

R. MAGISTRATO ALLE ACQUE
UFFICIO IDROGRAFICO

3
7

Studi geologici e morfologici sul Lido di Venezia

Parte I^a - Studi di morfologia litoranea

Pubblicazione N. 18

VENEZIA
PREMIATE OFFICINE GRAFICHE DI O. FERRARI
1912.

7

R. MAGISTRATO ALLE ACQUE
UFFICIO IDROGRAFICO

Studi geologici e morfologici
sul Lido di Venezia

Parte I^a - Studi di morfologia litoranea

—————
Pubblicazione N. 18
—————

VENEZIA
PREMIATE OFFICINE GRAFICHE DI C. FERRARI
1912.

L'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque fin dal suo inizio comprese nel suo programma di ricerche una serie di studi geologici e morfologici sulle spiagge e sulle foci, collo scopo specialmente di dedurre le leggi fondamentali che regolano l'azione morfologica del mare sulle nostre coste. La conoscenza di tali leggi è infatti necessaria per chi deve provvedere alla buona conservazione dei porti e delle lagune.

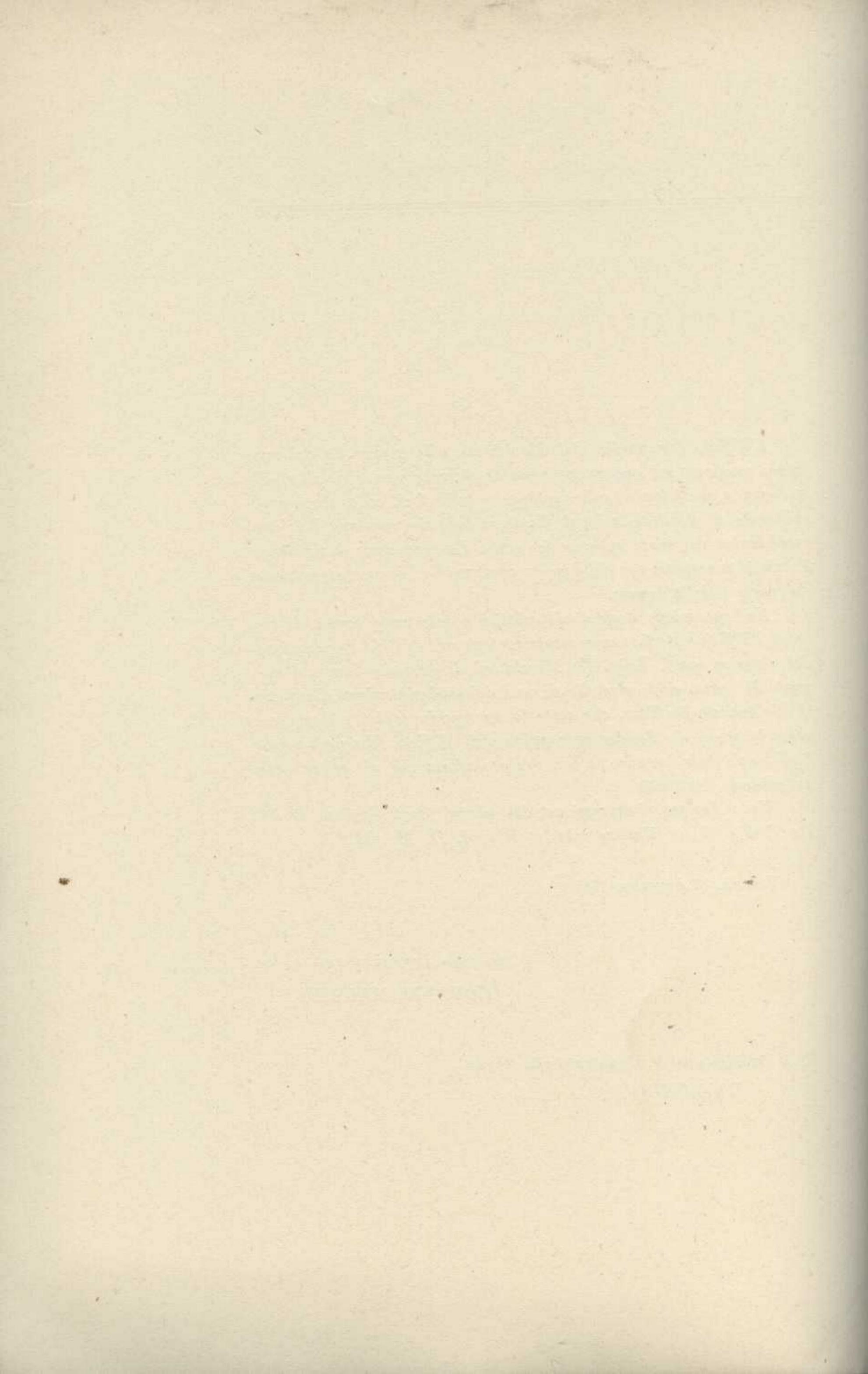
Nell'esecuzione degli studi relativi a tale vasto campo di ricerca, l'Ufficio potè fortunatamente contare sulla valida cooperazione del chiariss. prof. Luigi De Marchi ed il presente lavoro è appunto il frutto delle ricerche di uno dei suoi più valenti discepoli, il d.^r Antonio De Toni, che sotto la sua guida sapiente, ben comprese lo scopo che desiderava raggiungere l'Ufficio Idrografico nell'affidargli tale incarico, e ben seppe conformarsi ai criteri che ne guidano l'attività.

