

Storia dell'Ingegneria Marittima in Italia

Introduzione

La penisola italiana si proietta come un grande molo nel mezzo del mar Mediterraneo. La strategica posizione geografica, lo sviluppo costiero di circa 7500 km ed una lunghissima storia di civilizzazione umana (con difficili comunicazioni interne per divisioni sia geografiche che politiche) possono spiegare l'importanza rivestita dall'ingegneria marittima e costiera nel nostro paese sin dall'antichità.

In particolare l'Italia e pochi altri paesi del Mediterraneo detengono il prezioso patrimonio dei porti antichi, i cui trascurati resti potrebbero essere opportunamente preservati e valorizzati in "parchi archeologici costieri" incrementando l'offerta turistico-culturale (Franco, 1997). Peraltro lo studio dell'evoluzione storica dell'ingegneria costiera può ancora costituire un utile bagaglio di conoscenze per i moderni progettisti di opere marittime, in considerazione delle soluzioni tecnologicamente avanzate e ben armonizzate con l'ambiente adottate già nel lontano passato.

In questa memoria vengono descritti brevemente i principali contributi tecnico-scientifici forniti dal nostro paese al progresso globale di questa disciplina in un arco di tempo di quasi 3000 anni (suddiviso in tre "Età").

Una più ampia rassegna in lingua inglese è fornita da Franco, 1996.



Fig. 1 – Suddivisione dei mari e delle coste italiane con ubicazione di località e porti citati nel testo

Quale "introduzione geografica" la fig. 1 mostra la suddivisione dei mari e delle coste d'Italia (con il 45% di spiagge basse, di cui un terzo in erosione) con l'ubicazione di alcune città e porti cui si fa riferimento.

Da sottolineare la piccola escursione di marea, le deboli correnti e le ripide onde multidirezionali che caratterizzano i regimi meteomarini italiani.

Età antica

La nascita dell'ingegneria costiera e portuale avvenne nell'epoca classica insieme allo sviluppo della navigazio-

do per convogliare le creste d'onda in un serbatoio a quota superiore per il successivo rilascio nel porto (fig.2). Questi ingegnosi dispositivi sono oggi riproposti per migliorare la qualità dell'acqua nei porti turistici.

Per ridurre gli effetti della tracimazione ondosa sulle pareti delle coste alte e sulle dighe portuali i fenici scavarono fosse e trincee nella roccia, drenando l'acqua raccolta e utilizzando il materiale scavato per la costruzione delle opere. Talvolta l'ammasso roccioso veniva opportunamente sagomato ricavando una banchina sul lato protetto ed un muro paraonde lato mare. Questi concetti furono applicati anche dai Romani per "scolpire" nel tufo il bel molo del porto di Pandataria, oggi Ventotene (fig. 3); il sistema del canale di drenaggio è stato ripreso in progetti moderni (Cavani et al. 1999).

I moli fenici erano anche realizzati con massi sovrapposti a formare pareti verticali perimetrali, poi riempite all'interno con materiale arido assortito. I blocchi parallelepipedi di pietra erano disposti ben affiancati con il lato lungo

ortogonale al filo banchina in modo da ottenere il massimo attrito e superare il problema del sifonamento dell'acqua a tergo (Raban,1988). I massi non erano collegati con malta, ma con grappe di piombo a coda di rondine.

Le colonie fenicie occidentali assunsero poi il potere navale nel Mediterraneo sotto la guida di Cartagine (750-146 a.C.). La caratteristica peculiare dei porti Cartaginesi (e poi anche di quelli Etruschi) è il cosiddetto "cothon", un bacino interno generalmente scavato nell'entroterra, destinato alla flotta locale od alla flotta militare od anche alle attività di carenaggio. Tra gli esempi più belli ed ancora visibili sono il porto di Mozia in Sicilia e quello di Cartagine in Tunisia. A Mozia il cothon avrebbe potuto essere chiudibile per essere prosciugato ed usato come bacino di carenaggio.

Resti portuali di origine greca si possono invece osservare presso Tarquinia, ove nel V° secolo a.C. si sviluppò il porto di Gravisca. Qui è ancora emergente una banchina con testata semicircolare di diametro 17 m, nota come Molo Cle-



Fig. 4 – L'autore all'imboccatura del cothon di Mozia con visibili resti di banchine a massi



Fig. 5 – Trascurati resti del "molo Clementino" di origine greca a Gravisca, Tarquinia



Fig. 6 – La “Tagliata” etrusca, canale di drenaggio dell’antico porto di Cosa (Ansedonia) perfettamente scavato nella roccia

mentino. Ha la base su una fondazione di pietrame a quota -1.8 m ed è orlata da una serie di grandi massi squadrati di travertino (2.0x0.7x0.7 m) sagomati “a coda di rondine”, la cui solidità è incrementata da 4 diatoni (massi-chiave a T da 1.5 t) con linee di forza convergenti al centro della testata (fig. 5).

