

30

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND
DER
SCHIFFAHRTS-CONGRESSE

X. CONGRESS-MAILAND-1905

II. Abteilung : Seeschiffahrt

4. ~~Mitteilung~~ *Trage*

~~BERICHT~~

den Fortschritten der neuesten
~~neuesten Arbeiten, die in den hauptsächlichsten Seehäfen ausgeführt sind~~

BERICHT

VON

O. BERNARDINI

Ingenieur des Tiefbauamts



NAVIGARE

NECESSE

BRÜSSEL

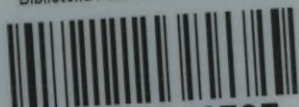
BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (GES. M. B. H.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905



II-354192

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316737

02-0-15/2019

Die Konstruktion der äusseren Hafemolen,
ihre Widerstandsfähigkeit gegen die Kraft der Wellen
und Berechnung dieser Kraft

BERICHT

VON

M. Oddone BERNARDINI

Ingenieur des Genio Civile in Genua

I. — Ueber die Sturmflut vom 27 November 1898
und ihre verherende Wirkung auf die Aussen-
molen des Hafens von Genua.

Der Hafen von Genua ist in Folge seiner ungeschützten Küstenlage an dem Meerbusen von Genua und wegen der Ausdehnung und Tiefe dieses Meerbusens den heftigsten Stürmen ausgesetzt.

Der Sektor der stärksten Winde, d. h. die Zone der Richtungen, in denen die heftigsten Winde und der stärkste Wellengang herkommt, kann von zwei Graden begrenzt gedacht werden, die eine als Tangente an die Insel Minorka nach Kap Tenes gezogen, die andere Asinara tangierend nach Cap Toukoush an der Küste von Algier gerichtet. (Taf. I. Fig. 1.)

Dieser Sektor, etwa 30 Grad umfassend, liegt in der ersten Hälfte des dritten Quadranten der Windrose. Daher rührt die Ueberlieferung unter den Schiffen, dass der Südostwind der « Sturmwind von Genua » ist. Dieser Südost wendet sich näher dem Lande dann gewöhnlich nach S.-SO.

Die längste Strecke freien Meeres, die vor dem Hafen von Genua vorhanden ist, also die weiteste Entfernung, aus der die Wellen herankommen können, beträgt ca. 600 Seemeilen. Daraus erklärt sich, dass die von den herrschenden Winden über eine derartige ununterbrochene Streckenlänge auf so tiefem Meer herangetriebenen Wellen sehr bedeutende Höhe, Breite und Geschwindigkeit annehmen können.

Die Sturmflut vom 27. November 1898.

Nachdem während einiger Tage regnerisches Wetter und bewegte See mit Wind S.-SO. geherrscht hatte, wurden am Abend des 26. November 1898 Wind und Wellen immer stärker und stärker.

Am selben Abend schlugen die Kämme der gegen den Aussenarm der Galliera-Mole anprallenden Wogen über die Brustwehr und spritzten auf die innere Böschung.

Das Unwetter wurde in den Nachtstunden stärker und erreichte sein Maximum kurz nach Mitternacht.

Der Leuchtturm auf dem Kopf der Galliera-Mole war bis 3 Uhr noch zu sehen, dann verschwand er.

Obschon bloss Spritzer und eigentliche Wellen leicht verwechselt werden können und ferner die imponierende Grösse des Naturschauspiels zu übertriebenen Anschauungen verleitet, so kann man doch ohne Uebertreibung behaupten, dass durch die lebendige Kraft der Wellen, denen die Mole ein Bewegungshindernis bot, in den ersten Tagesstunden des 27. November Wassermassen bis 20 m hoch geschleudert wurden.

Es ist dabei natürlich von vereinzelt beschränkten Fällen abgesehen, in denen Wassermengen noch auf grössere Höhen von sicherlich mehr als 30 m emporgeschleudert wurden, denn es würde zu irrigen Schätzungen führen, wollte man diese mit in Anschlag bringen, um darauf eine Berechnung des Stosses derselben gegen die Werke oder in anderen Worten ihrer Kraft, aufzubauen.

Nach persönlichen Beobachtungen sowie nach Angaben anderer glaube ich mit Sicherheit annehmen zu können, dass am Morgen des 27. November die Höhe der Wogen an 7 Meter betrug.

Das Fallen des Barometers entsprach durchaus nicht der Heftigkeit dieses aussergewöhnlichen Naturereignisses; es würde sich ganz im Gegenteil aus den im hiesigen hydrographischen Bureau aufgenommenen Kurven ergeben, dass das Minimum des atmosphärischen Drucks in der Nacht vor der Sturmflut gemessen wurde. Wenn die Sturmflut auch schlimmer war, als die heftigsten Unwetter, deren man sich entsinnen kann, so forderte sie wenigstens keine beklagenswerten Opfer.

Menschenleben gingen nicht verloren, und die zahlreichen Schiffe, die sich in den Hafen und Vorhafen geflüchtet hatten, erlitten keine Beschädigung durch den Seegang.

Während des Unwetters fuhren verschiedene Dampfer ungefährdet in den Hafen ein, unter anderen einer der grossen Oceandampfer des Norddeutschen Lloyd.

Die Beschädigungen an der « Neuen » Mole.

Die neue Mole ist etwa 900 Meter lang. Ihre Aussenböschung steigt mit ganz flacher Dossierung bis zur Höhe von ca. 3 m über mittlerem Meeresspiegel und trägt zum Schutz für die Rampe, d. h. den Aussenweg auf der Mole, oben eine Verkleidung von Betonblöcken.

Die Brustmauer zeigt wechselnde Stärken, jedoch nirgends unter 5 m.

Auf der ganzen 250 m langen Strecke C D (Taf. I. Fig. 1), also genau dort, wo das Meer am tiefsten ist, wurden Stein- und Betonblöcke nach der See zu weggeführt und die Rampe teilweise zerstört, sodass das Meer unmittelbar die Fundamente der Brustmauer bespülte.

In dem in Fig. 2 dargestellten normalen Querschnitt bedeutet die punktierte Linie das Aussenprofil *vor*, und die ausgezogene Linie dasselbe *nach* der Sturmflut.

Die Beschädigungen der Galliera-Mole.

Die Galliera-Mole hat zwei Arme, die eine Länge von 657 bezw. 843 m besitzen; die Meerestiefen längs der ersten Mole nehmen proportional zu von 15 auf 24 Meter, längs der anderen Mole von 24 auf 29 Meter.

Da es sich um erste Versuchsausführungen an einer ausgesetzten Stelle handelte, so war man natürlich zuerst mit grösster Vorsicht vorgegangen, weil man befürchtet hatte, dass eine Beschädigung der Steinrampe die Standfestigkeit der Betonblöcke der Mole gefährden könne. In den ersten Jahren nach Vollendung der Mole hatte man daher den vom Wasser bedeckten Teil mit einem Steinmantel überdeckt, der sogar an einigen Stellen das Meeresniveau überragte. Nachdem die Erfahrung jedoch gelehrt hatte, dass diese Massregel nicht absolut notwendig war, hatte man sie später nur in sehr beschränkter Ausdehnung angewandt.

Zur Zeit als die Sturmflut die Mole traf, befand sie sich in allen ihren Teilen in vorzüglichem Zustand.

In den 10 Jahren seit ihrem Bestehen war die Mole häufig SO.-Stürmen ausgesetzt gewesen, die jedoch niemals irgendwelche

Beschädigungen verursacht hatten. Die Unterhaltungsarbeiten hatten sich auf eine von Zeit zu Zeit erfolgte Ausbesserung des Cementverputzes beschränkt, der die ausserhalb des Wassers befindlichen Blöcke gegen äussere Einflüsse schützen sollte.

In den ersten Morgenstunden des 27. November konnte man, obgleich zwischen den Wellenkämmen und Schaumwolken Details kaum zu unterscheiden waren, erkennen, dass die Brustmauer des äusseren Molenarmes auf eine Länge von mehr als 150 m von dem mit dem anderen Arm gebildeten Winkel an gerechnet, in mehrere Teile zerrissen war, von denen einige nur verschoben, andere auf den Innenquai gestürzt waren.

Im Verlaufe des Tages liess der Orkan etwas nach, blieb jedoch immer noch aussergewöhnlich heftig; die Bresche wurde immer grösser, bis sie schliesslich 200 m breit war.

Nachdem einmal der Zusammenhang des Mauerkörpers unterbrochen war, wurde der äussere Teil den ganzen Tag über durch die Gewalt der Wellen immer mehr und mehr zerstört, von Zeit zu Zeit lösten sich kleinere Partien los und wurden in den Vorhafen geschleudert.

Der Lageplan, Tafel I. Fig. 4, giebt eine genaue Darstellung der Beschädigungen an der Mole; die drei Normalquerschnitte Fig. 5, 6 und 7 beziehen sich auf die entsprechenden Abschnitte A B, B C und C D auf dem Lageplan.

Auf dem ersten Abschnitt von 70 m Länge, von dem Winkel der beiden Molenarme an gerechnet, wurden die Betonblöcke der Böschungsabdeckung auf 2-6 m Tiefe herausgerissen und teils auf die Aussenböschung gestürzt, teils seitlich fortgeschleudert. Die Rampe wurde von dem Mauerkörper vollständig losgerissen und zerstört, der Mauerkörper selbst blieb jedoch ziemlich unverletzt, abgesehen von einigen, weder tief noch weitgehenden Ausfrassungen an der Basis.

Auf dem Abschnitt B C wurden die Betonblöcke der oberen Lage gänzlich durcheinander geworfen, die der unteren Lagen aus dem Zusammenhang gerissen und teilweise beschädigt. Die Brustmauer wurde in 5 gewaltige Einzelblöcke zertrümmert (Tafel I. Fig. 4), von denen No. I, II, III und V parallel verschoben wurden, während IV umgestürzt wurde und auf den Dammweg fiel.

Auch auf dem Abschnitt C D wurden die Betonblöcke der Abdeckung in Unordnung gebracht; die Brustmauer verschwand auf dieser Strecke spurlos.

Es liess sich die charakteristische Tatsache feststellen, dass der Luftdruck, welcher von den mit einer der Fallhöhe propor-

tionalen Geschwindigkeit auf den inneren Dammweg niederstürzenden Wassermassen erzeugt wurde, Steine der Pflasterung hoch in die Luft schleuderte.

Ein Schiffshaltepfahl wurde in der Ebene des Dammweges abgescheert.

Der Leuchtturm auf dem Molenkopf wurde vernichtet.

Einige Betonblöcke von ca 40 Tonnen Gewicht wurden mindestens 50 m weit geschleudert.

Eine bemerkenswerte Lage hatten einige der auf der Aussenkante der oberen Lage als « Strecker » verlegten Betonblöcke angenommen: als wären sie gleichzeitig durch eine ihr rückwärtiges Ende anhebende und eine auf ihre Stirnfläche drückende Kraft beansprucht worden, lagen sie nach aussen geneigt auf die Oberkante der nächsten Längsreihe gestützt.

Auf der ganzen unversehrt gebliebenen Molenstrecke wurde die obere Lage Betonblöcke um etwa 1 m rückwärts geschoben; wie vorher erwähnt, standen auf dem Quai 5 gewaltige Einzelblöcke, gleichsam Monolithe, Teile der zerstörten Brustmauer, mit folgendem Cubikinhalte und Gewicht:

Block I.	Volumen	440 m ³	Gewicht	1.012 Tonnen
» II.	»	198 »	»	455 »
» III.	»	140 »	»	322 »
» IV.	»	380 »	»	874 »
» V.	»	398 »	»	915 »

Betrachtungen und Berechnungen über den dynamischen Effekt und die Maximalkraft der Wellen.

Wenn man aus den festgestellten dynamischen Wirkungen Werte für die Kraft der Wellen rechnerisch herleiten will, so können bekanntlich die in die Rechnung einzuführenden mehr oder weniger willkürlichen Annahmen, sowie die Festsetzung der in die Formeln einzusetzenden Coeffizienten die Resultate innerhalb sehr weiter Grenzen schwankend machen. Derartige Rechnungen geben wichtige Fingerzeige, Tatsache ist jedoch, dass man es bei der konstruktiven Ausführung in der Praxis stets vorzieht, sich bei Festlegung der Abmessungen einer Mole nach bestehenden Ausführungen mit ähnlichen Verhältnissen und nach den an Ort und Stelle beobachteten Tatsachen zu richten.

Widerstand der Brustmauer gegen Gleiten.

Bei Anbeginn der Verschiebung sucht die Reibung sowie die Adhäsion zwischen Stein und Mörtel das Gleiten der Mauer zu verhindern. Die Zugfestigkeit des Materials ist in die Rechnung nicht einzuführen, da sie im allgemeinen grösser ist, als die Adhäsion, und der Bruch fast immer zwischen Mörtel und Stein stattfindet, wie auch der vorliegende Fall wieder beweist.