Vada dunque l'espressione del nostro grato animo al d.^r De Toni e al suo illustre maestro il prof. De Marchi.

Venezia, 31 dicembre 1911.

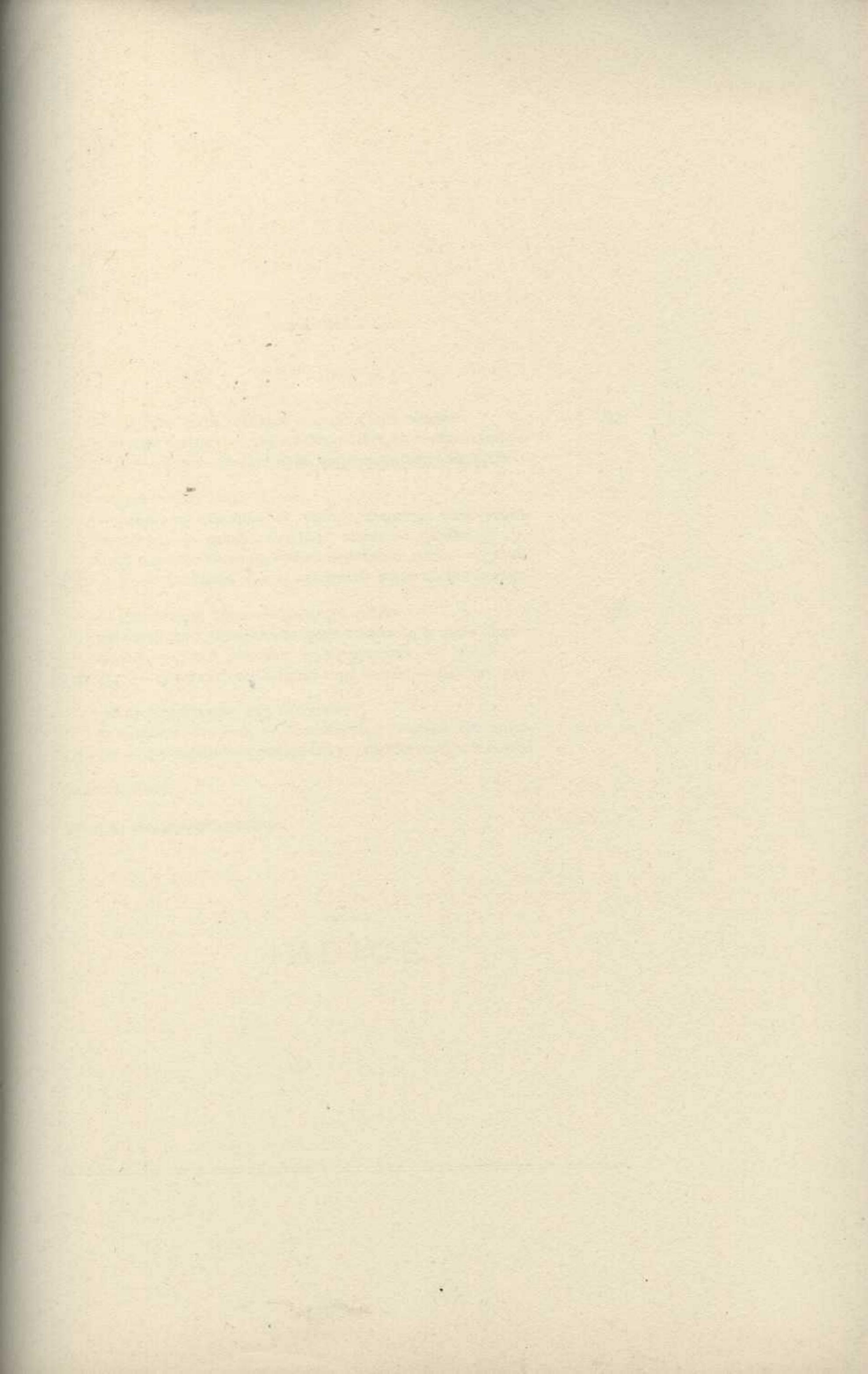
Il Direttore dell'Ufficio Idrografico
GIOVANNI MAGRINI