Nel IV-III sec. a.C. gli Etruschi costruirono nuovi porti, poi riutilizzati dai Romani, dei quali si trovano numerosi resti a nord di Roma. In particolare ad Ansedonia (antica Cosa) sopravvive un affascinante canale ben scavato nella roccia, detto Tagliata (lungo 70 m e largo 2-4 m, parte in galleria), attrezzato con paratoie di regolazione dei flussi

mareali, utili per forzare le correnti nel porto. I frangiflutti greci ed etruschi erano tipicamente realizzati con massi naturali gettati alla rinfusa.

Dal punto di vista urbanistico si può osservare che i porti greci sono ancora parte integrante della città, mentre durante l’impero Romano il porto diviene un’infrastruttura indipendente con i suoi edifici e magazzini (*horrea*).

Ma l’innovazione rivoluzionaria dell’ingegneria marittima introdotta dai Romani (II a.C.-V d.C.) fu la scoperta del cemento idraulico di tipo pozzolanico. Poterono così costruire strutture monolitiche subacquee (*opus piliarum*) e dighe di geometria arbitraria, anche curvilinea, a difesa di porti totalmente esterni, sopravvissute in buone condizioni per oltre 2000 anni.

Pertanto i Romani non seguivano uno standard fisso, ma adattarono alle specifiche condizioni geotecniche e meteorologiche e di disponibilità di materiali una grande varietà di soluzioni progettuali ed esecutive. Svilupparono inoltre avanzate macchine da cantiere (gru, pompe, battipali, etc.). Su fondali duri si regolarizzava la base con uno strato di pietrame, mentre sulla sabbia si scavava (generalmente all’asciutto) una fossa poco più larga della struttura poi riempita con massi.

Su fondali fangosi, secondo Vitruvio, i Romani infiggevano numerosi e corti pali di legno a sezione quadrata di lato 0.45 m con punta bruciata e riempivano gli interstizi di carbone (fig. 7). La fig. 7 mostra anche l’interessante sistema usato per “impermeabilizzare” il cantiere

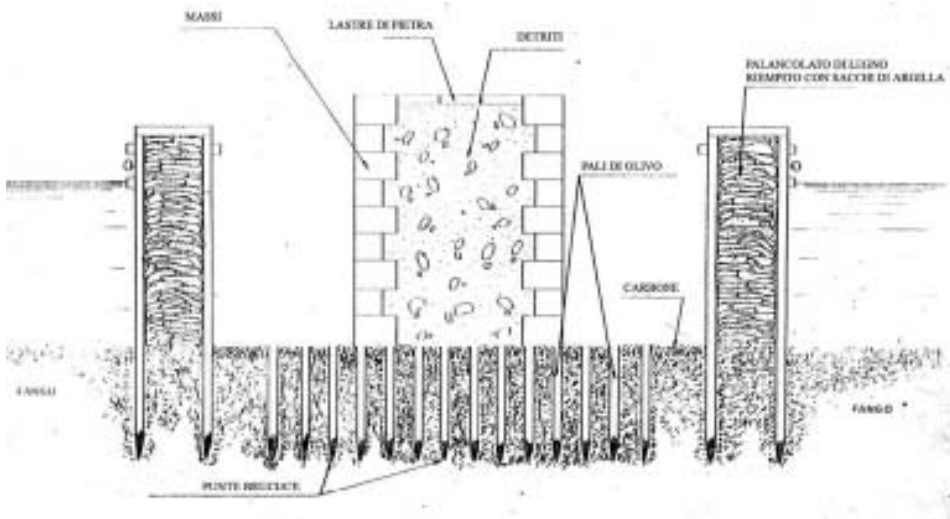


Fig. 7 – Costruzione di una diga verticale romana in siti esposti su fondali fangosi secondo Vitruvio

con doppie palancole di pali accostati intirantate e riempite di sacchi d'argilla per uno spessore di 1,5 m.

Comunque, la tecnica costruttiva più comune in paraggi poco esposti prevedeva la pulizia del fondo marino ed il getto di una miscela di cemento, pozzolana e cocci dentro casseforme di legno (*arcae*) fondate su pali infissi (*destinae*) e legate con tiranti (*catenae*), con successiva posa della sovrastruttura per una larghezza di circa 6 m (fig. 8).