Der Adhäsions-Coeffizient sei bestimmt zu 35 000 Kilogramm pro m², der Reibungs-Koeffizient zu 0,7; das Gewicht von 1 m³ Mauerwerk sei 2300 Kilogramm. Dann ergibt sich der Gleitwiderstand pro laufenden Meter der Mauer (vgl. Querschnitt der Mauer Taf. I. Fig. 7b) zu :

$$3,70 \times 35\,000 + 0,70 (5,60 \times 3,70 + 1,00 \times 1,10) \times 2\,300 \\ = 164\,630 \text{ kg.}$$

Der zur Ueberwindung dieses Widerstandes erforderliche Horizontaldruck wird daher :

$$F = \frac{164630}{6,6} = 24943 \text{ kg. pro m}^2$$

vorausgesetzt, dass sich dieser Druck gleichmässig über die ganze angegriffene Fläche verteilt.

Widerstand gegen Kippen.

Wenn wir die durch die Wellenkraft beanspruchte Mauer als einen an seinem unteren Ende eingespannten festen Körper betrachten, so ist das widerstehende Kraftmoment im Einspannungsquerschnitt gegeben durch :

$$M_r = 35000 \frac{3,70^2}{2} + (5,60 \frac{3,70^2}{2} + 1,00 \times 1,10 \times 3,15) \times 2300 \\ = 335448 \text{ mkg.}$$

Nun beträgt das Maximal-Moment der angreifenden Kraft bezogen auf denselben Querschnitt (Kippmoment) :

$$M_{max.} = F \frac{6,60^2}{2} = 21,78 F$$

Setzt man das Kipp-Moment und das widerstehende Moment gleich, so ergibt sich als Grösse des zum Kippen erforderlichen Druckes :

$$F = \frac{335448}{21,78} = 15041 \text{ Kg. pro m}^2$$

immer in der Voraussetzung gleichmässiger Druckverteilung, eine Annahme, die, wie wir später sehen werden, unzulässig ist.

Veränderlichkeit der Wellenenergie und maximale Wellenkraft.

Die Annahme gleichmässiger Druckverteilung giebt jedoch kein richtiges Bild für die von der Wellenenergie ausgeübte Wirkung auf ein Hindernis, das sich der Wellenbewegung in den Weg stellt. Das Maximum der Energie liegt etwa in der Höhe des mittleren Meeres-Niveaus.

Oberhalb und noch schneller unterhalb dieses Niveaus nimmt die Energie ab, wie schon die Tatsache beweist, dass die äusseren Böschungen der Hafendämme über eine gewisse Tiefe hinaus steilere Neigung haben, als auf dem geringeren Tiefen entsprechenden Abschnitt.

Das Gesetz, nach dem sich diese Energie oberhalb des mittleren Meer-Niveaus ändert, wird in Wirklichkeit durch eine parabolische Kurve dargestellt, da die Einhüllende der hochgeschleuderten Strahlen, welche den verschiedenen Druckhöhen entsprechen, eine Parabel ist.

Zur Vereinfachung jedoch wollen wir, da es sich hier nur um eine Annäherungsrechnung handelt, die Kurve als gradlinig annehmen, wie es in der Statik der Flüssigkeiten geschieht: die Summe der in den verschiedenen Niveauhöhen auf die Mauer ausgeübten Drucke wird dann durch das Trapez A B C D (Tafel I. Fig. 7c.) dargestellt.

Da wir es mit einer bewegten Flüssigkeit zu tun haben, so ist ihre Stosskraft direkt proportional ihrer Geschwindigkeit, und da die Höhe, zu der sich der Kamm des Wellenberges erhebt, dem Quadrat der Geschwindigkeit an seiner Basis proportional ist, so muss sich eine Beziehung zwischen der Wellenenergie und der Höhe der hochgeschleuderten Wasserstrahlen aufstellen lassen.

Man kann demnach wohl annehmen, dass sich die Drucke A B und C D am Fuss und an der Oberkante der Mauer als Funktion dieser Höhe darstellen.

Es sei bemerkt, dass man aus den nach den gewöhnlichen Winterstürmen regelmässig gemachten Beobachtungen ihrer Wirkung darauf schliessen kann, dass bereits bevor die Sturmflut ihren Höhepunkt erreichte, die den Rücken der Betonblöcke bedeckende Schüttung aus nicht allzu grossen Steinen von den zurückgehenden Wogen sicherlich weggeschleppt und über die Böschung verstreut worden war.

Daraus lässt sich folgern, dass die von der Brandung herangeschleuderten Wasserstrahlen eine entsprechend der Böschung der Betonblöcke gegen die Horizontale geneigte Bahn verfolgten, und dass daher, solange bis die Blöcke sich verschoben, die Stösse unter ca. 45° Schräge gegen die Mauer trafen.

Unter dieser Voraussetzung können die horizontale und die vertikale Komponente der Wellengeschwindigkeit im Augenblick des Auftreffens auf das Hindernis, von denen die Stosskraft bezw. Höhe des Strahls abhängt, als einander gleich angesehen werden und ausgedrückt werden durch die Gleichung :

$$v = \sqrt{2gH}$$

worin g die Erdbeschleunigung und H die theoretische Höhe des Strahls bedeutet.

Ich sage «theoretische Höhe», weil bei den grossen Geschwindigkeiten, die hier in Frage kommen, der Luftwiderstand und die gegenseitige Reaktion der Moleküle nicht vernachlässigt werden dürfen, da sie die Höhe, bis zu der die flüssigen Massen unter dem Einfluss ihrer Anfangsgeschwindigkeit in Wirklichkeit geschleudert werden, erheblich reduzieren. Die auf das Hindernis wirkende Kraft, d. h. in anderen Worten der Widerstand des Hindernisses gegen die Bewegung der Flüssigkeit ist gegeben durch die Formel :

$$r = K \Omega d \frac{v^2}{2g}$$

worin d das Gewicht der Volumeneinheit bedeutet, v die Horizontalkomponente der Geschwindigkeit der Flüssigkeit, Ω die angegriffene Fläche und K ein von der Gestalt dieser Fläche abhängiger Koeffizient.

Behält man $d = 1000$ bei und setzt $K = 1,19$, d. h. wählt man unter den von Dubuat angegebenen Werten denjenigen Wert von K , der sich auf den Fall bezieht: lebendiger Druck oder

lebendige Kraft direkt gegen die ausgesetzte Fläche, ohne Berücksichtigung des Unterdrucks auf die entgegengesetzte Fläche, so ergeben sich die Drucke AB und CD am Fusse und an der Krone der Mauer pro qm Oberfläche wie folgt

$$A B = 1190 \frac{v^2}{2g} = 1190 H$$

$$C D = \frac{v^2}{2g} 1190 (H - 6,60)$$

demnach wird also der Inhalt des Druckprisma pro laufenden Meter, d. h. die Grösse der Kraft, welche entgegen dem vorher berechneten Widerstand von 164 630 kg die Mauer zum Gleiten bringt, sein :

$$P = 6,60 \frac{AB + CD}{2} = 3,30 \times 1190 \times (H + H - 6,60) = 164 630$$

woraus :

$$H = 24 \text{ m.}$$

dieser theoretischen Höhe H entspricht nach der Formel von Prof. Cappa die effektive Höhe :

$$S = 0,836 7 H - 0,003 333 H^2 = 18,16 \text{ m.}$$

Die Wellen, welche die Kraft hatten, die Mauer fortzuschieben, mussten also, wie diese Berechnung zeigt, nach dem Aufsteigen an der 45° Böschung der Betonabdeckung beim Auftreffen auf das Hindernis Wassermassen auf 18 m über der Mauerbasis vertikal hoch schleudern, 20 m über mittlerem Meeresspiegel, und somit an diesen Stellen Pressungen von 27,5 bzw. 30,9 Tonnen und von 20,7 Tonnen an Oberkante Brustmauer hervorrufen.

Strahlen von 20 m Höhe wurden jedoch am Morgen des 25. November beobachtet, als der Orkan schon im Nachlassen war; man kann also annehmen, dass die Energie der Wellen noch grössere Kräfte als die hier berechneten hervorgerufen hat.

Mag man immerhin voraussetzen, dass der Zusammenhang des Mörtels mit den Steinen durch den fortwährenden Wellenschlag aufgehoben wurde, und mag man sogar eine Verringerung des Mauergewichtes durch die Wirkung des Auftriebs

annehmen, so waren doch diese grösseren Kräfte zur Zerstörung der Mauer erforderlich, wie aus der nachfolgenden Betrachtung hervorgehen wird.

Im allgemeinen finden die stärksten Stösse nicht alle auf einmal, sondern successive statt, und wirken nur auf verhältnismässig beschränkte Teilabschnitte, sowie an Stellen, die von einander ziemlich entfernt sind. Daher können sich infolge des Zusammenhangs der einzelnen Teile des Mauerwerks die dem heftigsten Stoss ausgesetzten Teile im Moment des Stosses gegen die augenblicklich weniger beanspruchten benachbarten Teile stützen, und diese gegenseitige Stützung erhöht den Widerstand des Werks.

Nun drängt sich uns die Frage auf: wenn es sich aus den obigen Berechnungen, sowie aus der beobachteten Höhe der Wasserstrahlen ergibt, dass die von den Wellen erreichte Maximalgeschwindigkeit eine zur Ueberwindung des Mauerwiderstandes mehr als ausreichende Kraft erzeugen konnte, wenn dies also richtig ist—weshalb wurde dann die Mauer *nur an den Stellen* zerstört, wo die Beton-Abdeckung der Böschung vorher grössere oder geringere Beschädigungen erlitten hatte?

Ich möchte an dieser Stelle auf eine bereits vorher angestellte Betrachtung zurückkommen.

Beim Auftreffen auf eine Mole verwandelt sich die schwingende Bewegung der Wellen in eine Translation, und es entstehen Wasserstrahlen, die in schräger Richtung hochgeschleudert werden; diese Richtung kommt dem Neigungswinkel des oberen Teils der unter Wasser liegenden Böschung fast gleich.

Es sei ferner daran erinnert, dass die Abdeckung der Mole in Beton-Blöcken einen äusseren Böschungswinkel von etwa 45° hatte, und dass ihre Oberkante etwa 1,50 m über Unterkante Brustmauer lag. (Tafel I, Fig. 3.)

Aus diesen Angaben kann man mit Sicherheit darauf schliessen, dass bei gegebener Neigung der Wurfbahn und Erhebung ihrer Ausgangsstelle die Wellen überall dort, wo die Abdeckung unbeschädigt geblieben ist, die ganze Mauerfläche nicht direkt treffen konnten, die Kraft des Stosses muss daher geringer gewesen sein, als die oben berechnete, weil die Angriffsfläche kleiner war und insbesondere deswegen, weil der Druck auf die in der Höhe des mittleren Meeresspiegels liegenden Flächenabschnitte, die sonst den stärksten Druck auszuhalten haben, ausgeschaltet war.

Anders ausgedrückt, die den Masstab für die Drucke gebende Trapezfläche ist infolgedessen nicht nur durch die Abnahme an

Höhe verringert, sondern in noch viel stärkerem Masse dadurch, dass die ganze Partie an der grösseren Grundlinie fortfällt.

Wo hingegen die Abdeckung (Verkleidung) entfernt oder zerstört war, war nicht nur die gesamte Oberfläche der Mauer den Schlagwellen ausgesetzt, sondern es war auch infolge der Bildung einer nur schwach geneigten Böschung unterhalb der Niveaulinie (fig 5 u. 6, Taf. I.) die resultierende Bahn der Wellen fast eine Horizontale.

Gerade der letzterwähnte Umstand hat sicherlich überwiegenden Einfluss auf die Zerstörung der Mauer gehabt.

Das abschliessende Gesamturteil kann also lauten :

Die Abdeckung in Betonblöcken hat da, wo sie selbst widerstand, den oberen Aufbau, den sie schützen sollte, auch wirklich geschützt, indem durch die Wirkung dieser Abdeckung der Inhalt des Druckprisma, also der Gesamtdruck, geringer war, als der Widerstand der Mauer. Diese wurde auf denjenigen Strecken zerstört, wo auch die Betonabdeckung mehr oder weniger zerstört worden war, weil sie an diesen Stellen in ihrer ganzen Vorderfläche direkt von den Schlagwellen getroffen wurde, und besonders deswegen, weil die entstandene sanfte Böschung die Stosskraft der Wellen noch intensiver wirken liess, wie anderwärts.

Besonders bemerkenswerte dynamische Wirkungen.

Ausser der Zerstörung der Brustmauer waren nach der Sturmflut noch andere dynamische Wirkungen zu beobachten, die Beachtung verdienen.