V.^o il Presidente del R. Magistrato alle Acque
RAIMONDO RAVÀ



INDICE

Studi di morfologia litoranea	Pag. 7
INTRODUZIONE	" 7
CAP. I. — Le cresse — Distinzione tra cresse marine e cresse di corrente — Come si presentano le cresse marine — Cenni bibliografici sull'argomento	" 9
CAP. II. — Osservazioni eseguite sulle cresse — Origine delle cresse — Loro fenomeni di oscillazione — Vortici — Rapporti tra l'oscillazione delle cresse ed il moto ondoso — Conclusioni sullo studio delle cresse	" 15
CAP. III. — Fenomeni che si verificano nelle cresse e dedu- zioni d'indole generale che se ne possono trarre — Cresse intercalate — Cresse a doppia cresta — Cresse di riva — Cresse di corrente — Alcune anomalie delle cresse — Dimensioni delle cresse	" 23
CAP. IV. — Azione morfologica delle onde sulla spiaggia — I banchi costieri — Loro aspetto, origine e conservazione — Origine della scarpata e delle dighe costiere	" 33



Parte I^a - Studi di morfologia litoranea

INTRODUZIONE.

Già da due anni ho intrapreso per consiglio del prof. L. DE MARCHI insegnante di Geografia fisica nell'Università di Padova, alcune ricerche d'indole geologica e morfologica sul Lido della Laguna Veneta, ricerche le quali formavano parte del programma di lavoro dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque. Mi sono accinto a questo compito coll'intento di giungere a spiegare l'origine dell'importante lingua di terra che, decorrendo dal Porto di Piave vecchia al Porto di Brondolo, divide e preserva dal mare la veneta Laguna; perciò ho cominciato le mie osservazioni simultaneamente in vari ordini di fenomeni, tentando di stabilire quali fattori abbiano maggiormente esercitato la loro attività morfologica.

Data la forte diversità degli argomenti, mi è sembrato più opportuno dividere il lavoro in parti, destinando ad ognuna di esse l'illustrazione di un gruppo di fatti maggiormente collegati tra loro per affinità. Nel presente studio ha luogo la descrizione di quelle forme che son da attribuirsi all'azione del mare sulle spiagge a lento declivio; in una prossima pubblicazione sarà invece trattato dei fenomeni la cui causa risiede nell'azione deflatrice e accumulatrice del vento. In base a queste ricerche si avranno dei dati per risalire dalle leggi che regolano i fenomeni attualmente

osservati, al processo originario di formazione del nostro cordone litorale, dati che saranno messi in relazione coi risultati ottenuti dallo studio petrografico dei materiali sabbiosi — studio già da tempo iniziato — e colle conclusioni tratte dall'esame dell'aspetto morfologico e delle variazioni topografiche che il Lido ebbe a subire in epoca storica.

