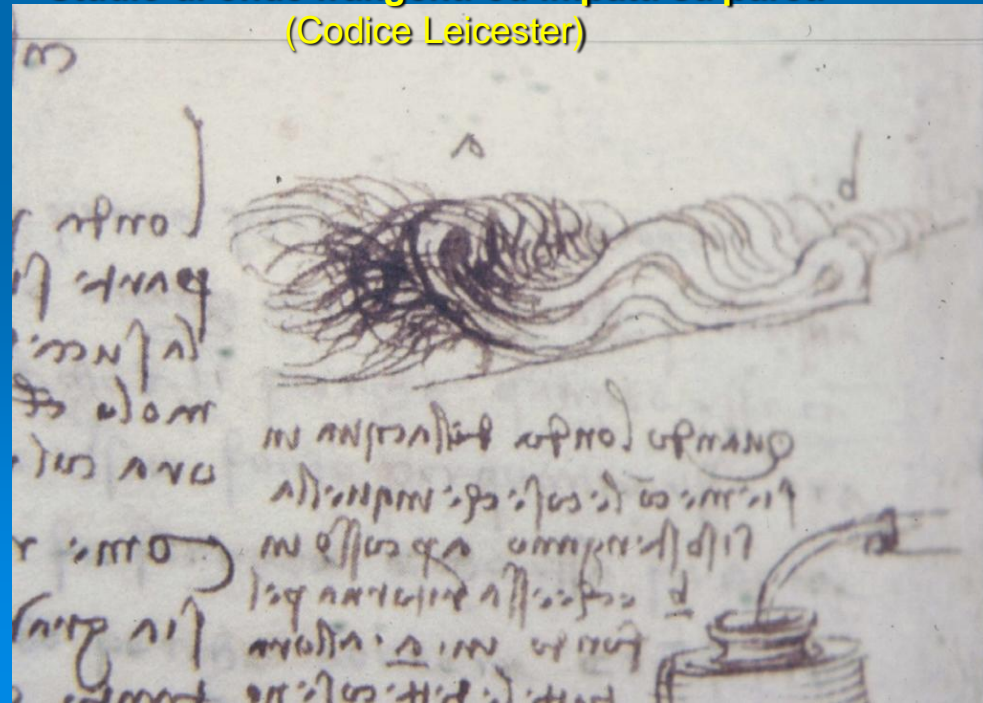
Fig. 27. Veduta di porto a spirale con moli bastionati, f. 25v.

Prima teoria delle onde (progressive)

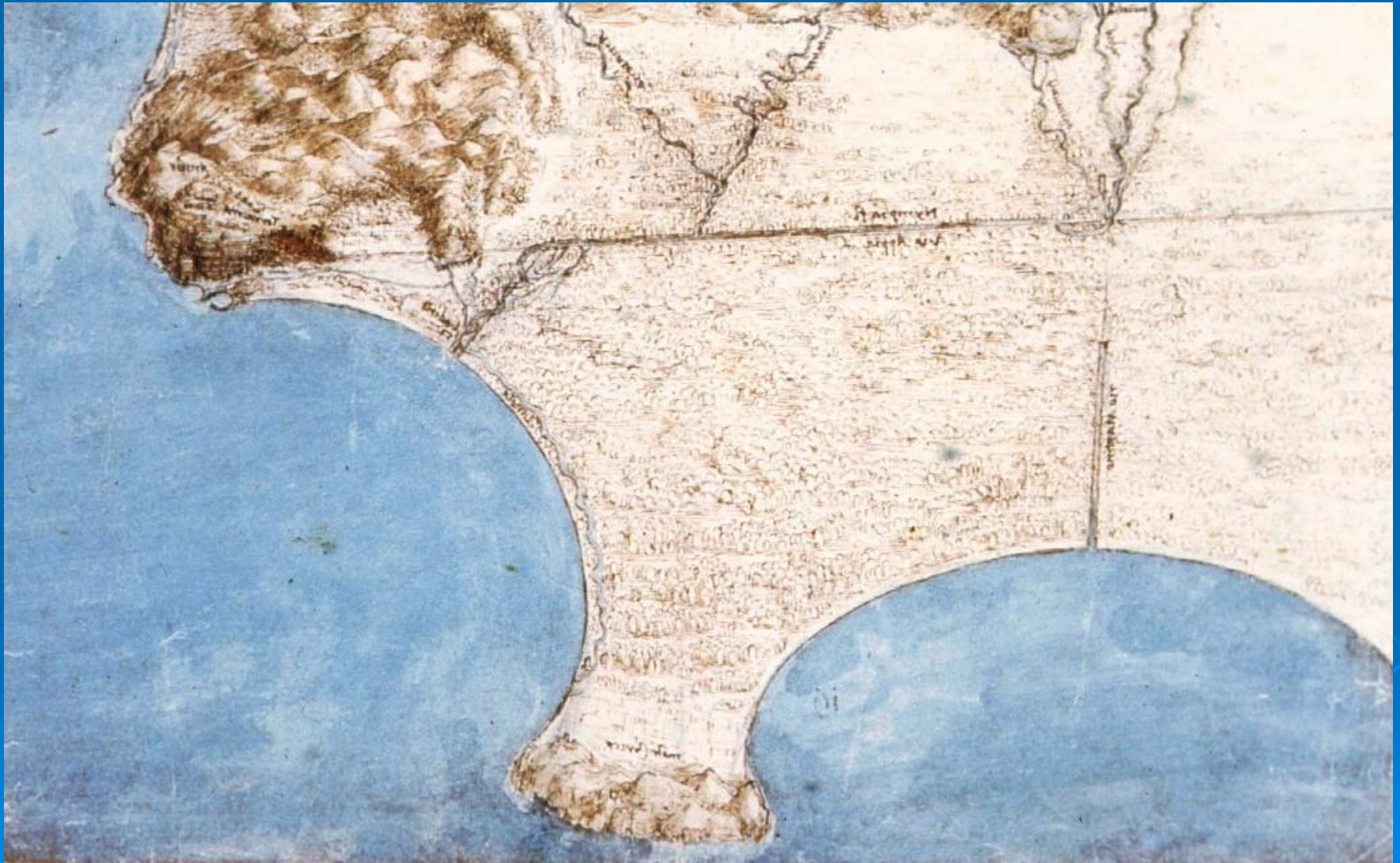
“L’impeto è molto più veloce che l’acqua, perché molte sono le volte che l’onda fugge il locho della sua creatione, e l’acqua non si muove de sito, a similitudine delle onde fatte il maggio nelle biade dal corso de venti, che si vede correre l’onde per le campagne, e le biade non si mutano di lor sito”



Studio di onde frangenti ed impatti su pareti (Codice Leicester)



**«l'arena obbedisce alle torture, ovvero alle
circolazioni de' ritrosi dell'acqua»**





Prima conca a Viareggio (MI) ,1438 degli ingg. Fioravante da Bologna e Filippo degli Organi per la *Fabbrica del Duomo* attiva fino al 1936 !
(38 x 6,2 x 3,0 m)

Porte vinciane per conche di navigazione (Brighton marina, UK)



Ponte-canale del Naviglio Piccolo

*“il gran peso della barca che passa per il fiume sostenuto dall’arco del ponte, non cresce peso ad esso ponte perché la barca pesa di punto quanto il peso che tale barca caccia dal suo sito”
(codice Atlantico)*