Mehrere Betonblöcke von $17,5 \text{ m}^3$ und ca. 40 Tonnen Gewicht wurden bis 50 m weit fortgeschleppt. Selbstverständlich fand diese Verschiebung nicht mit einem Male statt, sondern nach und nach, da die Stosswirkung der Wellen gegen den Block ja sofort nachlässt, sobald der Block zurückzuweichen beginnt, sowie auch wegen der kurzen Dauer der Stosswirkung.

Das in die Trennfugen der Mole eingedrungene Wasser überträgt den vollen Wellendruck und wirkt auf eine grosse Fläche nach dem Prinzip der hydraulischen Presse.

Vergegenwärtigt man sich dazu die hohen Drucke pro Flächeneinheit, die in der Nähe des Wasserspiegels auftreten, so wird man verstehen, wie es geschehen konnte, dass die gewaltigen Betonblöcke hochgehoben und weggeschleppt wurden.

Es wird dadurch die schon bekannte Tatsache bestätigt, dass

die Standfestigkeit von Betonblöcken nicht allein von ihrem Gewicht abhängt, sondern grösstenteils von dem Zusammenhalt und der Einpassung der Blöcke mit — und ineinander.

Die vorerwähnte charakteristische Schräglage, die mehrere Blöcke angenommen haben, ist augenscheinlich auf die gleichzeitige Wirkung des Drucks von unten her und des direkten Frontalstosses der Wellen zurückzuführen.

Ein Schiffshaltepfahl wurde von einem in den Vorhafen stürzenden Trümmerstück der Mauer getroffen und in der Ebene der Rampe abgeschleert.

Der Haltepfahl war in das Mauerwerk fest eingefügt und hatte die in Fig. 4 Tafel II. dargestellte Gestalt.

Der Zerstörungsvorgang.

a) « Neue » Mole. — Berücksichtigt man die ungewöhnliche Heftigkeit des Unwetters, so ist an der Beschädigung des Hafendamms der « Neuen » Mole nichts Aussergewöhnliches.

Die Wellen stiegen an der flachen äusseren Böschung empor und schlugen mit Macht gegen den Oberbau der Mole; die Wirkung der sich brechenden Wellen und der Brandung trieb dann Beton- und Felsblöcke ins Meer. Dies ist der gleiche Zerstörungsvorgang, wie am Meeresstrande, wo auch die längs der Küste vorhandenen Hindernisse die freie Ausbreitung der Wellen beschränken, wodurch der Strand allmählich weggerissen wird.

b) Galliera-Mole. — Aus Fig. 1 Tafel II. ist die Lage der beiden Arme zu ersehen, aus denen die Galliera-Mole besteht, und deren einer nach S., der andere nach O.-SO. gerichtet ist; ferner ist darin die Wind- und Wellenrichtung während des Orkans, sowie Form und Lage der Betonblöcke angegeben, welche die obere Lage der Abdeckungskappe bildeten.

Im allgemeinen bedeutet bei Molenzügen jedes Knie, besonders wenn es nicht rechtwinklig ist, eine schwache Stelle.

So begann auch hier bei der Galliera-Mole zuerst in der Nähe des Knies die Widerstandsfähigkeit des Aufbaues nachzulassen, und die Beschädigungen waren gerade an dieser Stelle, und zwar an den unter Wasser liegenden Partien, besonders bedeutend.

Alljährlich zur Zeit der Winterstürme kam es nicht selten vor, dass kleinere Bruchsteine von der Rückendeckung der Kappe aus Betonblöcken gegen die Brustmauer geworfen wur-

den; die Arbeit der laufenden Unterhaltung bestand dann darin, diese Steine von der Rampe, die den Aussenweg an der Mole bildet, zu entfernen.

Bei dem in Rede stehenden Orkan hölhten die von S.-SO. kommenden Wellen ein tiefes Loch bei BC; die Bruchsteine der Rückenverstärkung für die Betonabdeckung wurden nach A auf einen grossen Haufen zusammengeworfen.

Dies erhellt aus den Schnitten I. und II. (Taf. II, Fig. 2 und 3); Schnitt I. ist an Ort und Stelle nach der Wirklichkeit aufgenommen, Schnitt II soll nur den vermutlichen Entstehungsvorgang der Beschädigungen schematisch darstellen.

Die Blöcke der Kappe waren auf dem Molenknie gleichsam wie Steine eines Gewölbes mit vertikalen Erzeugenden verlegt, ihre Lage machte sie also sehr widerstandsfähig gegen direkte Wellenstösse. Nachdem sie jedoch ihrer Rückenstützung beraubt waren, wurden sie mit einem Druck ins Meer geschleudert, der der Höhe der Wellenkämme entsprach, also mindestens 30 Tonnen pro m² betrug, wenn nicht noch mehr.

Bedenkt man, dass jeder Block 50 to. wog, und dass dieses Gewicht durch den Auftrieb im Wasser noch auf ca. 30 to. vermindert wurde, so braucht wohl nicht erst zahlenmässig nachgewiesen zu werden, dass der Reibungswiderstand zur Verhinderung des Gleitens durchaus unzureichend war.

Sobald die Blöcke erst ins Gleiten gekommen waren, wurden sie von den Sturzwellen an der Flanke gefasst und so auf die äussere Böschung verschleppt, wo man sie bei klarem Wasser und ruhiger See später verstreut liegen sehen konnte.

Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile, welche die Anordnung der Abdeckungsblöcke in regelmässigen Stufen gegenüber der losen unregelmässigen Verstärkung bietet, sind unbestreitbar und allgemein bekannt. Ebenso klar ist jedoch, dass, sobald erst aus den Stufen ein Block herausgerissen ist, und die Heftigkeit des Seeganges nicht nachlässt, dann eine ausgedehnte Zerstörung die Folge sein kann, obschon auch manchmal der Schaden klein bleibt und nicht weiter um sich greift.

Unmöglich kann man doch erwarten, dass etwa die benachbarten Blöcke die Stelle des Fehlenden einnehmen, und so gleichsam selbsttätig die Quelle des Uebels verstopfen.

An diese Tatsachen wollte ich nur erinnern, um daraus hinsichtlich der Anordnung der Kappenblöcke auf der Gallieramole den Schluss herzuleiten, dass die Zerstörung sich unausbleiblich längs des ganzen Aussenarms ausbreiten musste, in

dem Masse, wie gegenseitige Hemmung und Stützung, die wesentlichen Grundlagen für den Zusammenhalt, verloren gingen.

Mit den Blöcken der zweiten Lage, auf denen nun kein Gewicht mehr lastete, und deren Eigengewicht auch geringer war, hatten die Wellen jetzt leichtes Spiel, und ihre Zerstörungsarbeit wurde noch durch das unvermeidliche Nachgeben der Unterlagsteine der Dammschüttung begünstigt.

Direkt in dem Knie blieb die Mauer bestehen, obgleich sie nunmehr bis an ihr Fundament ungeschützt war. Der Grund dafür ist vielleicht darin zu suchen, dass sie gleichsam einen gewölbten Bogen mit Widerlager an den beiden Molenarmen darstellt oder darin, dass die Wellen schief auftrafen, oder schliesslich darin, dass die innere Treppe eine Verstärkung bildete.

Ich habe bereits vorher in allen Einzelheiten auseinandergesetzt, warum und wie die Mauer auf der Anfangsstrecke des Aussenarms der Mole zerstört wurde.

Schlussfolgerungen.

Durch das Studium der Beschädigungen an der Galliera-Mole und die Forschung nach der Art ihrer Entstehung und Ausbreitung werden wir zu lehrreichen Schlüssen geführt, sowohl in Hinblick auf die auszuführenden Wiederherstellungsarbeiten, wie hinsichtlich der Errichtung neuer Werke, die den örtlichen Seeverhältnissen angepasst sein müssen. Wir wollen diese Schlussfolgerungen folgendermassen zusammenfassen :

1) Sämtliche Betonblöcke, vor allem jedoch die der obersten Reihe der Abdeckungskappe (Bekrönung) müssen viel grössere Dimensionen haben, wie die, welche zur Konstruktion der Galliera-Mole verwandt wurden.

2) Der Aufbau des oberen Teils der Betonabdeckung mit steilerer, nahezu senkrechter Böschung würde der Brustmauer wirksameren Schutz gewähren.

3) Die Kronenrampe des Steinkerns der Dammschüttung wird viel besser dadurch gegen Verfall geschützt, dass man die Abdeckung in Betonblöcken bis auf die erforderliche Tiefe herunterbringt, als durch eine Belastung mit Bruchsteinen, die sie schützen soll, wie es die ganze Zeit über bei der Galliera-Mole gemacht wurde.

4) Die Standfestigkeit der Betonblöcke der äusseren Abdeckung ist nur eine beschränkte; sie kann in Frage gestellt werden, wenn eine Lücke im Zusammenhang der Abdeckung oder ein leerer Raum zwischen ihr und der Brustmauer entsteht. Dies bezieht sich sowohl auf den direkten Stoss der Wellen, wie auf Reaktions- und Rückschlagswirkungen.

5) Es ist notwendig, die direkte Angriffsfläche der Brustmauer zu verringern, dadurch, dass die äussere Rampe höher gelegt wird, wie es bei französischen Häfen nach dem Muster der Hafenculvert vom Marseille allgemeiner Brauch ist.

6) Die Breite der Rampe zwischen dem äusseren Rand des Damms und der Brustmauer trägt zum Schutze der letzteren nichts bei; für Neuausführungen wird es von Vorteil sein, wenn das Gewicht der Mauer zur Belastung der Betonblöcke mit herangezogen und die Dammschüttung so angelegt wird, dass die Gefahr der Beschädigung durch die Brandung ausgeschlossen ist.

II. — Wiederherstellung und Verstärkung der Galliera-Mole.

Es erwies sich als fast unausführbar und auch unrationell, der Galliera-Mole bei der Wiederherstellung den gleichen Querschnitt zu geben, den sie früher gehabt hatte.

Die Wiederherstellungs- und Verstärkungsarbeiten wurden nach den in den Schlussfolgerungen des ersten Teils angegebenen Grundsätzen ausgeführt und sind kurz folgende:

1) Wiederaufbau des Mantels in Betonblöcken bis annähernd zum Strich + 0,50 über mittlerem Meeresspiegel;

2) darüber Konstruktion einer Bekrönung aus schweren Mauerblöcken;

3) Konstruktion von Verbindungsblöcken aus Mauerwerk als « Strecker » verlegt zwischen äusserer Rampe neben der Brustmauer und der Bekrönung;

4) Aufhöhung der Rampe;

5) Wiederaufbau der Brustmauer und Nebenarbeiten.

Die Querschnitte der Mole im Knie und auf dem anschliessenden Abschnitt des Aussenarms, wie sie sich nach Vollendung der Wiederherstellungsarbeiten darstellen, zeigt Fig. 6 und 7 Tafel II. Der Grundriss der aus dem Wasser ragenden Partien ist aus Fig. 5 zu ersehen.

Die Betonblöcke der Abdeckungskappe.

Wollte man die Betonblöcke in regelmässiger Stufenanordnung verlegen, so hätte man an den Stellen, wo die Blöcke der Abdeckungskappe theils weggeschwemmt, theils verschoben worden waren, eine Menge Blöcke und Steine auffischen und aus dem Wasser holen müssen; eine derartige Ausführung hätte sich also recht teuer gestellt, und in der Zwischenzeit wäre die Mole noch mehr von schützender Deckung entblösst und bei neuen Stürmen den grössten Gefahren ausgesetzt gewesen.

Bei der Unmöglichkeit, die früher innegehabte Lage genau wiederherzustellen, verlegte man die neuen Blöcke so regelmässig wie möglich, indem man sie mittelst der Ketten des Hebeprahms in ihre endgültige Lage brachte. Sämtliche Blöcke wurden als Strecker verlegt, d. h. mit ihrer Längsrichtung normal zur Molenachse, und so aneinander gefügt, dass die zwischen ihnen verbleibenden Fugen möglichst gering waren.

Die Blöcke erhielten die Abmessungen 5 m × 2 m × 2,25 m entsprechend einem Gewicht von etwa 50 Tonnen.

Bekrönungsblöcke.

Nachdem man die Notwendigkeit einer wuchtigen Auflast für die Betonabdeckung erkannt hatte, hätte es vielleicht nahegelegen, eine zusammenhängende Mauerkonstruktion als für diese Zwecke am besten geeignet, anzusehen. Eine kritische Prüfung der Havarien an Molen mit Unterbau in Steinschüttung und Oberbau in zusammenhängendem Mauerwerk ist jedoch in dieser Hinsicht sehr belehrend.

Die breiten Grunddämme von Molen in tiefem Wasser setzen sich beständig und unregelmässig, die Abdeckungsblöcke gehen mit und das Mauerwerk des Oberbaues stellt sich schief und bildet gewissermassen einen Balken auf vielen Stützen.