Talvolta, invece, si usava una vecchia nave come cassero a perdere, risparmiando così tempo e materiale. Un noto esempio è la diga di Portus (Ostia) costruita sotto Claudio (50 d.C.) ed ottenuta affondando col calcestruzzo la grande nave lignea di Caligola (104 m, 7400 DWT) che aveva trasportato dall'Egitto l'obelisco Vaticano. Persino la moderna tecnica dei cassoni cellulari

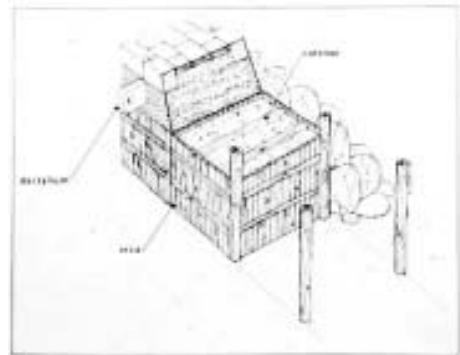


Fig. 8 – a) Costruzione di diga frangiflutti romana in siti poco esposti secondo Vitruvio (da Clementi); b) il molo di Gianola (Gaeta)

galleggianti fu sperimentata con successo dagli ingegneri romani per la costruzione di dighe in acqua profonda, come quella imponente (larga 60 m) del porto di Cesarea (Israele), costruito da Erode il Grande nel 18 a.C.

La struttura esterna era costituita da due vicine pareti di legno tra le quali era gettata una malta idraulica che con il suo peso faceva affondare il cassone sul pietrame di fondazione. Le celle piene d'acqua venivano poi riempite di calcestruzzo (Hohfelder 1987). Il recente progetto di scavi a Cesarea ha anche rivelato la presenza di un secondo frangiflutti sommerso, circa 20-30 m al largo del principale, destinato alla riduzione delle sollecitazioni ondose. Anche questa soluzione della "diga-tandem" è stata riproposta in progetti moderni.

Un'altro tipo particolare di molo romano a parete verticale era la "diga ad archi", seguendo i criteri architettonici ed esecutivi sperimentati con successo nei ponti ed acquedotti. Il monumentale molo di Pozzuoli era adornato di colonne e costituiva una prestigiosa passeggiata sul mare. Era lungo 372 m e si appoggiava su 15 pile larghe 16 m fino ad una massima profondità di 16 m come indicato dai rilievi del De Fazio nel 1814. A Miseno pare vi fossero addirittura due file di archi paralleli e sfalsati per assicurare maggior protezione dalle onde pur favorendo la circolazione idrica nel porto. Il molo ad archi risulta peraltro inadeguato per l'eccessiva penetrazione ondosa e per l'insabbiamento.

Il complesso portuale più grande dell'epoca imperiale fu comunque quello di Portus (Ostia), il Porto di Roma alla foce del Tevere (Testaguzza, 1970). I resti si trovano oggi interrati a 4 km dal mare, in gran parte sepolti sotto l'aeroporto di Fiumicino (il porto esterno di Claudio) ed all'interno di una proprietà privata (il bel bacino interno di forma esagonale costruito più tardi da Traiano) (fig. 9).

Traiano (100 d.C.) fece poi costruire i porti di Terracina e Centumcellae (Civitavecchia). Il primo fu scavato alla foce di un corso d'acqua e le banchine d'ormeggio sono ancora visibili lungo il bel perimetro circolare. Il porto di Centumcellae fu inizialmente costruito come approdo privato della propria villa imperiale, ma dopo il declino di Portus divenne il porto di Roma e rimase immutato per oltre 1000 anni. La Darsena Romana, ancora in uso, fu dra-



Fig. 9 – Il grande complesso portuale di Roma a Portus-Ostia in un dipinto

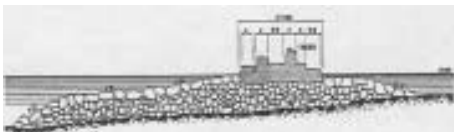


Fig. 10 – Sezione dell'antemurale del porto traiano di Civitavecchia

gata nella roccia (200.000 m³), che fu poi impiegata per la costruzione dei moli frangiflutti. L'antemurale a scogliera è stata rifiorita e rimodellata dal mare nei secoli raggiungendo un efficace profilo a debole pendenza secondo i moderni canoni progettuali (fig. 10).

Lo schema planimetrico del porto di Centumcellae (simile a quelli di Astura e forse di Portus mostrato in fig.8) era quello tipicamente romano "a moli convergenti con antemurale", per ridurre la penetrazione ondososa, creare una doppia imboccatura e talvolta sostenere il faro al centro della diga-isola.

Peraltro la pianta portuale più moderna ed efficiente si ritrova nell'affascinante e ben conservato porto augusteo di Ventotene, quasi speculare a quella del nuovo porto di Gioia Tauro: l'avamposto con spiaggia d'alaggio assorbente affacciata all'imboccatura ed il bacino d'ormeggio laterale sono ancora utilizzati nella loro forma originale. L'antico porto di Ventotene è di fatto un'imponente scultura, tutta scavata nella scura roccia tufacea : circa 60.000 mc per ricavare artificialmente un bacino di 7000 mq, profondo 3 m (fig. 11).