Macchine ed attrezzature per lavori marittimi

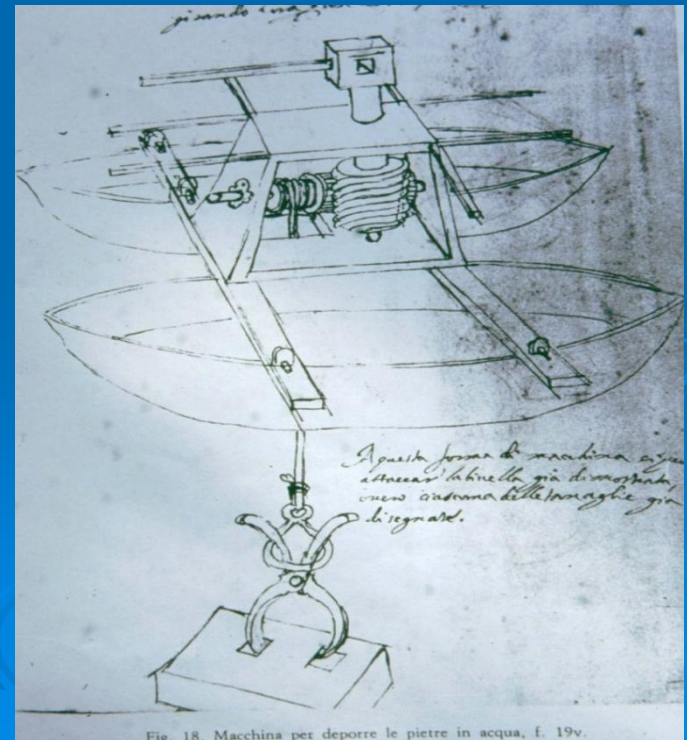
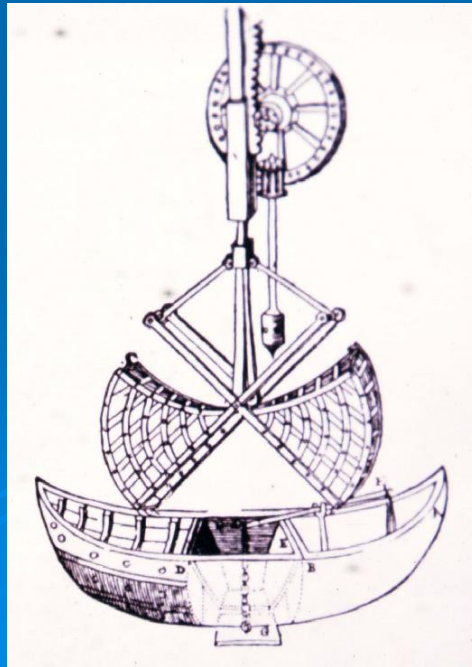
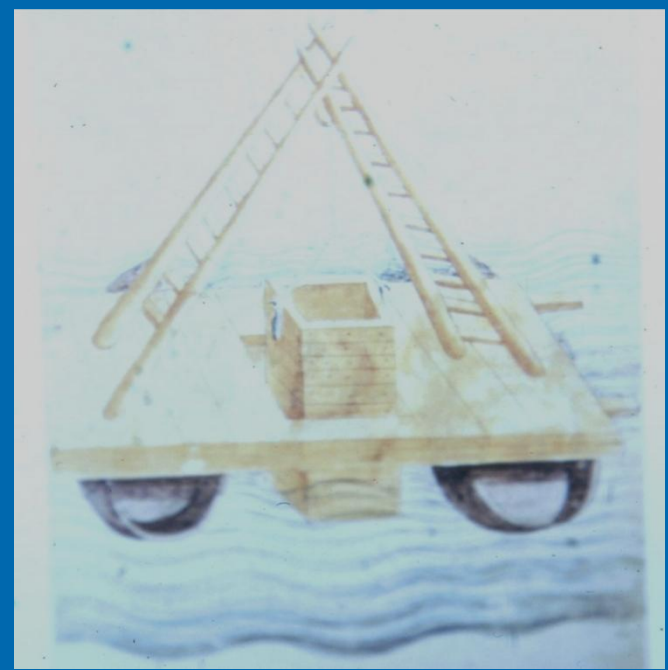