Tritt dieser Fall ein, so geschieht es oft, dass der Oberbau reisst — und dann wäre es schon besser gewesen, man hätte ihn gleich von Anfang an mehrteilig konstruiert, — oder er hält sich, und dann dringen die Wellen in die darunter klaffenden Lücken ein, treffen auf den aus Steingeröll gebildeten Kern des Unterlagdammes und verursachen daran oft schwere Beschädigungen.

Da man nun mit der gegebenen inneren Struktur der Galliera-Mole rechnen musste, so hielt man es auf Grund dieser

Ueberlegungen für angezeigt, die Bekrönung aus von einander unabhängigen Blöcken herzustellen, damit sie bei Senkungen der Unterlagsblöcke gleichfalls nachgeben können. Diese Blöcke entsprechen in ihrer Anordnung und Bestimmung den « Schutzblöcken » (blocs de garde) der französischen Molen. Bei Festsetzung ihrer Abmessungen verfolgte man den Zweck, ihnen grösstmögliche Standfestigkeit zu verleihen, dabei jedoch die durch hohe vertikale Wände verursachte starke Brandung zu vermeiden.

Die Blöcke sind jeder 7 m lang (sie liegen der Länge nach quer zur Molenachse) 4 m breit und 3,20 m hoch, haben also 90 m³ Inhalt und ein Gewicht von mehr als 200 to. (Tafel II, Fig. 8.)

In beschränkter Masse kamen « plastische Säcke », wie sie bei englischen Molengründungen verwandt worden sind, zur Anwendung, in der Absicht, für die Bekrönungsblöcke eine solide ebene Unterlagsfläche zu schaffen.

Für jeden Block stellte man einen Sack aus grober Leinwand her, dessen Form und Abmessungen so gut wie möglich den unregelmässigen und teilweise ziemlich tiefen Hohlstellen des Unterbaus angepasst waren.

Der Sack wurde in die aufzufüllende Höhlung eingebracht, und sodann mit Cementbeton und der plastischen Masse gefüllt, deren Einfüllung man besonders sorgfältig regelte, um übermässige Spannungen und daraus sich ergebende Zerreibungen der Leinwand zu vermeiden. Er schmiegte sich allen Unebenheiten vollkommen an und füllte alle leeren Räume mit fester Anpassung aus.

Der Beton war aus 350 Kilogramm Cement, 0,50 m³ Sand und 0,75 m³ Kies zusammengesetzt.

Man verfolgte ferner die Absicht, auch das Gewicht der Basisblöcke mit nutzbar zu machen und zu dem der oberen Blöcke zu addieren, sowie das Eindringen der dünnen Schicht Wasser möglichst zu verhindern, die schon zur Uebertragung des Drucks und Erzeugung des Drucks von unten her ausreicht. Es wurden daher in den noch frischen Beton kräftige Eisenstäbe eingesetzt und mittelst Gussform ein über die Basisebene herausragender Vorsprung, eine Art Architrav, hergestellt. Da die Bekrönungsblöcke wegen ihrer bedeutenden Abmessungen an Ort und Stelle nahe dem Meeresniveau und an sehr exponiertem Platz hergestellt werden mussten, so war man genötigt, Cementmörtel mit 700 Kilogramm Cement auf den m³ Sand zu verwenden.

Bei der Projektierung erschien es fraglich, ob es besser wäre, die Blöcke aus Beton herzustellen oder aus Bruchsteinmauerwerk. Lange Zeit hindurch sind ja in Genua und den anderen italienischen Häfen fast ausschliesslich Betonblöcke zur Anwendung gekommen.

Im Gegensatz dazu entschied man sich bei der Herstellung der Bekrönungsblöcke der Galliera-Mole für Mauerwerk, und zwar aus folgenden Gründen :

1.) Die Blöcke kosten so etwa ein Drittel weniger, als wenn man sie aus Beton gemacht hätte ;

2.) Bei Verwendung von Cementmörtel, der sehr hohe Widerstands- und Adhäsionskoeffizienten hat, konnten die bei Mauerwerk unvermeidlichen geringfügigen Mängel die Festigkeit des Ganzen nicht wesentlich ungünstig beeinflussen ;

3.) Da zur Herstellung jedes Blocks mehrere Tage erforderlich waren, so gab die Anwendung von Mauerwerk eine bessere Gewähr für den Zusammenhalt der an den einzelnen Werktagen hergestellten verschiedenen Schichten.

Die obere Fläche jedes Blocks liess man uneben, sodass sie vorspringende Steine neben Vertiefungen zeigte, und bedeckte sie mit einer Schicht Cementbeton von etwa 20 cm Stärke.

Diese Anordnungen haben ihren Grund in folgenden Ueberlegungen :

1.) Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Verputz der künstlich hergestellten Blöcke auf den Molen äusserst schnellem Verfall ausgesetzt ist. Der Grund dafür liegt entweder in den Stössen der Blöcke gegen einander, wodurch die Kanten abgestossen werden, oder in den Temperaturänderungen, welche Risse- und Blasenbildung verursachen.

2.) Die auf die Bekrönungsblöcke auftreffenden Wellen steigen strahlförmig in die Höhe und die gesammte hochgeschleuderte Wassermasse fällt dann auf die obere Fläche der Blöcke mit einer der Fallhöhe entsprechenden Geschwindigkeit. Die in Rede stehende Fläche muss daher unbedingt zusammenhängend und widerstandsfähig sein.

Die 0,10 m weiten Fugen zwischen den Blöcken wurden ungefähr zu zwei Dritteln ihrer Höhe mit Cementbeton ausgefüllt. Die Füllung fällt nach der Seeseite zu schräg ab und greift in schwalbenschwanzförmige Nuten je zweier benachbarter Blöcke ein. (Taf. II. Fig. 9.)

Verbindungsblöcke.

Der alleinige Zweck, eine Verbindung mit den Bekrönungsblöcken zu schaffen, hätte die Anwendung eines lückenlosen Mauerwerks nicht gerechtfertigt; es sind daher zwischen den Verbindungsblöcken Lücken gelassen worden, weniger um Material zu sparen, als um die hochgeschleuderten Wassermassen bei ihrem Herabstürzen zu zerteilen und ihre gefährliche Wirkung zu mildern.

Aufhöhung der Rampe.

Die Rampe ist um etwa 2 m aufgehört worden, wodurch die Angriffsfläche der Brustmauer um ein Drittel verkleinert wurde.

Wiederaufbau der Brustmauer.

Die Brustmauer wurde vom Sockel an aus Schichten aufgebaut, die gegen die Aussenfläche Neigung haben und durch grosse aufrecht gestellte Steine miteinander verbunden sind. Es soll so bei den gleichen Dimensionen eine grössere Widerstandsfähigkeit gegen Umstürzen und Gleiten erzielt werden.

Resultat.

Wie vorauszusehen war, verhalten sich die Wellen, die auf die Galliera-Mole treffen, jetzt ganz anders auf der äusseren Molenstrecke, die das alte Profil beibehalten hat, wie auf der Strecke, die nach der Sturmflut erneuert und verstärkt worden ist.

In dieser Hinsicht liessen sich sehr interessante Beobachtungen machen, besonders während der Sturmflut vom 30. Januar 1901.

Auf der äusseren Strecke der Mole wurden die Wassermassen mit schräger Bahn heraufgeschleudert, trafen die Aussenfläche der Brustmauer, stiegen über das obere Geländer hinweg und fielen auf den inneren Quai nieder, wo sie grosse Mengen Kohle, die dort provisorisch aufgestapelt waren, wegschwemmten.

Auf der verstärkten Strecke dagegen war die Richtung der hochgeschleuderten Strahlen fast senkrecht, sodass man oben auf der Mauer gehen konnte.

Dies Verhalten der Wellen macht wohl die Möglichkeit einer erneuten Beschädigung der vom Wasser bespülten Partien kaum wahrscheinlich. Denn da jetzt die Bekrönungsblöcke erheblich niedriger liegen, so gehen alle einigermaßen hohen Wellen über den äusseren Rand hinweg, fallen auf die obere Fläche und stürzen von da ins Meer zurück, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die der Fallhöhe, jetzt nur etwa 4 m, entspricht.

Kosten der Arbeitsausführung.

Die Gesamtkosten der Arbeiten zur Wiederherstellung und Verstärkung der beschädigten Werke betragen 894338 Lire.

III. — Der Einfluss der Form und Bauart der Molen auf ihre Widerstandsfähigkeit.

Auf dem VIII. Schiffahrtskongress wurden die verschiedenen Typen der äusseren Hafentmolen weitläufig besprochen. Man kam zu dem Schlusse, dass es weder ein bestimmtes Querprofil, noch eine bestimmte Konstruktionsweise für Hafentmolen gäbe, deren Anwendung stets und überall Erfolg verspricht; vielmehr könnten beide Faktoren je nach den örtlichen Verhältnissen stark variieren.

In der Tat können ja ohne Zweifel das Grundprofil und die Erstreckungsweite der freien Meeresfläche vor der Mole, sowie auch die Materialbeschaffungsverhältnisse des Landes in den verschiedenen Fällen zur Wahl sehr verschiedener Form und Struktur zwingen.

Da es jedoch hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit Bedingungen giebt, denen alle Schutzwerke an der See entsprechen müssen, so wird es nichtsdestoweniger möglich sein, gewisse allgemeine Kriterien hinsichtlich der Form und Beschaffenheit der Molen aufzustellen.

Aussenprofil der Molen.

Will man ein Aussenprofil haben, das ein Minimum der erforderlichen Widerstandsarbeit gegen die Wellenbewegung er giebt, so sind folgende beiden Typen denkbar:

1.) Ganz sanft ansteigende Böschung von derartiger Länge, dass die Verschiebungsgeschwindigkeit der Wellen, die an der Böschung hinansteigen, nach und nach durch die Wirkung der Schwere vernichtet wird;

2.) eine senkrechte Wand, welche auf die schwingende Bewegung der Wellen keinen Einfluss ausübt.

Von den Molen der ersteren Gattung haben wir klassische Beispiele in der Trajansmole von Civitavecchia, sowie in den Molen von Portland, Holyhead und Plymouth. Diese Bauart kann jedoch zur Zeit als aufgegeben betrachtet werden, da die Herstellung ganz beträchtlichen Zeit- und Kostenaufwand erfordert, und fortwährend kostspielige Unterhaltungsarbeiten nötig werden, indem es unmöglich ist, die Aussenböschung in den Zustand stabilen Gleichgewichts zu bringen und darin zu erhalten.

Die zweite Gattung mit senkrechter oder nahezu senkrechter bis auf den Grund reichender Aussenwand ist hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit die rationellste.

Die Horizontalkomponente der Geschwindigkeit und damit die Stosskraft der Wellen ändert sich umgekehrt proportional zu der Neigung des Hindernisses, das ihre Bewegung aufhält. Die Wirkung einer senkrechten Wand auf eine in schwingender Bewegung begriffene Welle äussert sich also in einer grösseren Erhebung der Welle, deren Anfangsgeschwindigkeit sich zum grössten Teil in die aufsteigende Bewegung des Strahles umsetzt.

Dazu ist jedoch zu bemerken, dass bis vor wenigen Jahren Molen dieser Bauart nur in England und seinen Kolonien, sowie in einigen Häfen des schwarzen Meers konstruiert worden sind.

Im allgemeinen hegte man die Besorgnis, es könnte der Rückstoss, herrührend von der Geschwindigkeit, welche die Masse der Wasserstrahlen beim Fall erreicht, die Mole an der Basis unterwühlen und dadurch ihre Zerstörung hervorrufen, wie es in der Tat an der Mündung des Tyne eingetreten ist. Ferner war zu befürchten, dass ein undurchlässiges Hindernis, wie es die Mole darstellt, den Gang der Meeresströmung durchaus abändern und dadurch Abzehrungen des Grundes hervorrufen könnte.

Da man nun andererseits aus den oben erwähnten Gründen die weit vorgezogene Böschung, welche die Verhältnisse an der Küste nachahmt, als praktisch nicht anwendbar erkannte, so suchte man den Nachteil der geringeren Standfestigkeit, der

sich aus der steilen Neigung ergab, dadurch auszugleichen, dass man die einzelnen Bestandteile der Konstruktion schwerer machte.

Aus diesem Gedankengang heraus begann man mit der Anwendung der Abdeckungskappe aus Betonblöcken.

Dieser Konstruktion der Betonbekleidung lag also jedenfalls eine gesunde Idee zu Grunde; bei ihrer Ausführung in lose verstürzten Blöcken hat sie es jedoch nicht möglich gemacht, die Böschungen in stabilen Gleichgewichtszustand zu bringen, und bei ihrer Ausführung in regelmässigen Stufen hat sie sogar nicht einmal die Brustmauer vor Zerstörungen zu schützen vermocht.