Fig. 11 – Il porto Romano di Ventotene

Età moderna

Dopo il declino dell'impero romano a causa delle invasioni barbariche (V secolo d.C.), ci fu un lungo "blackout" nello sviluppo della civiltà umana fino intorno al 1000 d.C. Il pericolo di attacchi da mare dei pirati saraceni causò l'abbandono delle coste e dei porti, molti dei quali si interrirono.

Una delle poche zone costiere abitate era la laguna di Venezia, sui cui isolotti si insediò una comunità autonoma per proteggersi dai barbari. I primi rapporti scritti sui locali lavori di difesa costiera risalgono all'anno 537: le dune di sabbia naturali venivano rinforzate con argini di terra protetti con fascine di vimini. Successivamente le fascinate elastiche ma fragili furono sostituite da rivestimenti in pietrame contenuti da palificate di legno ("paleselle", fig. 12).

Nonostante la limitata durabilità dei pali di legno e la lunga distanza di trasporto della roccia, questa tipologia fu impiegata a Venezia fino al 1700 non solo per le tradizionali opere radenti longitudinali, ma anche per i primi pennelli trasversali della storia (chiamati "speroni"), con il duplice obiettivo di difendere i lidi dall'erosione e le bocche lagunari dall'insabbiamento (Grillo, 1989). L'importanza dei problemi



Fig. 12 – Prime opere radenti con "paleselle" per la difesa dei lidi di Venezia

legati alla protezione della laguna e dei lidi ed alla navigazione fece creare nel 1501 una speciale “Autorità Idraulica” (il *Magistrato alle Acque*) composta da esperti eletti. A causa degli alti costi di manutenzione delle tradizionali opere di difesa costiera, nel 18°sec. il Magistrato promosse la sperimentazione di soluzioni innovative, a rischio degli stessi progettisti ed imprenditori proponenti il cui compenso era subordinato alla provata efficacia dell’opera. Tra queste vi erano: rivestimenti a scogliera o con fasce metalliche, gabbioni, muri a blocchi regolari, elementi vari atti ad aumentare la scabrezza della parete inclinata, e persino il ripascimento artificiale con sabbia prelevata dal fondo marino (proprio come nel recente progetto di protezione delle spiagge di Cavallino e Pellestrina). Infine nel 1743 fu approvato il progetto di un massiccio muro di sponda presentato dal matematico Zendrini: il cosiddetto *murazzo* è costituito da un rivestimento inclinato di blocchi squadrate di pietra d’Istria sostenuto al piede ed in cresta da muri massicci verticali con una larghezza media di 12 m (fig. 13).

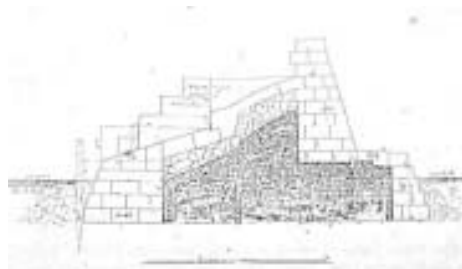


Fig. 13 – Sezioni del “murazzo” veneziano nell’originale disegno di Zendrini (1743)

L’innovazione tecnologica era rappresentata dall’uso della malta di cemento pozzolanico quale legante tra i blocchi al posto delle palificate lignee. I murazzi furono costruiti in 40 anni su un tratto litoraneo di 20 km e sono sopravvissuti fino ad oggi (con recenti interventi di rinforzo), diventando un monumento veneziano ed una “pietra miliare” dell’Ingegneria Costiera.

All’esterno di Venezia l’età moderna fu caratterizzata da una nuova integrazione tra città e porti, anche per i necessari scopi militari. Furono creati molti nuovi porti artificiali, come ad Amalfi, Napoli, Livorno, Palermo e soprattutto Genova. Qui fu costruito l’antico molo orientale con sovrastruttura muraria fortificata e la struttura era così importante per la città che nel 1245 fu dichiarata “Opera Pia”, nel senso che ogni genovese doveva riservare nel testamento un lascito per i lavori di manutenzione della diga. Il Rinascimento dell’ingegneria marittima ebbe di fatto luogo nei secoli XV-XVI, quando il progresso tecnologico portò allo sviluppo di nuove attrezzature meccaniche, quali le gru per la posa dei massi, i pontoni per il varo delle cas-seforme in mare e persino le prime rudimentali apparecchiature per respirare e lavorare sott’acqua. Furono inventate anche le draghe meccaniche (fig. 14). Si ha notizia di un primo dragatore genovese incaricato nel 1413 dall’autorità portuale di Marsiglia. Peraltro l’escavo e la pulizia dei fondali portuali era ancora eseguita con mezzi terrestri dopo la chiusura ed il prosciugamento del bacino.