Il programma di ricerca per uno studio completo del Lido di Venezia si può dunque tratteggiare brevemente così: 1° studio dei fenomeni geologici attuali e specialmente delle formazioni litorali e delle dune; 2° ricerca della provenienza delle sabbie, di cui il Lido risulta composto quasi nella sua totalità, sulla base di uno studio mineralogico di queste; 3° esame della morfologia attuale e delle evoluzioni precedenti del Lido e conclusione sulla sua origine.

Questo è il programma che, se le forze non mi faranno difetto per via, ho intenzione di svolgere. Prima di chiudere sento però il dovere di esprimere la mia riconoscenza più viva al mio maestro prof. L. DE MARCHI da cui continuo a trarre aiuto e incoraggiamento a proseguire.

CAPITOLO I.

SOMMARIO: LE CRESPE — DISTINZIONE TRA CRESPE MARINE E CRESPE DI CORRENTE — COME SI PRESENTANO LE CRESPE MARINE — CENNI BIBLIOGRAFICI SULL'ARGOMENTO.

È normale di riscontrare il fondo marino, fino a profondità non molto grandi, totalmente modellato da piccole *crespe*, cioè lievi increspature delle sabbie che lo ricoprono (ted. *Kräuselungsmarken*, ingl. *ripplemarks* (franc. *rides*) disposte colla massima regolarità e uniformemente conformate; è facile constatare inoltre, se le condizioni del mare lo permettono, la presenza di banchi costieri, paralleli alla spiaggia, che talvolta possono anche raggiungere e superare il livello marino. Tanto le prime come i secondi si son formati nel seno del mare e ad esso devono evidentemente la loro origine; l'azione del mare si esplica quindi in modo molto diverso e sarà nostro compito vedere se si possa stabilire l'esistenza di leggi comuni in fenomeni apparentemente così diversi e se dallo studio delle formazioni più piccole, e come tali dotate di maggior regolarità, si possa arrivare a comprendere l'origine delle formazioni che raggiungono dimensioni più considerevoli.

La formazione delle cresse ha luogo in un fondo sabbioso quando i movimenti di cui è animata la superficie dell'acqua sono di sufficiente intensità da arrivare fino agli strati inferiori della massa liquida. Cresse si possono avere quindi tanto sulle rive dei laghi e del mare quanto nel fondo dei fiumi: infatti l'acqua del mare e dei grandi laghi è continuamente in oscillazione per effetto del propagarsi delle onde e quella dei fiumi pure in movimento per il suo naturale fluire da monte a valle. Nell'un caso e nell'altro l'azione sul fondo può essere considerevole: ma è facile comprendere che le cresse originatesi per opera di un movimento evidentemente oscillatorio devono presentare notevolissimi caratteri distintivi da quelle generate da un movimento almeno apparentemente continuo dell'acqua, e ciò per l'ambiente diverso di formazione e specialmente per le leggi affatto differenti che

regolano i due movimenti stessi; chiameremo *cespe marine* le prime, designando le seconde col nome di *cespe di corrente* (current mark) già adottato dagli autori inglesi.

Le cespe marine, delle quali principalmente verrà trattato nel corso del presente studio, sono dovute, come meglio verrà provato in seguito, all'azione del moto ondoso. A ciò si deve appunto il fatto che la direzione delle cespe è costantemente normale a quella di propagazione delle onde. Prese nelle loro condizioni normali di giacitura, le cespe marine sono simmetriche, cioè hanno i due pendii egualmente inclinati sull'orizzonte, come è simmetrico anche il *solco* che divide due cespe vicine. Quando però le cespe vengono a trovarsi all'asciutto in causa di un ritiro dell'acqua marina, raramente conservano il loro profilo caratteristico, ma generalmente sono coricate verso terra, cioè presentano un pendio più dolce della parte del mare e più ripido dalla parte opposta. Tale asimmetria però dipende dalle particolari condizioni di quelle cespe che si originano nelle zone che emergono periodicamente durante i riflussi e non deve esser considerata come originaria.

*
* *

Le cespe furono già da lungo tempo oggetto di studio da parte specialmente degli autori inglesi, ai quali si devono le ricerche più numerose e più delicate.