Die Geschichte der algerischen und einiger italienischer Häfen ist in dieser Hinsicht ganz besonders lehrreich.

Zugegeben, dass auch bei Molen mit angenähert senkrechtem Aussenprofil (Aberdeen, Madras, Tynemouth) Havarien vorgekommen sind, so beweist dies nur, dass bei *Anwendung* des Prinzips von gewissen Normen nicht abgewichen werden darf, ohne dass derartige Vorkommnisse den *Wert* des Prinzips an sich irgendwie beeinträchtigen könnten.

Das besprochene Prinzip kommt jetzt auch in Italien in Aufnahme; man hat es bereits bei der Konstruktion der Wellenbrecher im Hafen von Neapel in Anwendung gebracht, und in dem Projekt zur Erweiterung des Hafens von Genua ist eine entsprechende Ausführung gleichfalls in Aussicht genommen.

Bei festem Grund stützt man am besten das Schutzwerk direkt auf den Grund, nachdem die Unebenheiten der Auflageebene vorher mit Beton ausgeglichen sind.

Bei sehr grosser Wassertiefe ist jedoch diese Methode aus wirtschaftlichen Gründen nicht anwendbar, und es müsste daher zunächst ein Grunddamm aufgeschüttet werden; zum Beweise sei daran erinnert, dass die Baukosten der in Ausführung begriffenen Molen von Dover und Malta auf ca. 30000 Lire pro laufenden Meter geschätzt sind.

Der ganze Bau wird vorteilhaft aus grossen Konstruktionselementen gebildet, die jedes für sich schon dem Ansturm der Fluten widerstehen können. Wo dies jedoch unausführbar oder untunlich erscheint, müsste der Mangel an Widerstandskraft jedes einzelnen Konstruktionselements ausgeglichen werden, entweder durch möglichst innigen Anschluss der Teile aneinander, wodurch Eindringen der Druckwirkung in die inneren Fugen verhindert wird, oder durch entsprechende Verbindung der Teile mit einander, wodurch die stärker bean-

spruchten Teile an den weniger beanspruchten benachbarten Halt und Stütze finden.

Die eigentliche Mole muss jedoch im vertikalen Sinne immer genügend nachgiebig sein, um den oft beträchtlichen und ganz unregelmässigen Sackungen der Gründung folgen zu können. Die Erhaltung des Grundes, falls er beweglich ist, sowie auch die Instandhaltung der Dammkrone, ist für die Haltbarkeit des ganzen Werks von ausschlaggebender Bedeutung.

Durch diese Rücksicht erscheint es also gerechtfertigt, dass gegenwärtig das Bestreben dahin geht, den Grunddamm nur auf ganz beschränkte Höhe zu bringen. In Peterhead hat man ihn beispielsweise nur so hoch gebracht, dass seine Oberkante 13,10 m tief unter Ebbwasserstand liegt.

Abgesehen von der Widerstandsfähigkeit gewährt der in Rede stehende Molentyp noch folgende Vorteile :

- 1.) Schnelligkeit der Ausführung,
- 2.) Geringeres Materialvolumen, und infolgedessen auch meist geringere Gesamtkosten, trotz höherer Kosten für die einzelnen Bestandteile,
- 3.) Unterhaltungskosten auf ein Minimum reduziert.

Innerer Aufbau der Molen.

Das Sortieren der Steine, wie es zwecks rationeller und sparsamer Verwendung des Materials geschieht, verursacht die Bildung zahlreicher Hohlräume in den Grunddämmen.

Dadurch werden unregelmässige Sackungen erzeugt, die fast niemals zum Stillstande kommen ; diese Sackungen haben jedoch mit der Nachgiebigkeit des Grundes nichts zu thun, sondern rühren davon her, dass ihr eigenes Material sich setzt, zerbricht, oder durch die Tätigkeit der Wellen sich abnutzt.

Ein Oberbau, wie er heute in der Technik mehr und mehr in Aufnahme kommt, der sozusagen einen kompakten Klotz darstellt, erfordert jedoch, dass Umfang sowie Unregelmässigkeit der Sackungen auf ein Minimum beschränkt sei. Solches kann man jedoch nur erreichen, wenn man die Schüttung schichtweis herstellt und den in passender Tiefe abgeglichenen Kern des Grunddammes aus Material verschiedener Grösse einschliesslich feinen Schotters, aufbaut. Bei dem gegenwärtigen Stande der Technik kann man dreist daran denken, die Abgleichung der Grunddämme unter Wasser mit Hilfe beweglicher Pressluft-Glocken auszuführen.

Wenn irgendwo, so dürfte man bei Seebauten für die Herstellung einer festen sicheren Gründung weder Mühe noch Kosten scheuen, und dies umsomehr, als diese Werke den höchsten Beanspruchungen Stand halten müssen, bei denen jede Abschätzung der Grösse versagt.

Jedenfalls ist zu verhüten, dass der Oberbau der Molen sich teilweise auf den inneren kompakteren Kern und gleichzeitig auf die Aussenbekleidung des Dammes aufsetzt.

Blöcke aus künstlichem Material.

Die Anordnung der Betonblöcke in loser Verstärkung bietet gewisse Vorteile: sie verursacht nur geringe Brandung, weil die Kraft der Welle zum grössten Teil verzehrt wird, und wenn ein Block fortgerissen ist, so nehmen die nächsten seine Stelle ein und hemmen so den Fortgang der Zerstörung. Eine Böschung mit derartiger Abdeckung verlangt jedoch beständige kostspielige Unterhaltung, ferner dringen die Wellen in klaffende Lücken ein, deren Trichterform zu einer beträchtlichen Vergrösserung der Stosswirkung Veranlassung giebt, und können die Steinfüllung des inneren Kerns durcheinanderwerfen und wegschwemmen, wenn diese Füllung nicht durch Schichten aus Steinen von schichtweis zunehmender Grösse wirksam geschützt ist.

Hinsichtlich der Standfestigkeit und sparsamen Verwendung des Materials ist die Anordnung in regelmässigen Stufen die rationellste.

Nicht zu vergessen ist jedoch, dass bei dieser Anordnung das Fehlen *eines* Blocks den Anfang zu einer Bresche bedeutet.

Es muss daher das Gewicht jedes Elements den Meeresverhältnissen an der Stelle entsprechen und der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Einzelteilen, der durch innige Berührung und geeignete Verbindungen erzielt wird, muss zur Erhöhung der Festigkeit des ganzen Aufbaus beitragen.

In italienischen Häfen hat man die Betonblöcke gewöhnlich normal zur Achse der Mole in Reihen angeordnet, die von einander ganz unabhängig sind, so dass sie die Glieder einer grossen beweglichen Kette bilden, die allen Bewegungen der Gründung folgen kann.

Die vertikalen Fugen sind jedoch gegen einander versetzt, und dies ist eine Anordnung, welche die Erfahrung als unvorteilhaft gekennzeichnet hat.

Es kommt tatsächlich nicht selten vor, dass ein Block einer

Lage sich mehr senkt, als seine Nachbarn, und dann sind die entsprechenden Blöcke der darüberliegenden Schicht nur einseitig gestützt und kragen über.

An den auf solche Art entstandenen Wölbungen und Konsolen lässt sich irgendwelche Unregelmässigkeit nicht erkennen, bis schliesslich die übernormale Biegungsbeanspruchung, welche unter der Wirkung der Ueberlastung und der Wellenstösse auftritt, die Festigkeit der Blöcke übersteigt und Bruch erfolgt. Ein solcher Vorgang leitet die Auflösung des Zusammenhangs des ganzen Aufbaus ein, was umso gefährlicher ist, als es sich gewöhnlich bei einer Sturmflut vollzieht.

Einzig und allein durch Anordnung der Blöcke in einzelnen Klötzen mit in der ganzen Höhe durchgehenden Vertikalfugen gelingt es, einen Oberbau zu erzielen, der allen Bewegungen der Gründung frei gehorcht und die Sackungen der unter Wasser liegenden Partien auf die oberen Partien überträgt, ohne dass dadurch Beschädigungen hervorgerufen werden.

Die verschiedenen Klötze senken sich sodann unabhängig voneinander, und die wagerechten Lageflächen der übereinander liegenden Blöcke bleiben stets in gegenseitiger vollständiger Berührung.

Die Verbindungsanker, welche den Zusammenhang der Blöcke untereinander sichern und dadurch die Festigkeit des Aufbaus erhöhen, ohne ihm die notwendige Nachgiebigkeit zu nehmen, können in Metall oder Beton herrgestellt sein.

Den Metallklammern bringt man aus folgenden Gründen ein gewisses Misstrauen entgegen :

Vor allem ist man nie absolut sicher, ob die Einschliessung der Metallteile so ganz undurchlässig ist, wie es im Interesse ihrer Erhaltung unbedingt erforderlich erscheint, und zweitens steht zu befürchten, dass die unablässigen Stösse und dadurch erfolgten wechselnden Erschütterungen mit der Zeit die Struktur des Metalls zum Schaden seiner Festigkeit ändern können.

Ob als Material für künstlich hergestellte Blöcke Mauerwerk oder Beton den Vorzug verdient, darüber lassen sich keine festen Regeln aufstellen.

Mauerwerk hat gegenüber Beton den Vorzug grösserer Billigkeit, dagegen ist es wieder schwieriger, es in geeigneter Güte herzustellen. Die Wahl des einen oder des anderen Materials hängt somit von örtlichen Verhältnissen ab, wie Materialpreis und Vorhandensein geschickter Maurer.

Massivblöcke.

Grosse Massivblöcke, wie man sie für den Aufbau der unter Wasser gelegenen Teile der Molen von Bilbao, Zeebrugge, Bizerta und Scheveningen verwandt hat und wie sie für den Hafen von Valparaiso projektiert sind, scheinen bezüglich der Festigkeit zweifellos rationell, geben jedoch auch zu einigen Bedenken Anlass.

Erstens sind solche massiven Einzelblöcke bisher nur an Plätzen von ganz ungewöhnlichen örtlichen Verhältnissen zur Anwendung gekommen, und unbestreitbar ist ihre Herstellung im allgemeinen schwierig und kostspielig.

Andrerseits ist auch der Mangel an Gleichmässigkeit in ihrer Zusammensetzung wohl geeignet, bezüglich ihrer Haltbarkeit Besorgnisse einzufliessen; insbesondere trifft dies für die in Bilbao gewählte Bauart zu.

Eine Länge von 30 m, wie sie sich bei den in Zeebrugge und Bizerta verwandten Blöcken findet, ist in gewissen Fällen sicherlich nicht mit den elastischen Eigenschaften vereinbar, die eine Mole haben muss, um den unregelmässigen Senkungen ihrer Gründung folgen zu können.

Wenn infolgedessen der Grunddamm in einzelnen Punkten nicht genügend belastet ist, so könnte es vorkommen, dass die Steine, aus denen er sich aufbaut, durch die Brandung durcheinandergeworfen und fortgeschwemmt werden, und das würde den Ruin des Werkes herbeiführen.

Dies ist nicht etwa nur eine blosser Hypothese, sondern eine bei der Nordmole an der Tynemündung vorgekommene Tatsache; dadurch kann allerdings der Wert des *Prinzips*, das bei Anwendung der Massivblöcke in Erscheinung tritt, nicht herabgesetzt werden, es beweist jedoch, dass es notwendig ist, die Art der seitherigen *Ausführung* dieses Prinzips teilweise wesentlich zu modifizieren. Der kürzlich erfolgte Unfall bei der Mole von Zeebrugge kann in dieser Meinung nur bestärken.

Brustmauern.

Bei allen italienischen Molen, an denen beträchtliche Zerstörungen vorgekommen sind (Civitavecchia, Genua, Catania) war

der am meisten in Mitleidenschaft gezogene Teil immer die Brustmauer. Sie war zu hoch, nicht genügend dick, und an der Aussenseite unten nicht durch eine den Anforderungen entsprechende Rampe verstärkt.

An ausgesetzten Punkten ermöglichen die Brustmauern bei Unwetter höchst selten die Benutzung der Quais, die sich an ihnen entlangziehen.

Es scheint also wohl richtiger, wenn man sich an derartigen exponierten Punkten nach dem Beispiel von Dover und Colombo u. s. w., auf eine einfache Bekrönung oder Brustwehr beschränkt, im Falle man nicht das Gewicht der Mauer als Belastungsgewicht zur Erhöhung der Standfestigkeit des Unterbaues auszunutzen wünscht.

Wo der Grund kein Fels ist und die Mole auf Steinschüttung gegründet ist, darf das Mauerwerk der Bekrönung nicht ununterbrochen fortlaufen, sondern die Bekrönung muss in Einzelabschnitte unterteilt sein, von solcher Ausdehnung, dass sie genügend widerstandfest sind. Die Vertikalfugen müssen die Fortsetzung der Fugen des Unterbaues bilden.