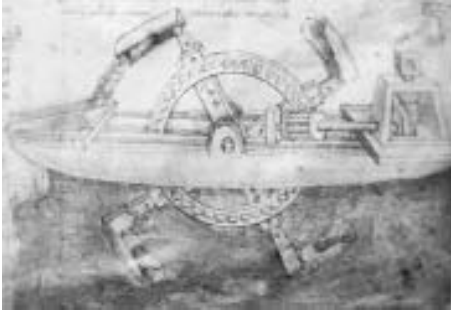


Fig. 14 – Draga a secchie
(F. di Giorgio Martini, 1475)

Nel Rinascimento si verificò anche un grande sviluppo dell'urbanistica portuale. Il famoso architetto L.B. Alberti (1452) rilanciò le raccomandazioni tecniche di Vitruvio con un approccio "naturalistico" anche nel progetto delle strutture costiere, come i frangiflutti con lieve pendenza del paramento esterno. La configurazione planimetrica di un porto artificiale era caratterizzata da una stretta imboccatura e da bacini con forme curvilinee, possibilmente circolari, per soddisfare i nuovi canoni estetico-filosofici (oltreché idraulico-funzionali e militari) della città-porto fortificata "ideale". La forma circolare, che richiama persino l'architettura del teatro ove si offre lo spettacolo delle navi, è anche quella che racchiude la massima superficie di acque protette a parità di contorno bagnato.

Di Giorgio Martini (1475) fissò addirittura le "misure auree" dello schema portuale ideale: una diga-isola con convessità lato mare lunga 100 m a protezione di una bocca larga 70 m arretrata di 70 m tra due moli convergenti (fig. 15). La pianta del porto romano di Centumcelle era considerata il modello

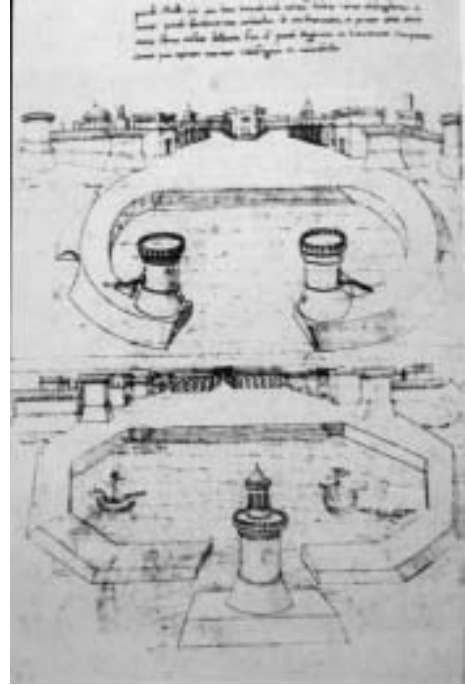


Fig. 15 – Disegni di porti ideali
(F. di Giorgio Martini, 1475)

della città-porto ideale e ispirò il progetto berniniano dei colonnati di Piazza S. Pietro a Roma.

Inoltre il periodo rinascimentale segnò l'importante nascita delle scienze idrauliche, inclusa l'idraulica marittima.

Le scoperte più importanti sono attribuite al genio eclettico di Leonardo da Vinci (1452-1519). Attraverso il suo noto metodo sperimentale Leonardo fu il vero precursore della moderna scienza dell'ingegneria costiera, anticipando di oltre tre secoli svariate idee e soluzioni. I suoi codici mostrano descrizioni incredibilmente accurate di campi di corrente anche complicati. La maggioranza dei fenomeni di idraulica marittima è descritta nei 36 *folii* del bellissimo



Fig. 16 – Disegni Leonardeschi di onde frangenti su muri (Codice Leicester folio 25v)

Codice Leicester (1510). Leonardo spiega chiaramente la natura progressiva delle onde di superficie, il concetto di celerità relativa, i fenomeni di shoaling e frangimento, la riflessione ondososa e gli impatti su pareti (fig. 16).

Attribuisce per primo alle onde di mare il ruolo prevalente sull'evoluzione morfologica delle spiagge e definisce le condizioni di equilibrio dei sedimenti. E' anche probabilmente il primo "modellista fisico" della storia, sperimentando alcune tecniche adottate nei moderni laboratori idraulici, quali la visualizzazione delle correnti con traccianti solidi o coloranti, sia in aria che



Fig. 17 – Porte vinciane nelle chiuse del porto turistico di Brighton (GB)

in acqua, l'uso di vasche vetrate, i modelli a fondo mobile, pur non ignorando il problema degli effetti-scala. Leonardo si interessa anche di ingegneria portuale, come evidenziato dai suoi disegni dei porti di Cesenatico (1502), Piombino e Civitavecchia e dal rilievo che fece sul molo antico di Genova danneggiato da una tempesta nel febbraio 1498. Inoltre presenta un originale, seppur utopistico, schema portuale "a spirale", che fu riproposto un secolo dopo da Gallaccini (1603).