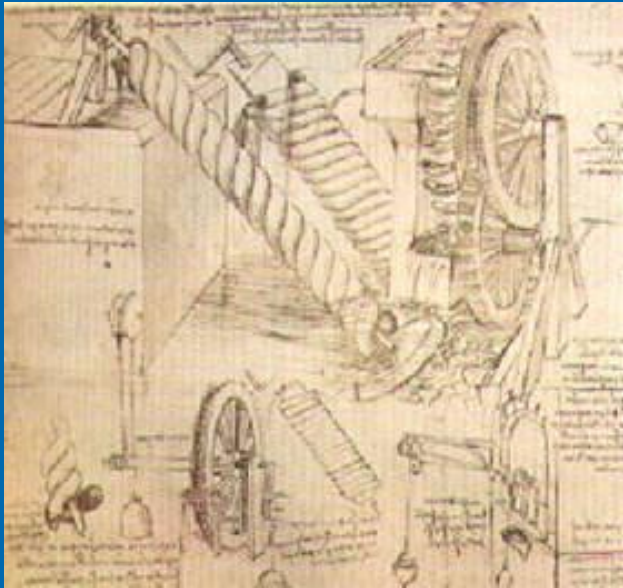
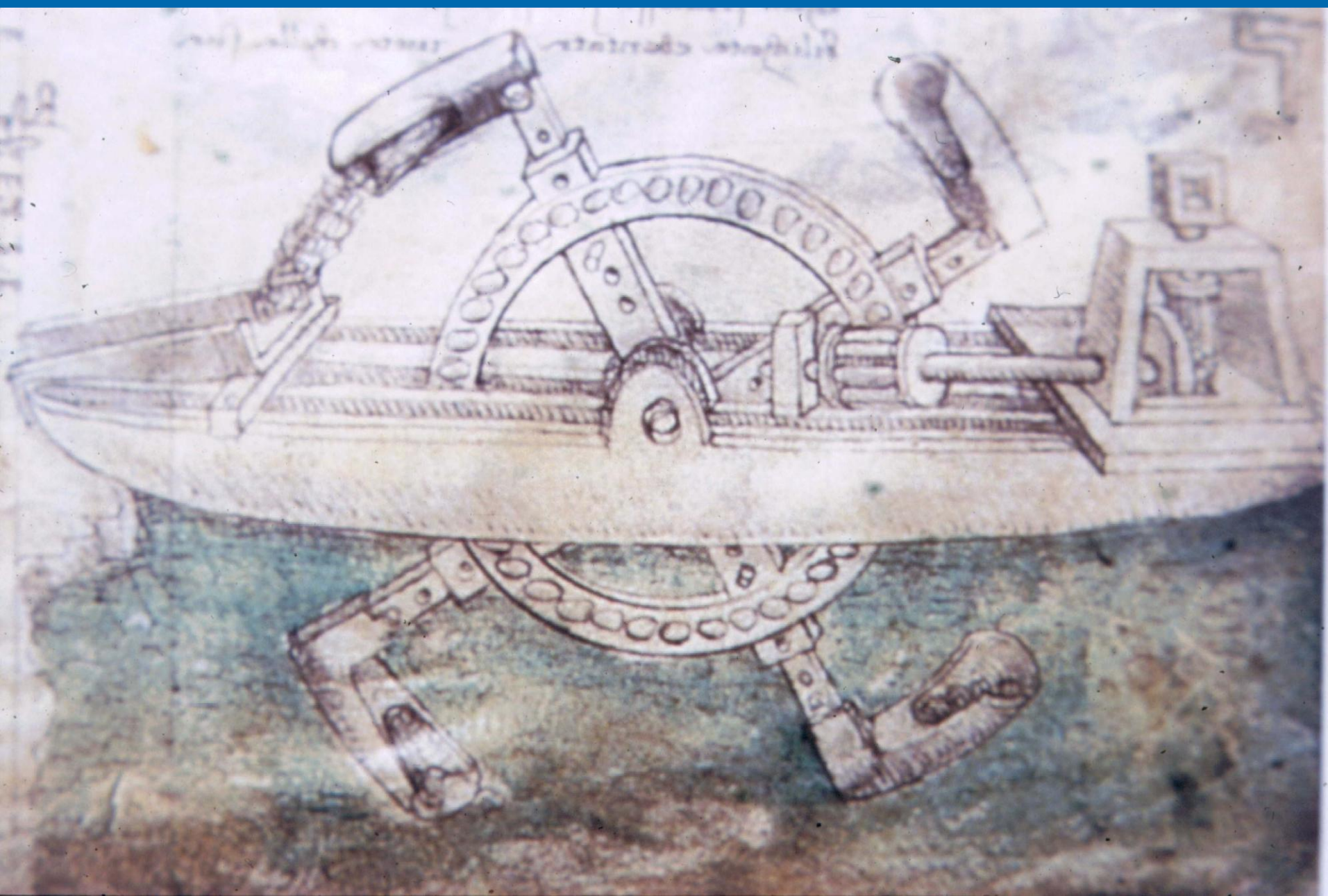
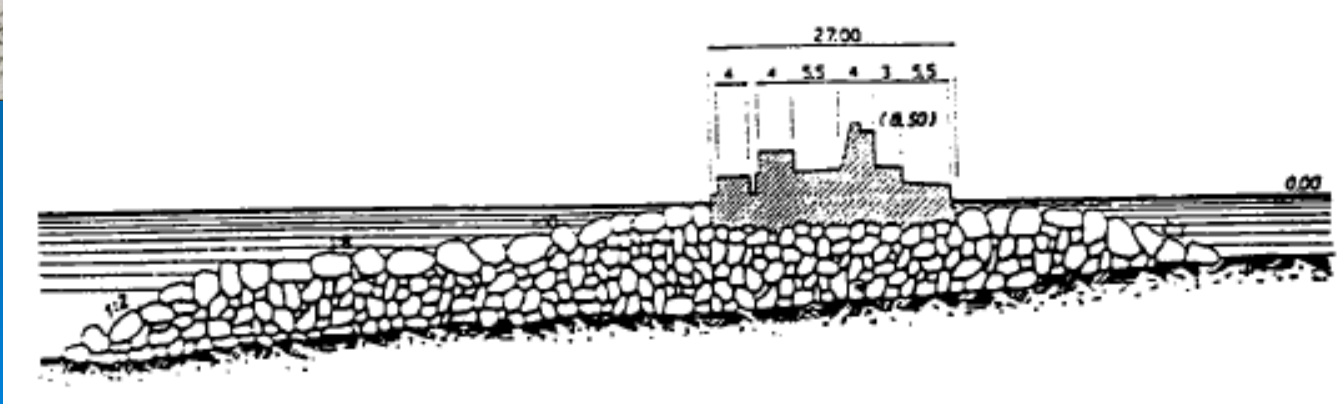
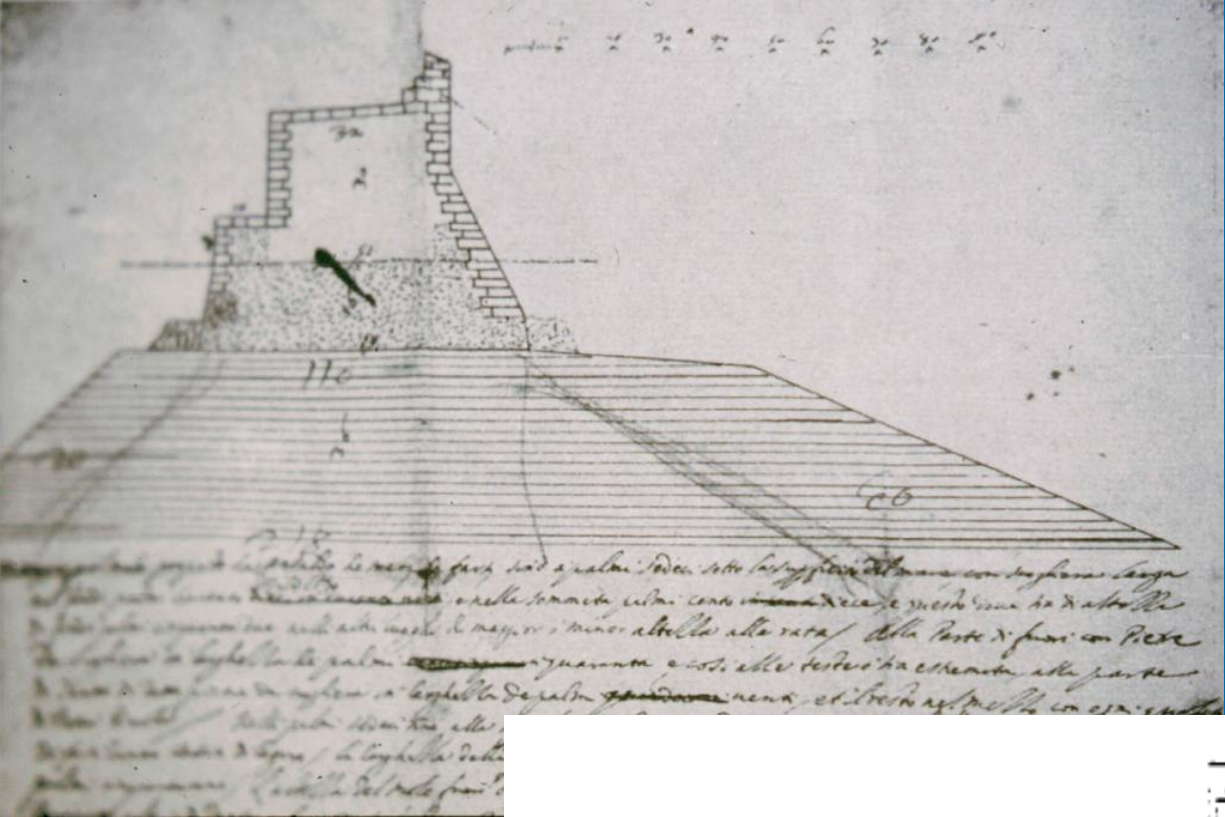