Sobald die Sackungen in Stärke und Unregelmässigkeit nachgelassen haben und nicht mehr Gefahr bringen können, kann man die Einzelabschnitte der Bekrönung vereinigen, und zwar geschieht dies in der Weise, dass Beton in die bei der Konstruktion für diesen Zweck vorgesehenen Schächte eingegossen wird.

Mörtel.

Bekanntlich ist bei Anwendung unter Wasser das Verhalten des hydraulischen Pozzolane-Mörtels durchaus verschieden von dem des Cementmörtels.

Man kennt Mörtel aus der Zeit der Römer, der also zwei Jahrtausende alt ist, aus fettem Kalk mit Pozzolane bestehend, sowie Trassmörtel von den alten holländischen Wasserbauten, die, obgleich in ihrer chemischen Zusammensetzung tiefgehenden Veränderungen unterworfen, trotzdem vorzügliche Cohäsion beibehalten haben.

Dagegen hat man bei Cementmörtel als Folge der Auflösung und Diffusion des Kalks im Meerwasser bedeutende Verschlechterungen konstatiert, wenn der Mörtel beständig unter Wasser war.

Trotzdem kann Cementmörtel, weil er sehr schnell erhärtet und hohe Festigkeit besitzt, für Seebauten, besonders an ausgesetzten Punkten mit Vorteil angewandt werden.

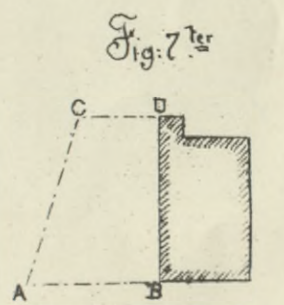
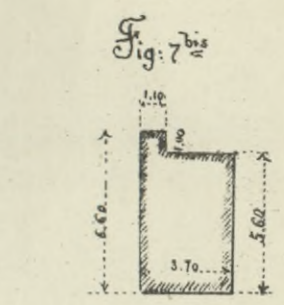
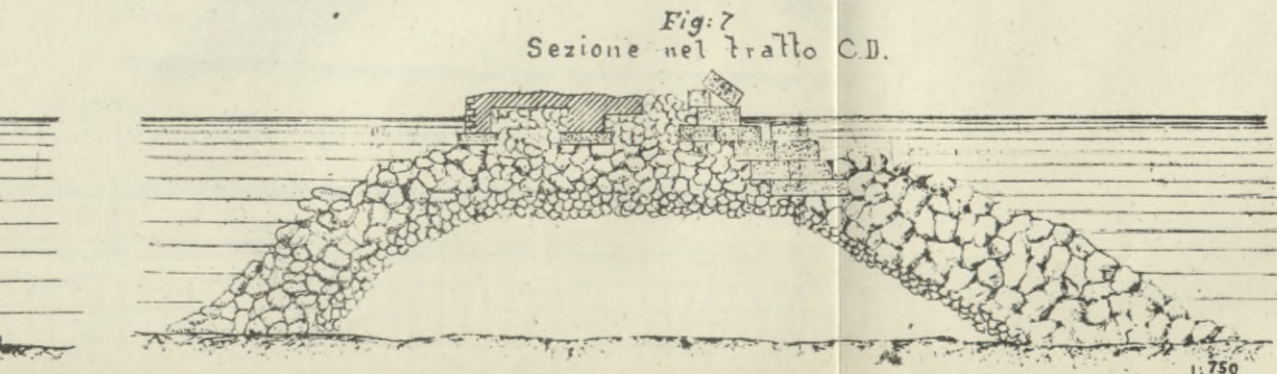
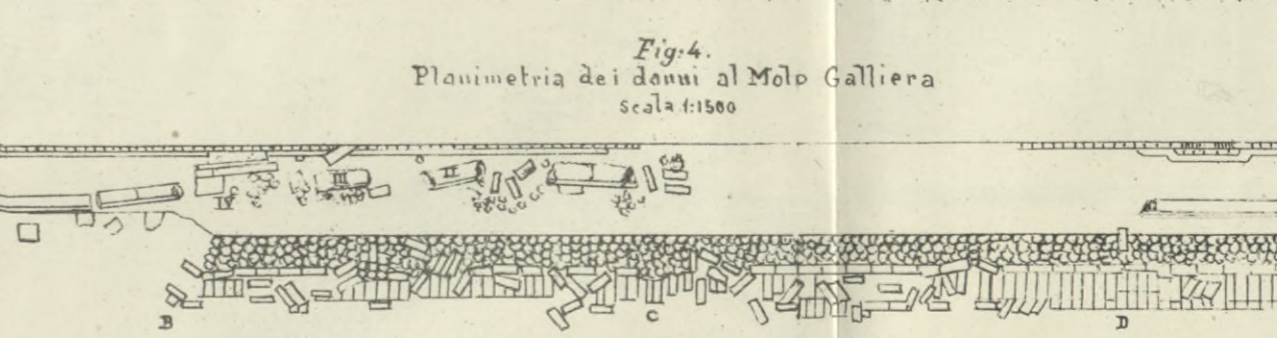
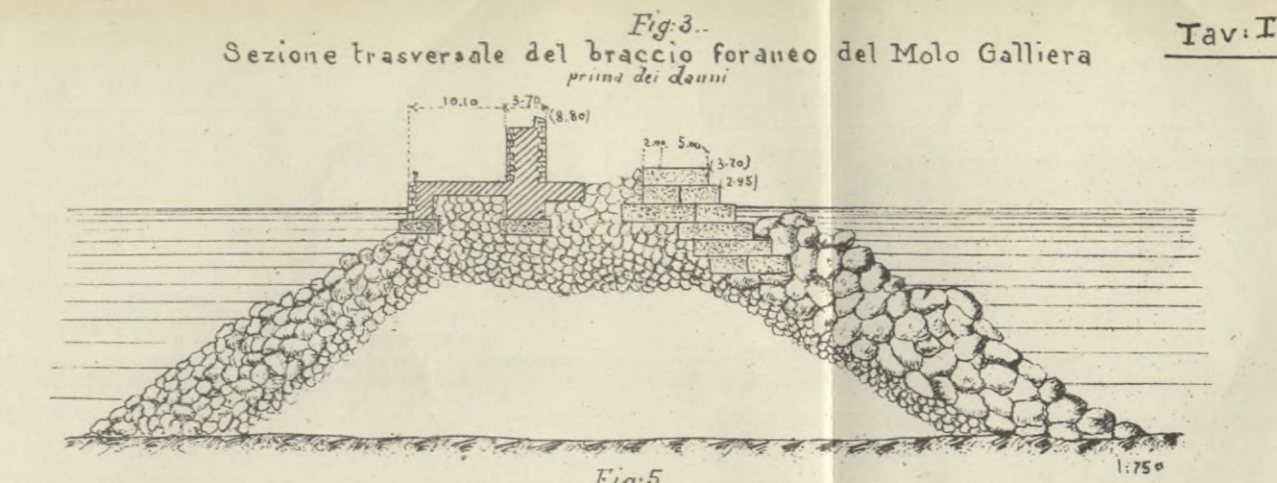
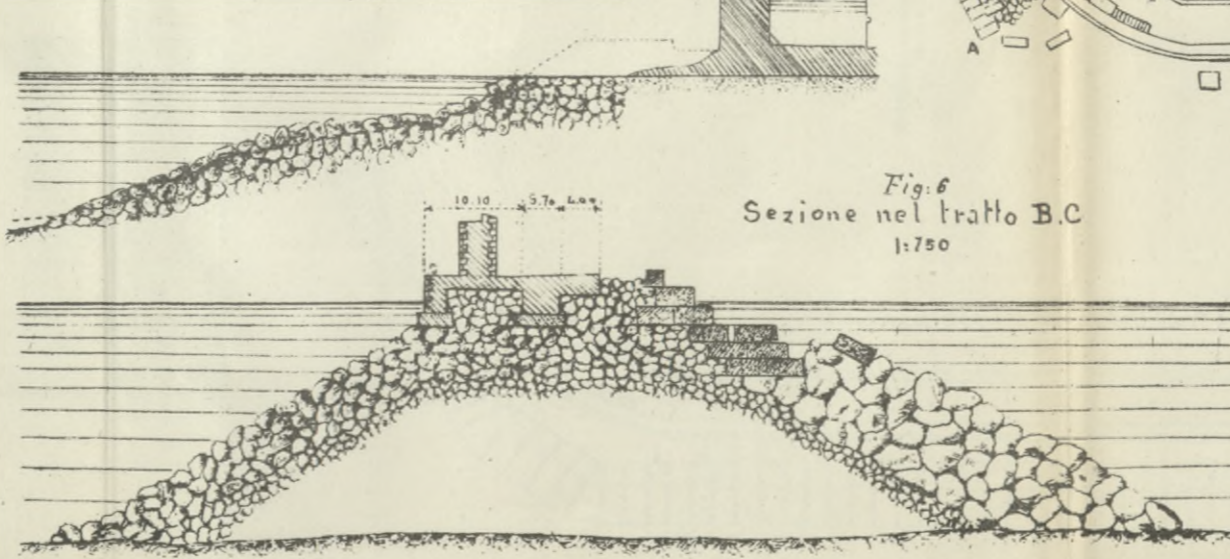
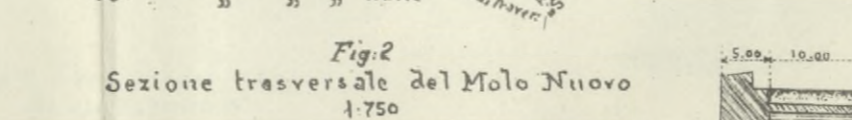
Ausserdem beweisen die Forschungen von Camerman, Rebuffat und Maynard, dass Cementmörtel unbedenklich in Meerwasser verwandt werden kann, im Falle er mit Pozzolanemasse vermischt wird, die den Kalk im Zustande des Silikats erhält. Im Anschluss an diese Forschungen hat man in Italien mit praktischen Versuchen zur Klärung dieser wichtigen Frage begonnen.

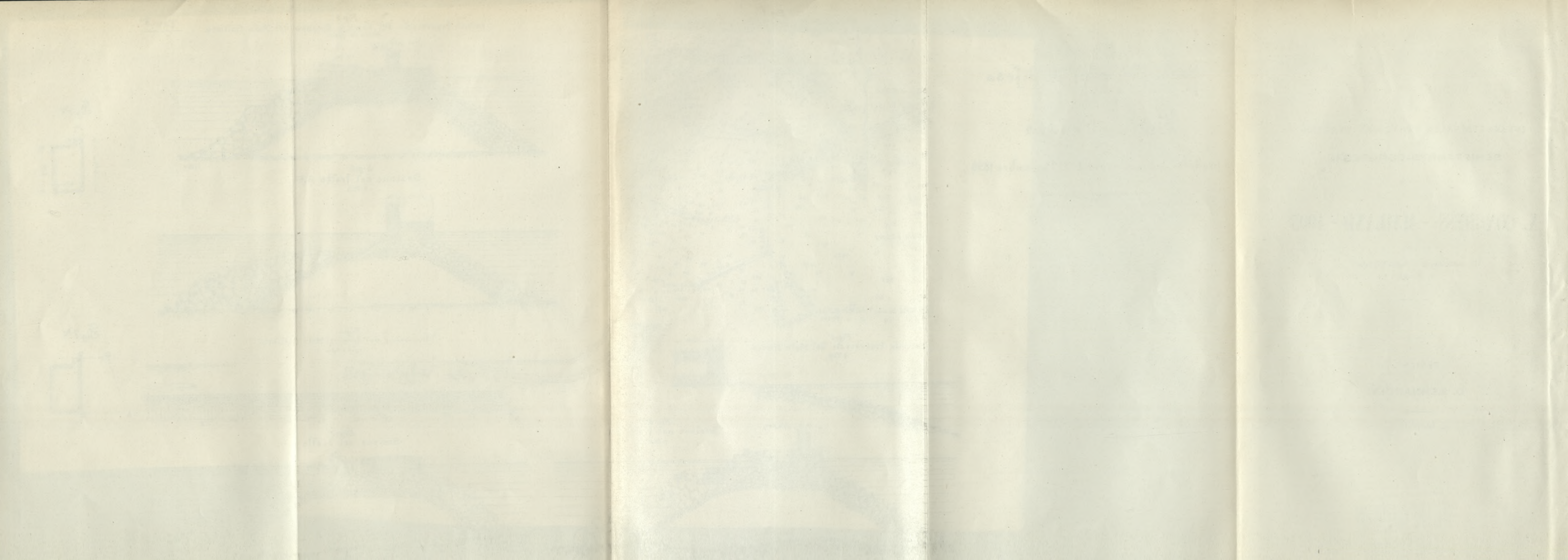
O. BERNARDINI.