Leonardo da Vinci si cimentò anche nel progetto delle conche di navigazione, che introdusse in Francia, promuovendo lo sviluppo della portualità oceanica. Ancora in uso sono le note *porte vinciane* (fig. 17). Peraltro la prima conca era stata già costruita nel 1438-39 a Viarenna (Milano) da Fioravante da Bologna e Filippo degli Organi per facilitare la navigazione interna ed in particolare il trasporto dei materiali per la costruzione del Duomo di Milano. La chiusa di Viarenna è lunga 38 m, larga 6,2 e con un massimo dislivello di 3 m. E' stata prosciugata nel 1936 dopo 500 anni di regolare servizio (Fassò, 1987).

Nuovi sviluppi ebbe anche la tecnologia delle opere marittime. Sempre attivo era l'eterno dibattito sulla scelta tra la tipologia di diga frangiflutti a gettata e quella a parete verticale. In base alla propria esperienza nel restauro del porto di Civitavecchia nel 1607 Crescentio raccomandava l'uso di scogliere alla rinfusa (il cosiddetto sistema "a pietre perdute") con sovrastruttura di calce-

struzzo pozzolanico. Con una visione piuttosto moderna egli suggeriva di non ridurre la porosità della mantellata riempiendo i vuoti tra i massi con pietre più piccole e di lasciare che il mare modellasse il profilo della scogliera.

In acque costiere abbastanza calme e poco profonde era sempre preferito il sistema romano dei muri monolitici gettati in opera. Ma per la nuova diga profonda del porto di Genova fu approvato nel 1638 dopo lunghe discussioni il progetto innovativo del De Mari, che consisteva in un'opera di tipo *composto* con scogliera di fondazione livellata fino a quota -4 m s.m. sulla quale venne gettata una struttura monolitica di calcestruzzo (Faina, 1969) (fig. 18). Questo nuovo sistema, che riduceva costi e tempi di costruzione e quindi i rischi di danni per mareggiate in corso d'opera, ebbe una vasta risonanza internazionale.

Tra il 1850 ed il 1950 si riscontrano nuovi sviluppi nella tecnologia delle dighe portuali che vengono costruite su fondali sempre più profondi. Lo stato dell'arte all'epoca fu riassunto da Luiggi (1907) e da Coen-Cagli (1936). Il primo esempio italiano di frangiflutti a scogliera con ripida mantellata di massi artificiali è il Molo S. Vincenzo a Napoli, costruito dal 1850 su fondali di 35 m, seguito poco dopo dal Molo Duca di Galliera a Genova. Ambedue le dighe subirono gravi danni e cedimenti e furono quindi rinforzate, tipicamente con la posa di blocchi più pesanti, anche disposti secondo l'originale profilo scalettato ("sistema Parodi").

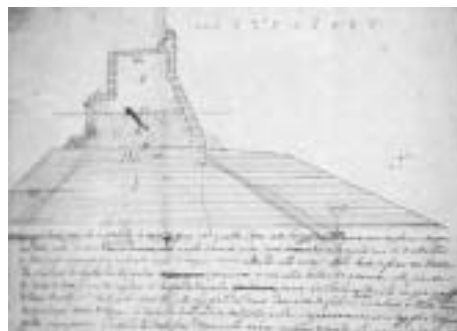


Fig. 18 – Il nuovo progetto di diga composta per il porto di Genova (De Mari, 1638)

Questi dissesti favorirono la riscoperta della classica struttura di tipo composto verticale, realizzata prima con blocchi sovrapposti fino a 50 t (diga Colombaia a Trapani), poi con colonne

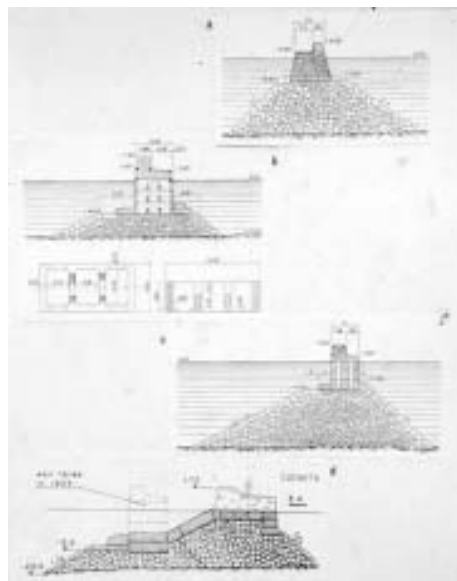


Fig. 19 – Sviluppo delle dighe a parete verticale in Italia tra il 1900 ed il 1940:

- a) tipo a blocchi sovrapposti (Napoli, 1905)
- b) tipo a massi cellulari (Genova, 1912)
- c) tipo a massi ciclopici (Napoli, 1929)
- d) la diga composta a massi ciclopici di Catania riparata con profilo inclinato

di massi cellulari poco armati del peso di 220 t riempiti in-situ con getti di calcestruzzo (porti di Genova e Napoli) e quindi con massi ciclopici da 450 t a tutta sezione. Quest'ultima era la tipologia delle dighe di Catania, Genova e Palermo che furono poi abbattute da violente mareggiate (rispettivamente nel 1933, 1955 e 1974) provocando ulteriori discussioni ed i nuovi criteri progettuali del PIANC del 1935 (fig. 19).