Fig. 18. Macchina per deporre le pietre in acqua, f. 19v.

La prima draga inventata da un ingegnere genovese (Di Giorgio 1475)



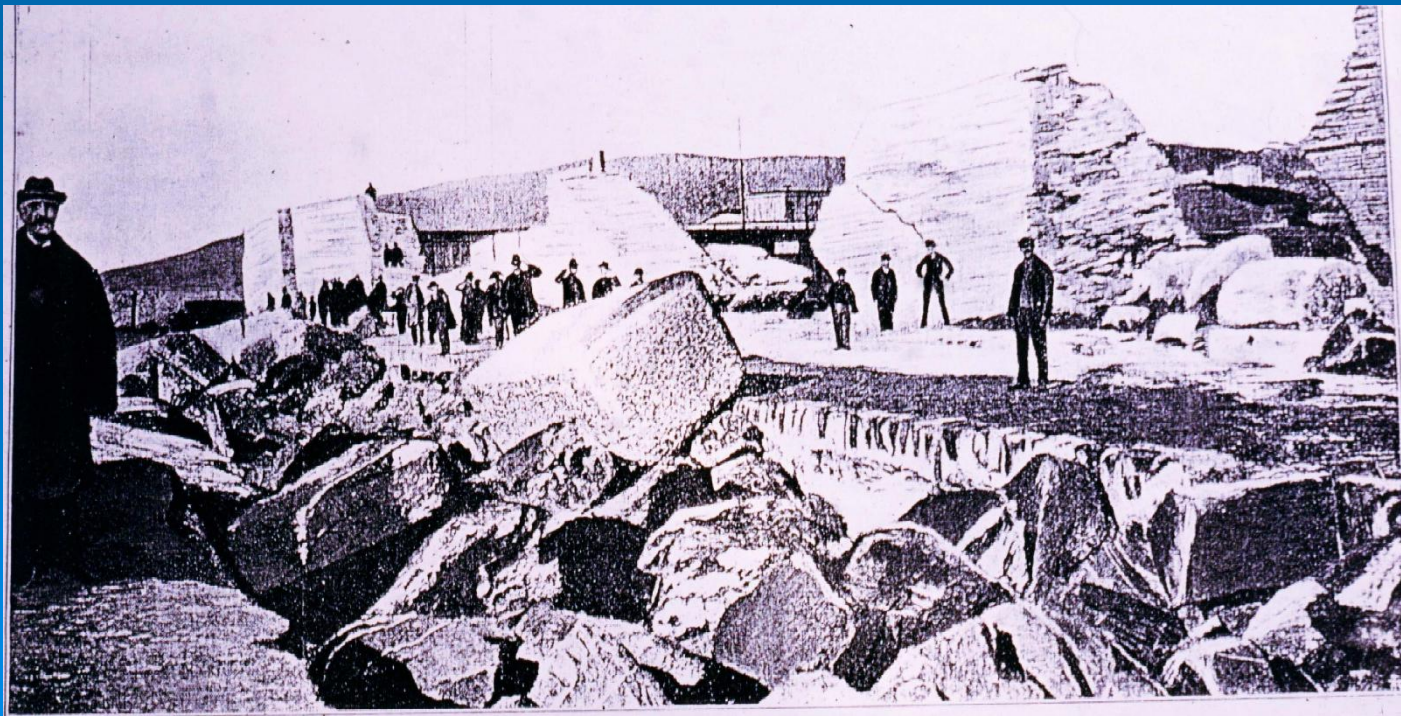
Diga composta verticale per il porto di Genova (Mari,1632)



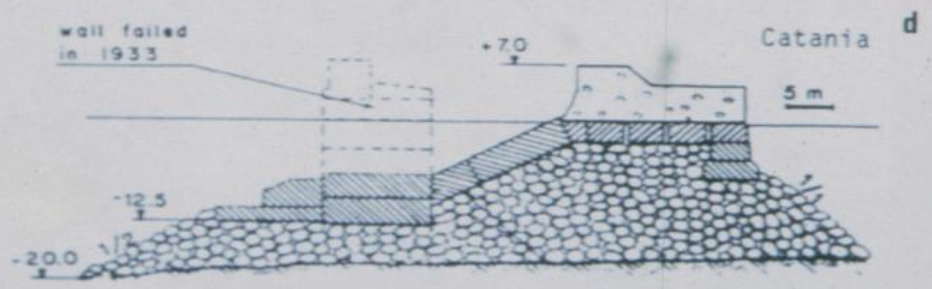
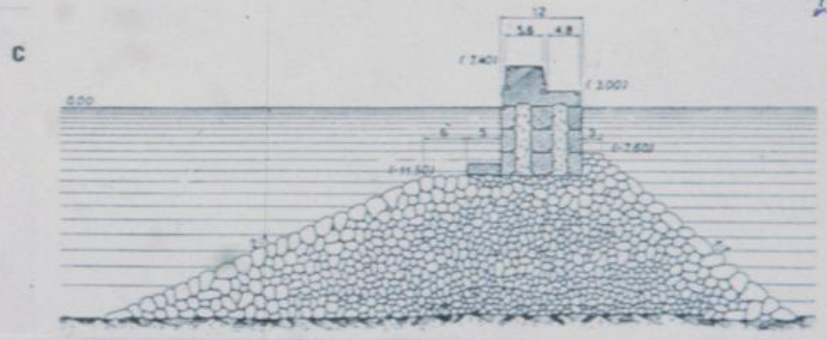
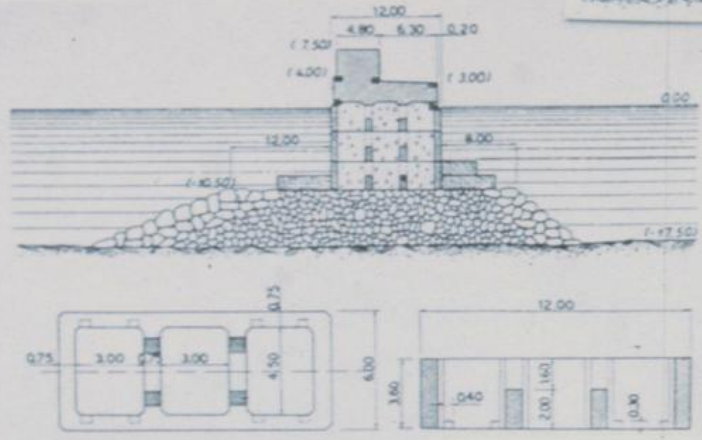
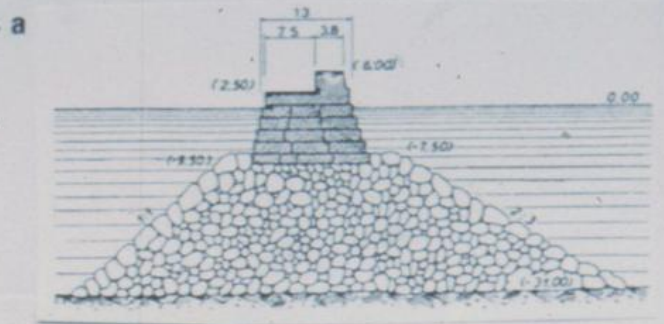
Crescentio (1607) sulla diga di Civitavecchia "a pietre perdute" raccomandava alta porosità



Molo Galliera dopo la mareggiata del 1898



**Evoluzione delle dighe a parete nel 20° secolo
(nuovi criteri PIANC 1935)**



Prime applicazioni della tecnologia dei moderni cassoni ad Alghero (1915) e Civitavecchia (1935)