Danni alle opere di difesa
dal
Porto di Genova

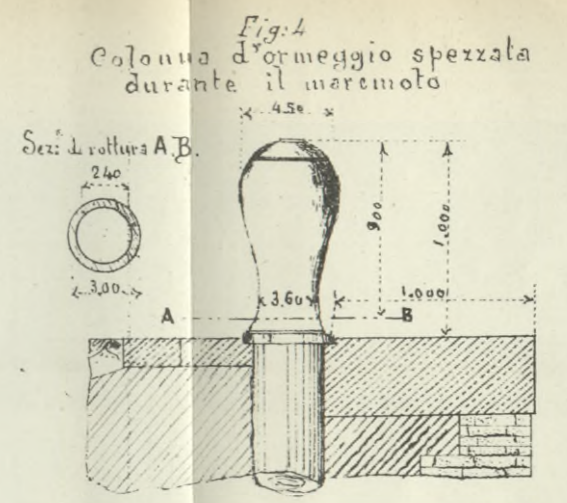
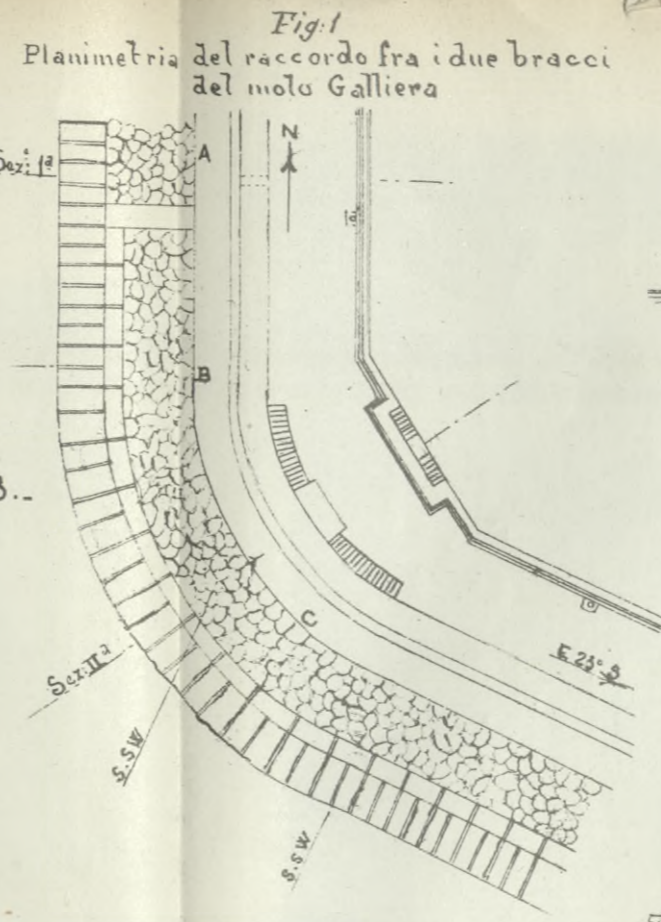
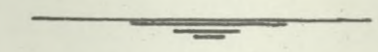
prodotti dal maremoto del 21 Novembre 1898.



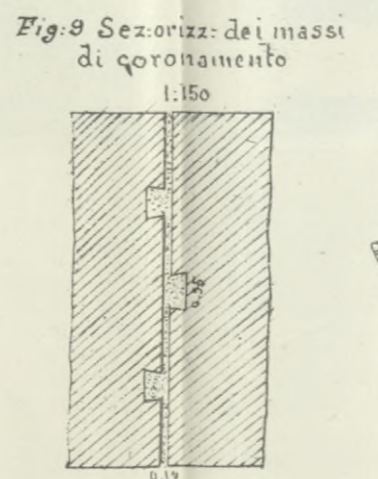
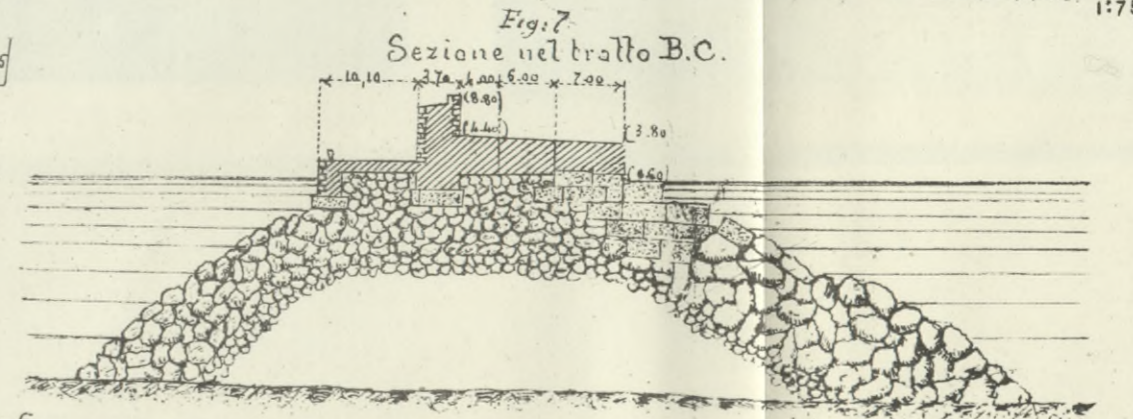
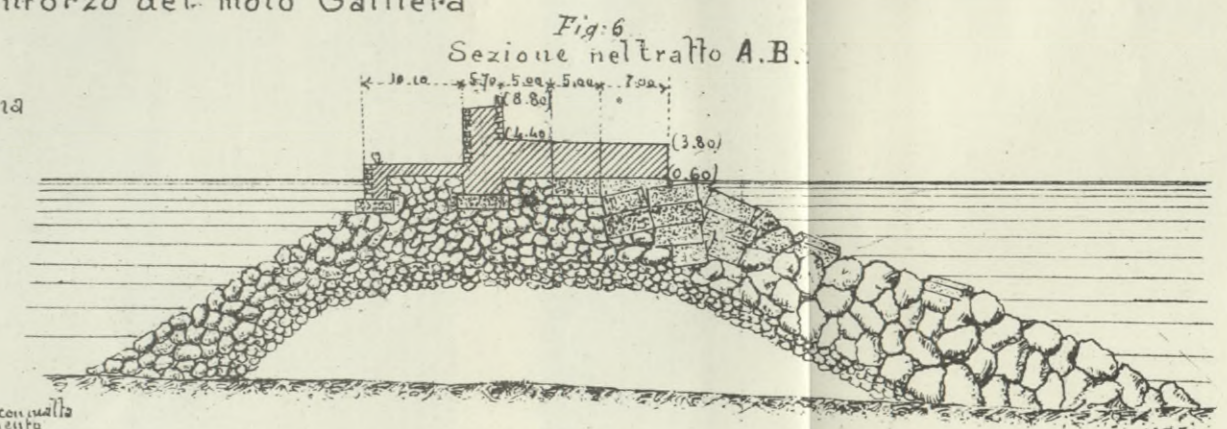
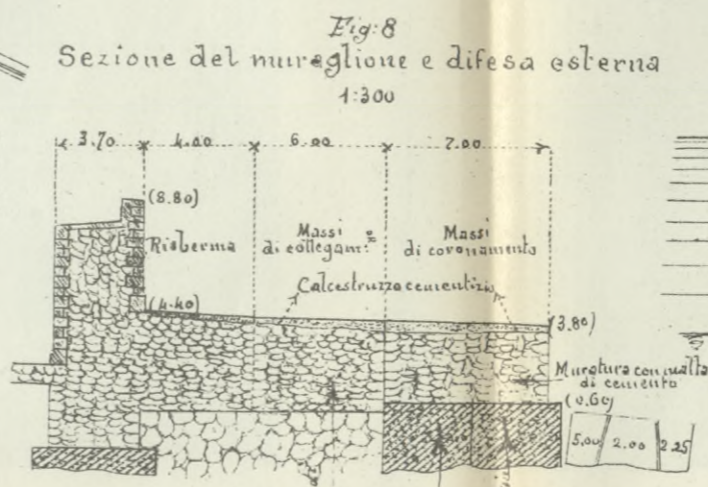


Danni alle opere di difesa del Porto di Genova

prodotti dal maremoto del 21 Novembre 1898..



Lavori di riparazioni e rinforzo del molo Galliera



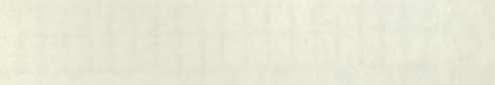
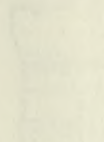
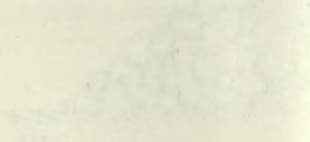
INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND
DER
SCHIFFAHRTS-CONGRESSE

X. CONGRESS - MAILAND - 1903

II. Abteilung : Seeschifffahrt
4. Frage

BERICHT
VON
O. BERNARDINI

BLATT II.



VERGLEICHENDE
SCHRIKHAFT-BOHRN

7. DRUCK - KILN

1. DRUCK - KILN

DRUCK
O. BEHÄLTNIS

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND
DER
SCHIFFFAHRTS-CONGRESSE

X. CONGRESS - MAILAND - 1905

II. Abteilung : Seeschifffahrt
4. Frage

BERICHT
VON
O. BERNARDINI

BLATT III.