Comunque la nuova tecnologia costruttiva dei grandi cassoni cellulari di c.a. permise di superare i problemi di fragilità delle precedenti tipologie di dighe a parete.

Prefabbricati in appositi bacini i cassoni possono essere rimorchiati in galleggiamento, zavorrati con acqua ed affondati sullo scanno di base ed appesantiti poi riempiendo le celle con calcestruzzo (come nelle prime applicazioni ad Alghero nel 1915 e a Civitavecchia nel 1931-36) o con materiale granulare (come nella diga dell'aeroporto di Genova del 1938).

La costruzione dei cassoni di quest'opera fu realizzata con una speciale piattaforma fissa, che fu la prima attrezzatura per la prefabbricazione industriale di strutture marittime con vasta eco internazionale. A causa degli eventi bellici i 42 cassoni furono abbandonati in mare aperto per 15 anni senza sovrastruttura e, ritrovati in ottime condizioni, furono rimessi in galleggiamento aspirando dalle celle la zavorra sedimentaria e reimpiegati come muri di contenimento del terrapieno aeroportuale.

Età contemporanea

L'epoca contemporanea si può far iniziare convenzionalmente nel 1950 (prima conferenza ICCE). L'Italia si stava riprendendo dalle ferite della seconda guerra mondiale. Al 18° congresso PIANC di Roma nel 1953 il Ministero dei Lavori Pubblici distribuì un interessante volume sulle opere di ricostruzione dei porti nazionali.

Oltre ai necessari interventi di adeguamento e modernizzazione dei porti storici, sono stati realizzati ex-novo solo pochi porti negli ultimi 50 anni, quali Gioia Tauro e Genova-Voltri (PIANC, 1997).

Sviluppi portuali innovativi si possono osservare nel progetto dei moderni marina, specialmente in relazione alle nuove implicazioni di carattere ambientale.

Il continuo progresso tecnologico si manifesta soprattutto nel settore tradizionale delle dighe composte, con l'impiego sistematico dei cassoni cellulari aventi dimensioni più grandi e geometrie più complesse, al fine di ridurre la riflessione ondosa, l'erosione al piede, le forze ed i sormonti sull'opera. I nuovi progetti includono pareti perforate con camere assorbenti, fronti semicilindrici e muri di coronamento inclinati, curvi e arretrati rispetto al filo della parete esterna. Un originale esempio di queste nuove strutture è rappresentato dalla nuova diga del porto industriale di Porto Torres (Noli, 1997), che è stata anche strumentata per la misura delle spinte del moto ondoso (fig. 20).

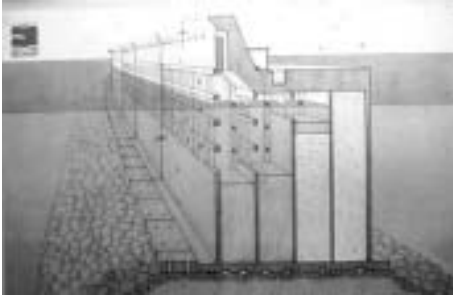


Fig. 20 – La nuova diga strumentata a cassoni perforati del porto industriale di Porto Torres (1992)

Interessanti sviluppi si osservano anche nel settore emergente della morfodinamica delle spiagge e della protezione costiera, a causa del notevole incremento dei fenomeni erosivi degli ultimi decenni. L'importanza economica delle spiagge balneabili e la maturata sensibilità ambientale hanno portato a nuove politiche di pianificazione territoriale. Le più tipiche strutture italiane di protezione costiera sono le scogliere distaccate, progettate per la prima volta dall'ing. Lenzi nel 1905 per il lungomare di Salerno. Queste opere "dure" sono oggi rimpiazzate dalle barriere sommerse per gli ovvi vantaggi estetici ed igienici (ricambio acque), spesso in combinazione con ripascimenti di spiaggia con materiale ottenuto dapprima da cave terrestri e poi marine. Peraltro le prime soluzioni "morbide" erano state già sperimentate negli anni '50 quando nel porto di Viareggio fu installato il primo impianto fisso europeo per il bypass delle sabbie. I principali nuovi progetti di "ripascimento protetto" sono stati realizzati ad Ostia, Ravenna, Venezia.

Conclusioni

Questa sintetica rassegna storica ha messo in luce gli ingegnosi contributi italiani per il progresso dell'Ingegneria Marittima in un periodo di oltre 3000 anni. E' infatti riconosciuto che l'Italia è stata il paese guida nello sviluppo di questa disciplina tecnico-scientifica tra il 2° sec.a.C. ed il 18°d.C (Clark, 1948).