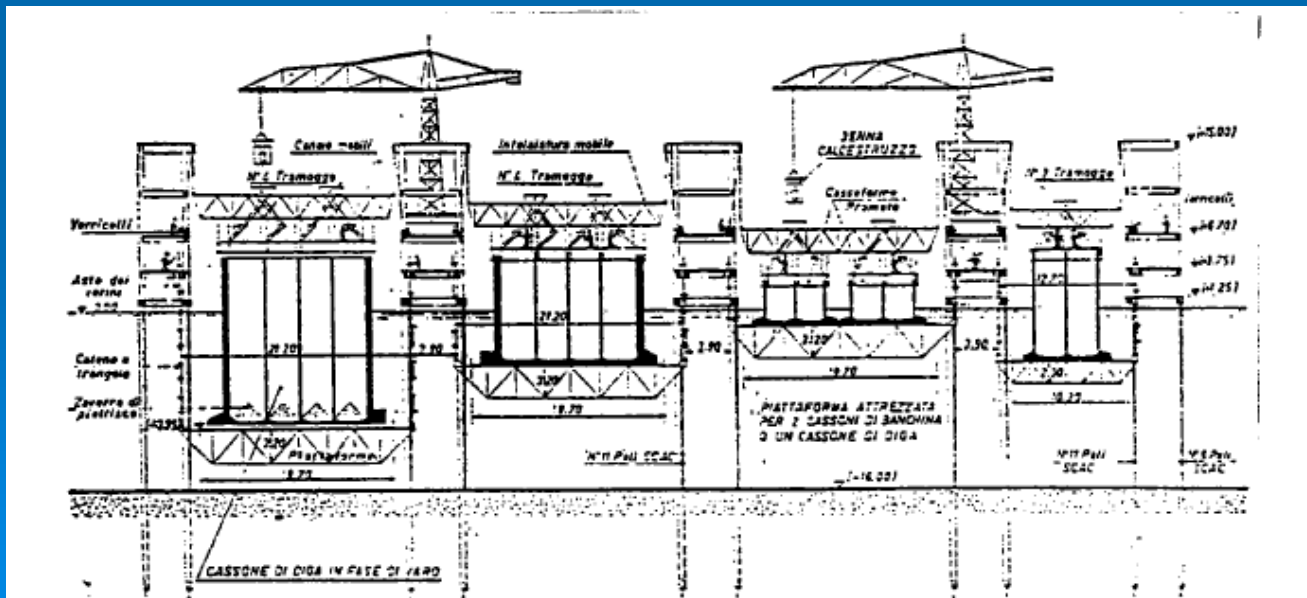
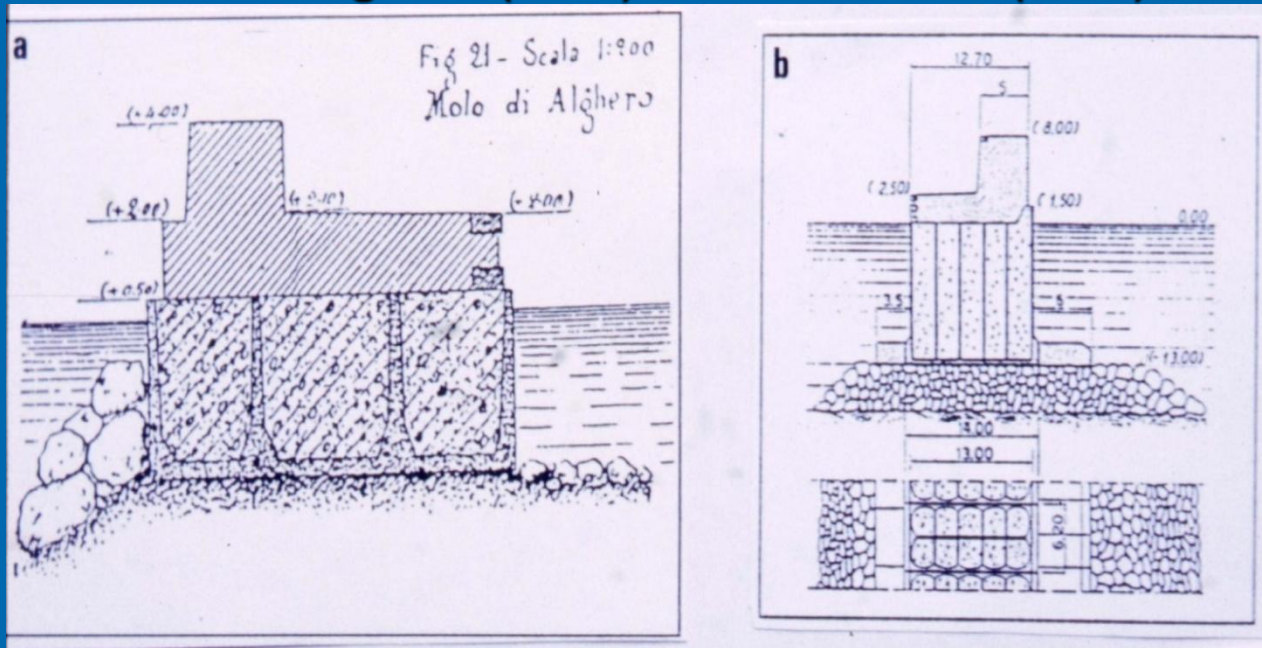
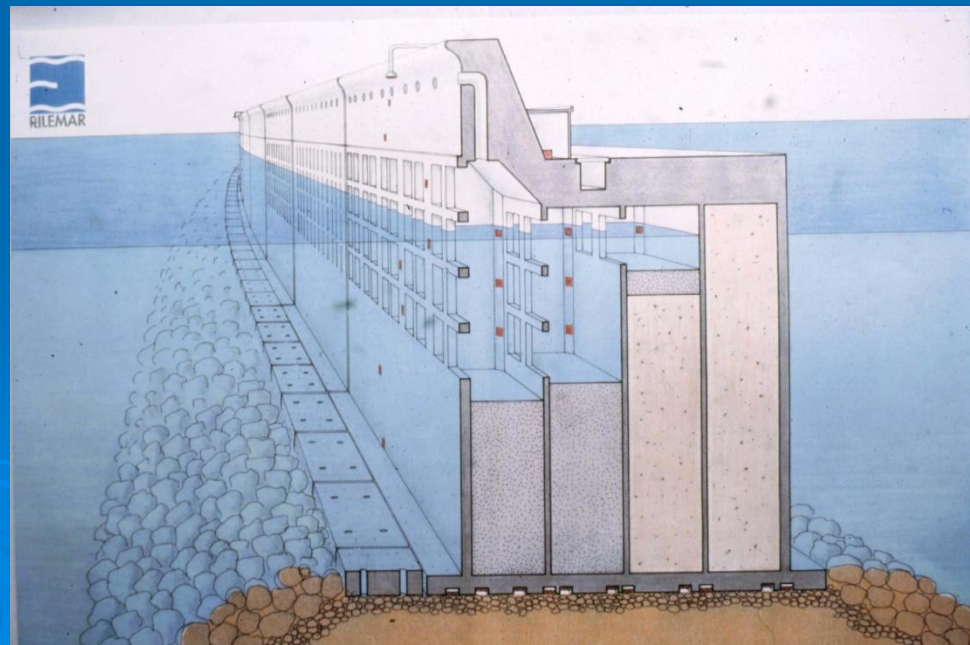
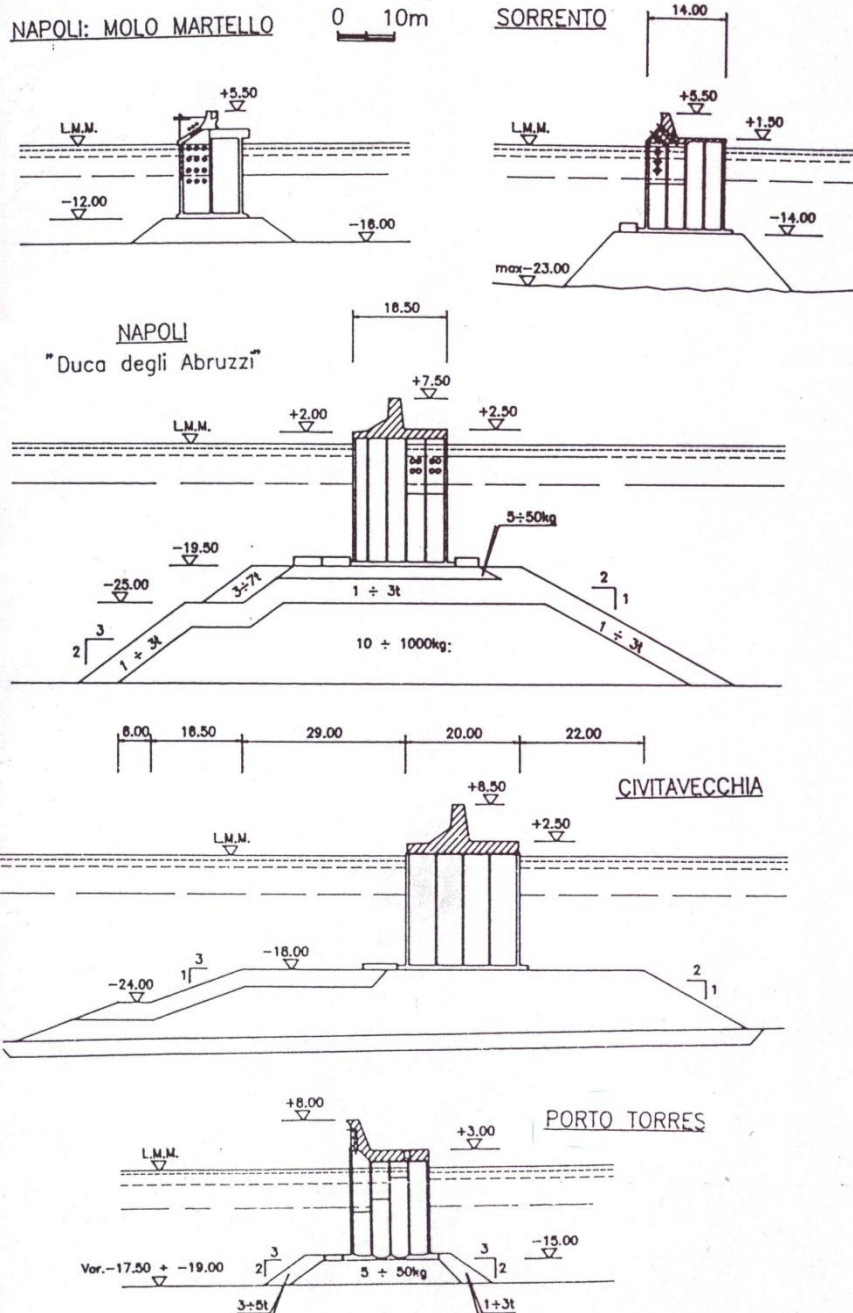