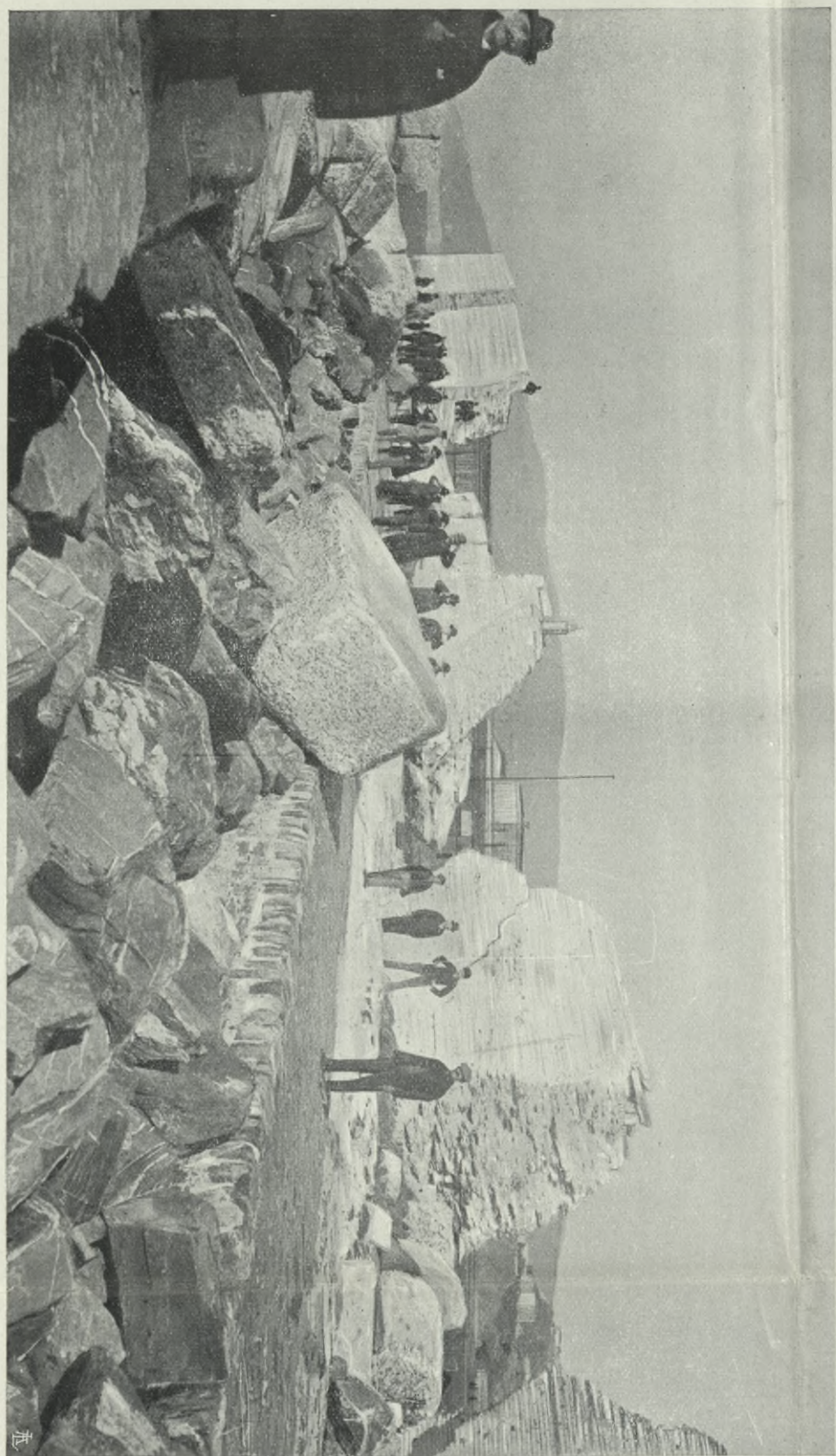


Fig. 5

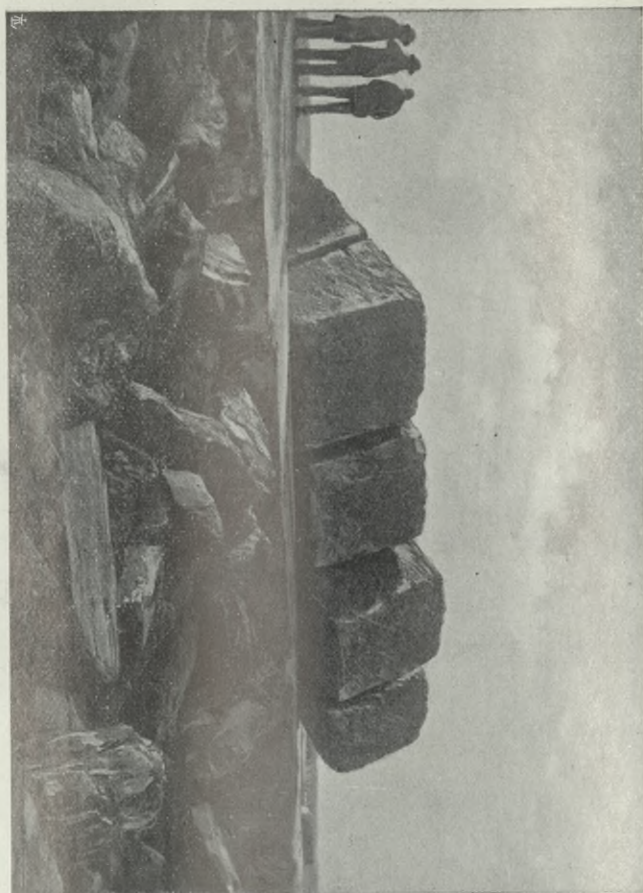


Fig. 6

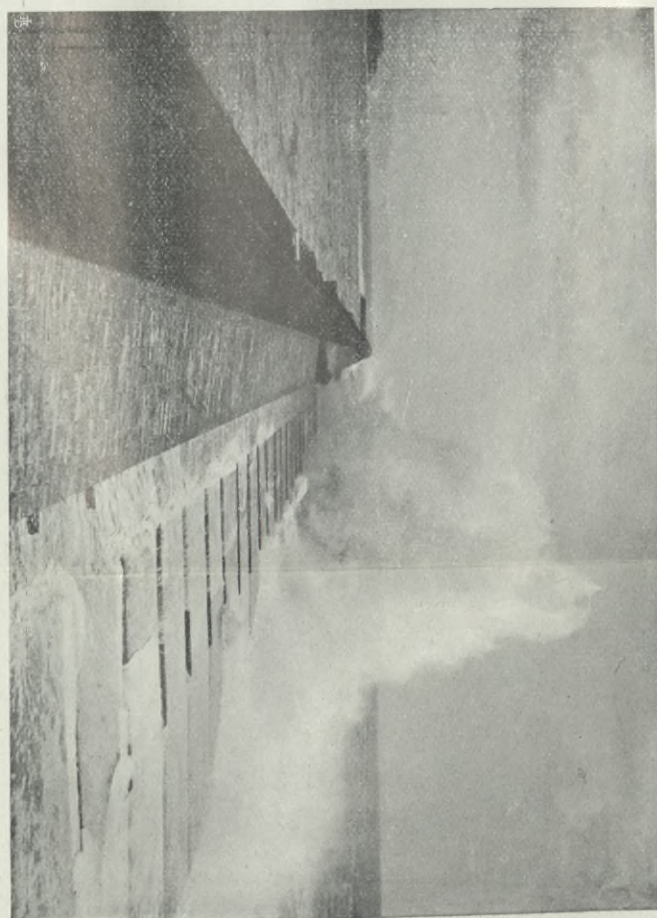


Fig. 7

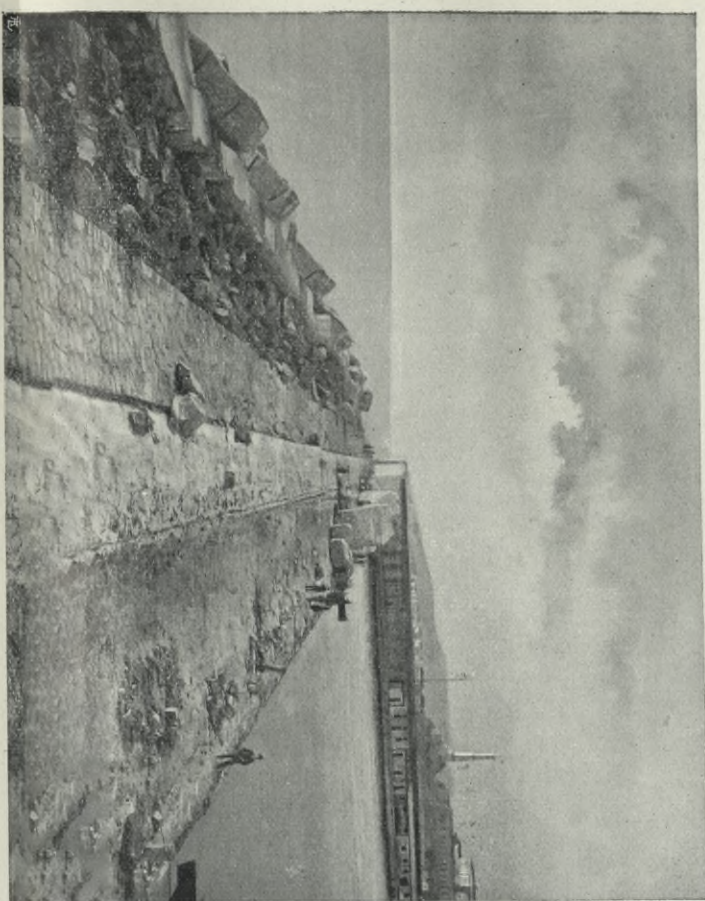


Fig. 8

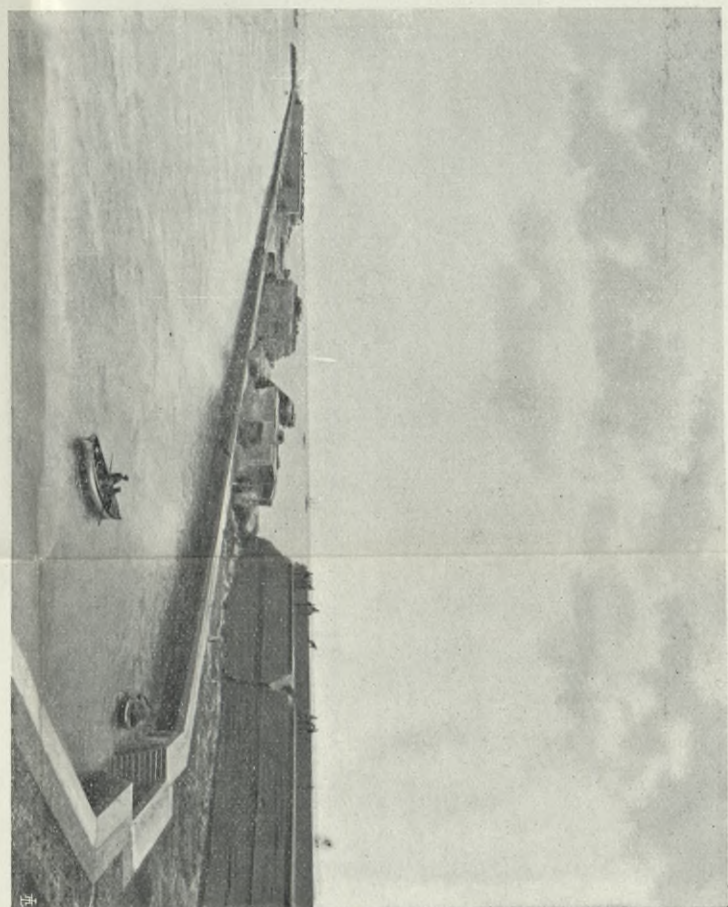


Fig. 4

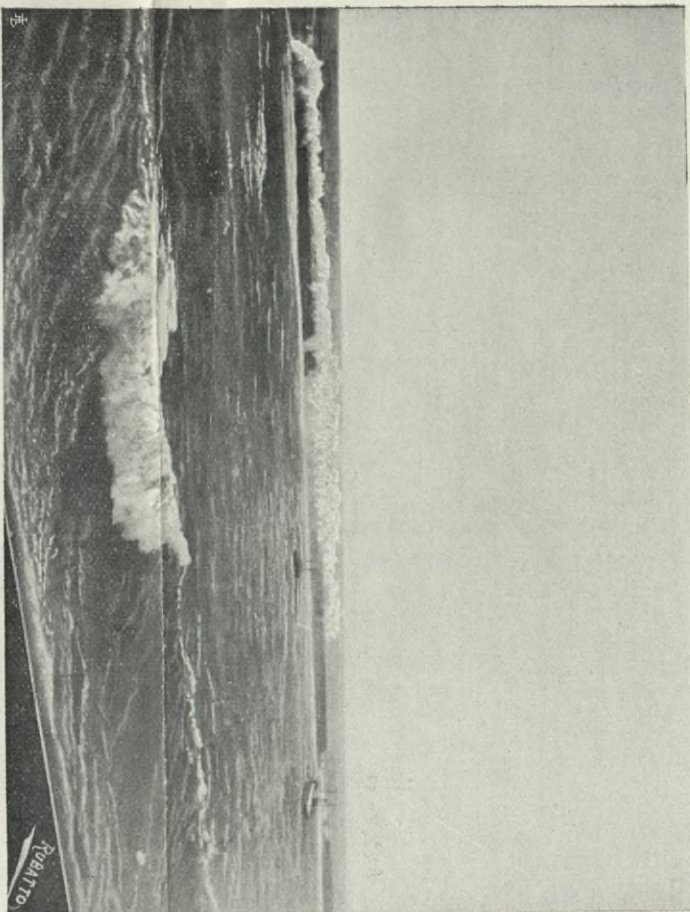


Fig. 1

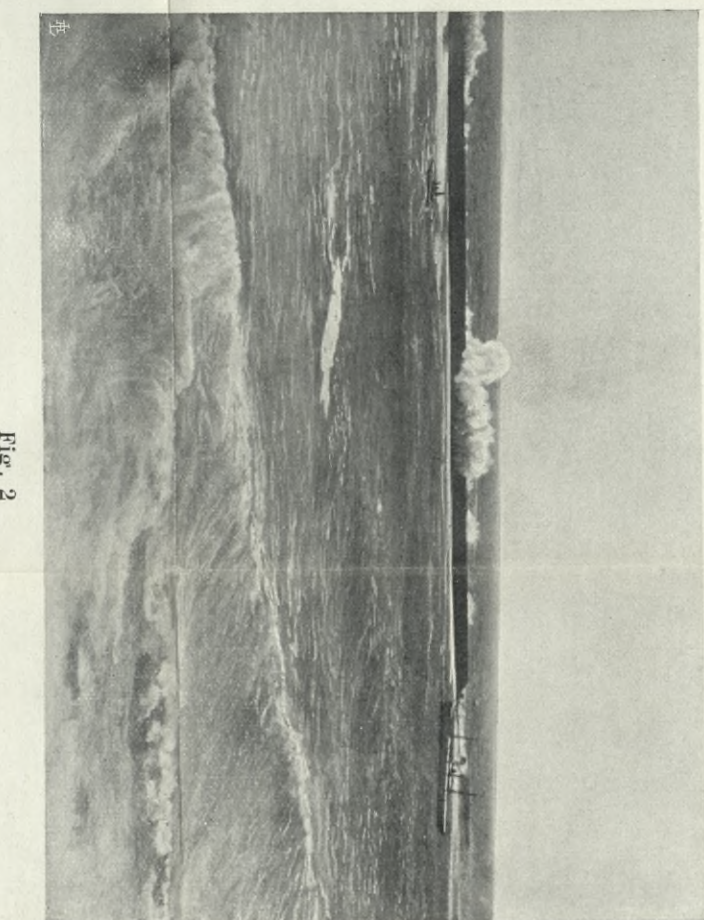


Fig. 2

S. 61

INTRODUCTION
BY
THE EDITOR

THE HISTORY OF THE
UNITED STATES

BY
J. B. HARRIS

EDITED BY
O. B. HARRIS

NEW YORK