La carenza di porti naturali in mari con piccola escursione di marea ha spinto i Romani e poi gli Italiani a costruire dighe frangiflutti in acque profonde ed esposte, soprattutto del tipo composto verticale, adottando schemi portuali idraulicamente efficienti e sviluppando anticipatamente soluzioni progettuali moderne e creative. I Veneziani furono poi i primi a sperimentare vari sistemi di difesa costiera già nel Medioevo.

L'attuale tendenza dell'Ingegneria Costiera è indirizzata come nell'antichità verso una maggiore armonia con l'ambiente. Perciò appare appropriata la citazione dell'affermazione leonardesca "*Ne coneris contra ictum fluctus: fluctus obsequio blandiuntur*", che significa che *la Natura non va affrontata di forza, ma va blandita con saggezza.*



Fig.20 – Danni al molo Galliera nel porto di Genova a seguito della mareggiata del 1898

Bibliografia

- ALBERTI L.B., 1465. *De re aedificatoria*, ried. a cura di G. Simoncini, De Luca, Roma
- BLACKMAN D.J., 1982. *Ancient harbours in the Mediterranean*, Int.Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration, part 1 in 11.2 pp.79-104; part 2 in 11.3 pp. 185-211
- BORZANI G., 1995. *Evoluzione dei criteri di progetto delle dighe marittime* Sez.Ital.AIPCN
- CAVANI A., FRANCO L., NAPOLITANO M., 1999. *Design optimization with model tests for the protection of Gela caisson breakwater* Coastal Structures '99, Atti. Int.Conf. CS'99-Santander vol.2, pp. 927-935, Ed. by I.Losada, Balkema
- CLARK, 1948 *Science and Social Welfare in the Age of Newton*, Oxford
- COEN-CAGLI E., 1936. *Italian Docks and Harbours* Journal of the Inst.of Civ.Eng., London
- D'ARRIGO A. *Storiografia delle opere marittime della romanità* in La partecipazione italiana al 21°Congresso Internazionale di Navigazione - Stoccolma 1965, Sez.Ital.AIPCN, Roma, 1966, pp. 143-228
- DE LA PENA J.M., PRADA E.J.M., Redondo M.C., 1994. *Mediterranean Ports in Ancient Times*. PIANC Bulletin n.83/84, Bruxelles, pp. 227-236
- DI GIORGIO MARTINI F., 1475. *Trattato di Ingegneria, Architettura ed Arte Militare*, Ed Il Polifilo, Milano 1967
- FAINA G., 1969. *L'ingegneria portuale genovese nel 1600* Istituto Italiano per la storia della tecnica, Giunti, Milano
- FASSÒ C.A., 1987. *Birth of hydraulics during the Renaissance period* in *Hydraulics and Hydraulic Research: a Historical Review*, I.A.H.R., G.Garbrecht Ed., Balkema pp. 55-79
- FRANCO L., 1996. *History of Coastal Engineering in Italy in History and Heritage of Coastal Engineering*, ed.N.Kraus, ASCE N.Y., pp. 275-335
- FRANCO L., 1997, *L'ingegneria marittima nell'antichità*, *L'Acqua*, n. 3
- GRILLO S., 1989 *Venezia, le difese a mare* Arsenale Editrice, Venezia
- HOHLFELDER R.L., 1987 *Caesarea Maritima*. National Geographic, vol.171,
- ICCE, 1992. *Coasts, harbours, lagoons protection works* (con il patrocinio del Ministero dei Lavori Pubblici) 23°Conferenza Internazionale di Ingegneria Costiera, Venezia
- JACONO L., 1938 *Un porto duomillenario* Istituto di Studi Romani.
- LUIGGIL., 1907. *Costruzioni Marittime all'inizio del XX secolo* Tip.Genio Civile, Roma
- MARINA MILITARE, 1905. *Monografia storica sugli antichi porti d'Italia* voll.1-2 allegati agli Atti del Congresso AIPCN.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1953. *La ricostruzione dei Porti Marittimi Nazionali* allegato agli Atti del. XVIII Congresso AIPCN, Roma
- NOLI A., 1997, *Il porto industriale di Porto Torres*, L'Industria Italiana del Cemento, n. 719
- PIANC-AIPCN, 1997 *Bulletin n.94*, Bruxelles (interamente dedicato ai nuovi contributi italiani)
- RABAN A., 1988. *Coastal Processes and Ancient Harbour Engineering*. Proc. 1st Int. Symp. Cities on the Sea- Past and Present, BAR Intern.Series 404, pp. 185-261.
- SIMONCINI G., 1993. *Sopra i porti di mare I: il trattato di Teofilo Gallaccini e la concezione architettonica dei porti dal Rinascimento alla Restaurazione*, Leo S.Olschki Ed.,Firenze
- TESTAGUZZA O., 1970. *Portus*. Ed.Julia, Roma
- VITRUVIO M.L., 27 a.C., *De Architectura*, vol. II, 6; vol. V, 13