Fig.36 The first fixed caisson construction yard at Ponte Canepa, Genoa

Nuove dighe a cassoni in Italia

Cassone forato a Porto Torres (1990)

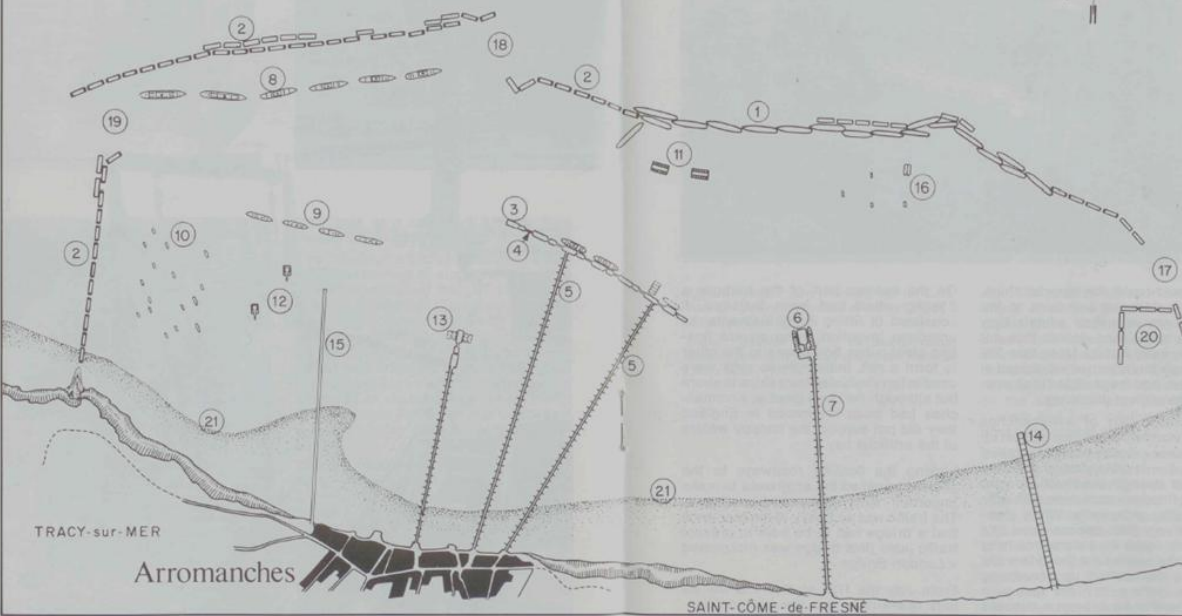


Plan of the harbour

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Blockships | 12. Floating cranes |
| 2. Phoenix caissons | 13. Barge quay |
| 3. Floating Pierheads | 14. Rhino Ferry wharf |
| 4. Intermediate quay | 15. Canvas floating road named « Swiss Roll » |
| 5. Floating roadways | 16. Mooring zone for small landing crafts |
| 6. LST quay | 17. Eastern entrance |
| 7. Reinforced roadway | 18. Northern entrance |
| 8. Liberty ship mooring zone | 19. Western entrance |
| 9. Anchoring zone for coasters | 20. Shelter zone for tenders |
| 10. Mooring for coastal forces | 21. Low water limit |
| 11. Floating docks | 22. Rows of Bombardons (not shown on plan) |

(Plan Heimdal.)

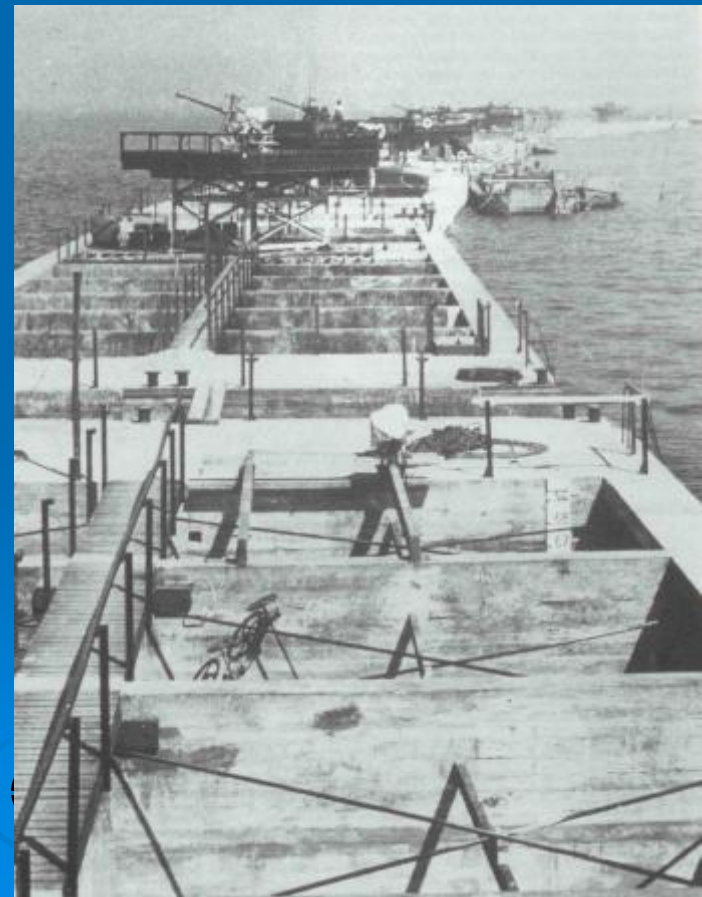
0 500



**Sbarco in Normandia 1944 :
Mulberry harbour con cassoni
(museo di Arromanches)**

Below : Phœnix caisson leaving England. (Copyright Arromanches Museum.)

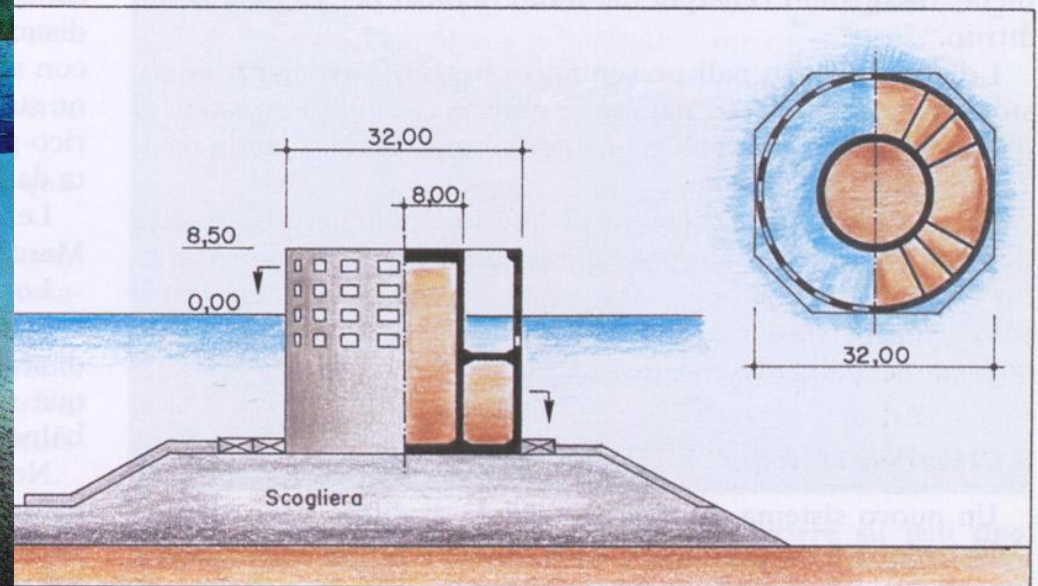
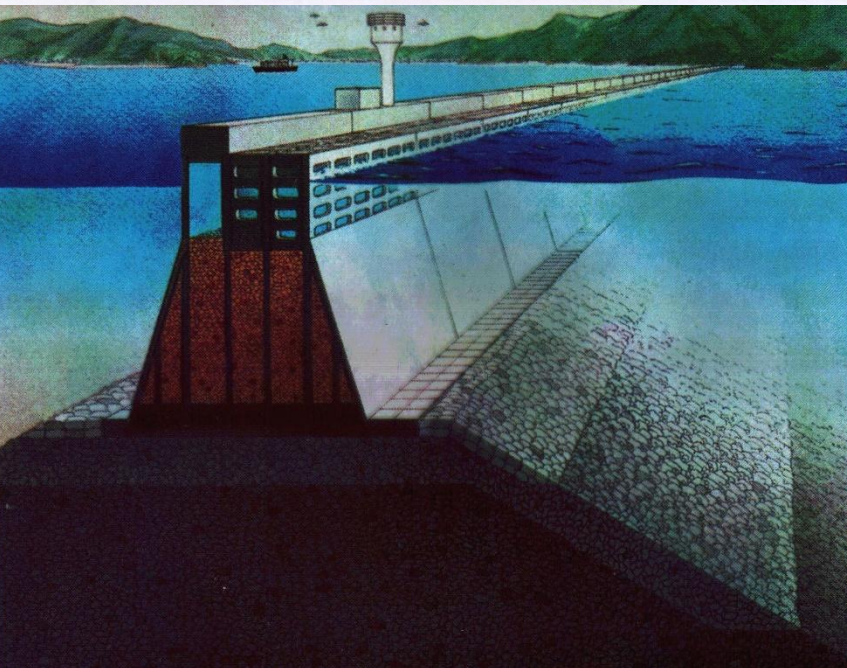
1



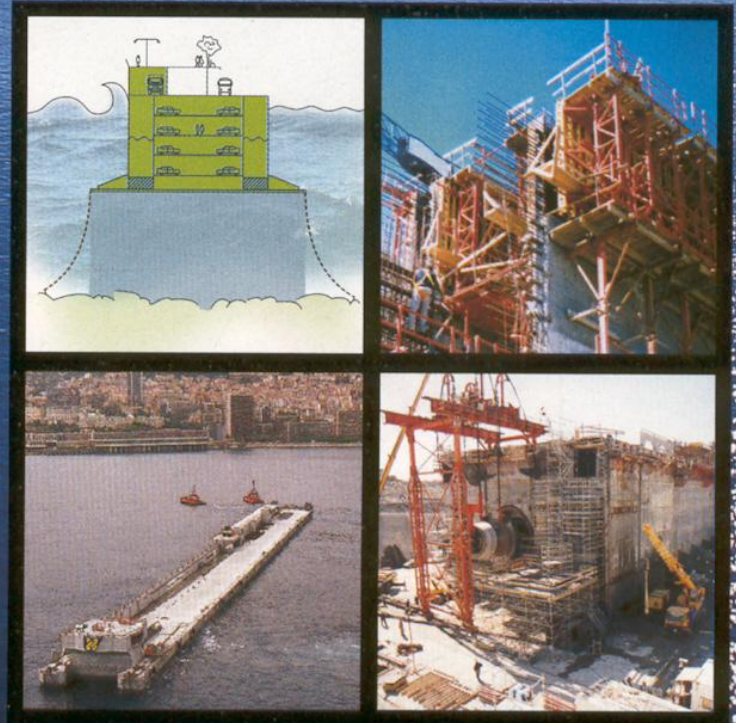
Arromanches (Normandia): cassoni per il D-Day 1944



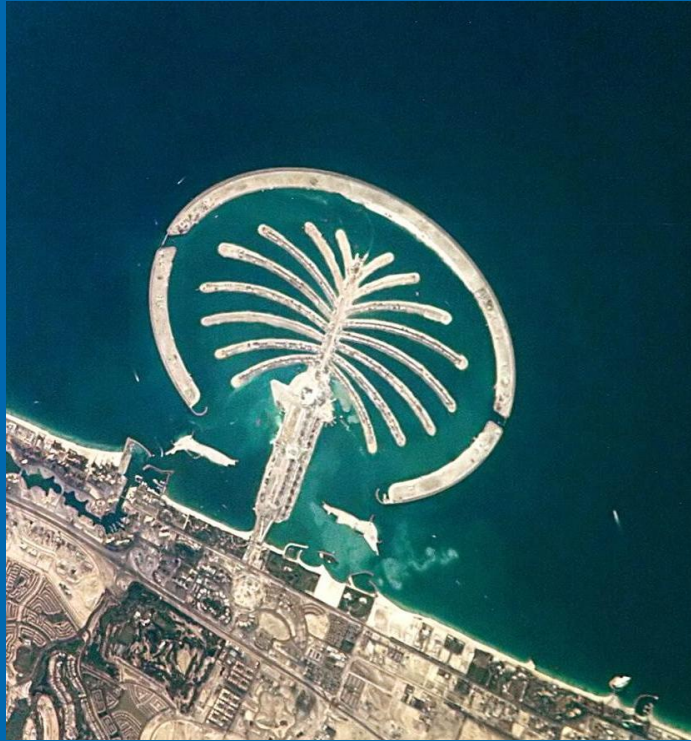
Dighe giapponesi a cassone



Diga galleggiante a cassone precompresso a Montecarlo



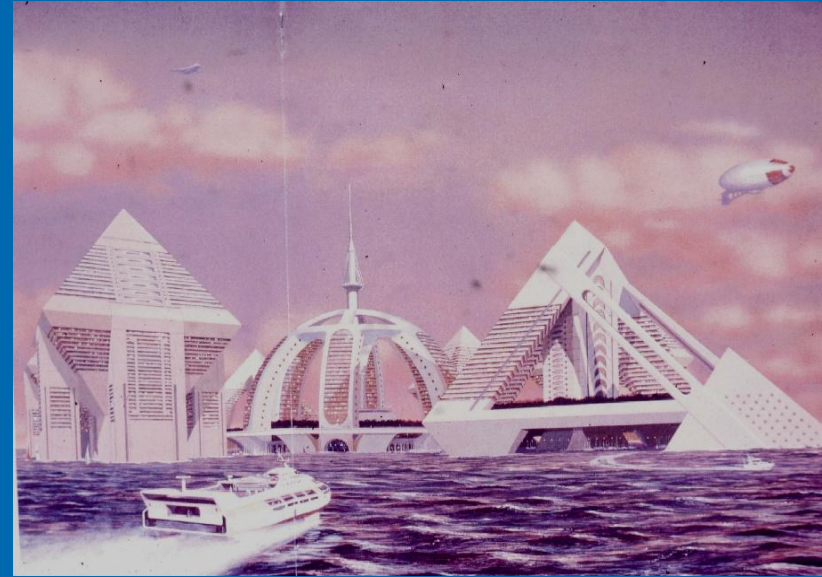
Avveniristiche realizzazioni di ingegneria marittima negli Emirati



Lilypad, città galleggianti per rifugio dai cambiamenti climatici (arch. Jorge Chapa)



Futuri sviluppi dell'ingegneria marittima





Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma



**Grazie per
l'attenzione**

Ciclone tropicale a Zanzibar

**“Veleggiando senza vento”
Lago di Bracciano**



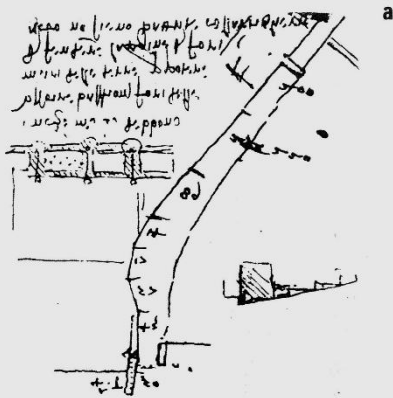
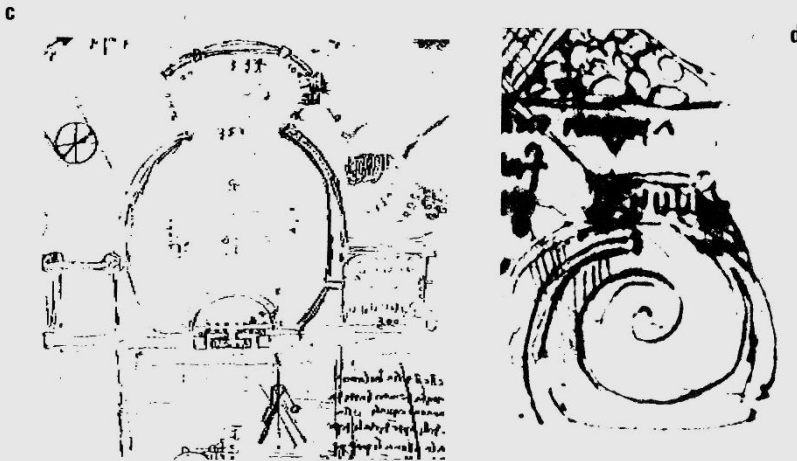
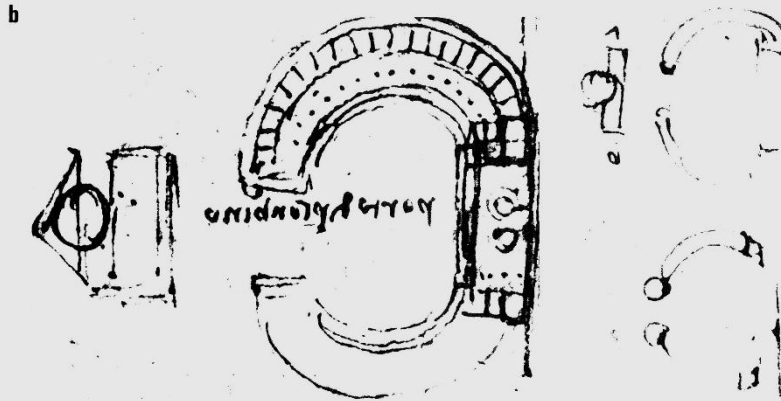


Fig.24 Leonardo's drawings of harbours:
 a) Cesenatico (Codex L, folio 66 verso)
 b) Piombino (Codex Madrid II, f.88 v)
 c) Civitavecchia (Codex Atlanticus, f. 271r)
 d) Spiral planshape (C. Atlanticus, f.285 r)



«siccome le calze che vestono le gambe dimostrano di fuori quello che dentro a sé nascondono, così la superficie dell'acqua dimostra la qualità del suo fondo» (SHOALING)