Nel suo celebre trattato di Geologia il LYELL (1), cercando di spiegare l'origine di alcune increspature che si osservano ben di frequente nell'arenaria rossa del Trias inferiore, emise l'idea che esse abbiano intimi rapporti di analogia colle cespe, le quali egli riteneva originate dalle correnti marine con un processo di formazione simile a quello delle dune. Questa spiegazione, se può essere accettata per le cespe di corrente, non è certamente, come vedremo, applicabile alle cespe marine. Del pari è insostenibile l'opinione emessa da FOREL (2) e da lui stesso in seguito ripudiata, che le cespe sieno dovute a una specie di pressione verticale esercitata dalle onde, perchè tale ipotesi, come verrà meglio provato in seguito, è in aperta contraddizione colle teorie

(1) LYELL C. *Manual of elementary Geology*. 3 ed. pag. 19.

(2) FOREL F. A. *Les rides de fond* — Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. - 1878.

più accreditate sul moto ondoso e coi dati di fatto più sicuramente comprovati. HUNT (1), prendendo mosca da poche osservazioni di JUKES (2), venne alla conclusione che le cresse sieno originate non da una corrente continua ma da movimenti alternati dovuti alle onde. Egli per il primo ebbe il merito di tentare in apposite vasche la riproduzione artificiale del complicato fenomeno naturale e una serie di esperienze provò sempre più la dipendenza delle cresse da un movimento alternato. Nello stesso anno comparve un importante lavoro di DE CANDOLLE (3). Questo autore prese il problema dell'origine delle cresse dal punto di vista più generale possibile: all'osservazione dei fatti naturali fece seguire numerosissime esperienze eseguite in recipienti di varia forma e con sostanze le più disparate; alla sabbia sostituì corpi pulverulenti di diversa natura e perfino liquidi vischiosi, come sciroppo di frutta o catrame, all'acqua sostituì parecchi altri liquidi e sempre trovò verificarsi gli identici fenomeni. Quale conclusione finale di tutte le sue ricerche, DE CANDOLLE enunciò la legge seguente:

Quando una materia vischiosa, in contatto con un liquido meno vischioso, prova uno sfregamento (frottement) oscillatorio o intermittente risultante dal movimento dello strato liquido che la ricopre o dal proprio spostarsi rispetto a questo:

1.º *La superficie della materia vischiosa s'increspa perpendicolarmente alla direzione dello sfregamento;*

2.º *L'intervallo compreso fra le cresse così formate è in ragione diretta dell'ampiezza dello sfregamento.*

A quanto si vede, per trovare una spiegazione sull'origine delle cresse, il De Candolle ricorse a un principio di fisica, secondo il quale le cresse non sarebbero che *onde vischiose* generate sulla superficie di separazione di due fluidi (acqua e sabbia imbevuta d'acqua) dotati di diverso movimento.

Pochi mesi dopo la comparsa del lavoro di DE CANDOLLE, venne pubblicata nello stesso periodico un'altra comunicazione

(1) HUNT A. R. *On the formation of ripplemark.* — Proc. Roy. Soc., London 1883 — Vol. 34.

(2) JUKES B. *Manual of Geology*, pag. 172.

(3) DE CANDOLLE C. *Rides formées à la surface du sable.* Arch. Sc. Phys. Nat., Vol. 9, Ginevra 1883.

di FOREL (1), dove l'autore, dichiarando insostenibile la sua prima teoria, ne espone un'altra, corredata da esperienze e osservazioni numerose. Questa seconda teoria riconduce l'origine delle cresse a quella delle dune: per azione di un ostacolo anche tenuissimo si formerebbe una prima cressa, la quale, mettendosi a oscillare sotto l'influenza delle correnti alternative del moto ondoso, a poco a poco ne originerebbe due altre, una per ogni banda, ciascuna delle quali ne formerebbe un'altra ancora e così via. Entrambe le correnti alternate genererebbero dune secondo la propria direzione e le cresse risultanti da questo succedersi di correnti dirette in senso opposto sarebbero costituite *par la superposition de deux dunes formées alternativement par les courants en sens inverse qui balancent au fond de l'eau* (2). FOREL osservò questo fatto una volta in natura e lo ripeté sperimentalmente in apposite vasche: egli narra ad esempio che era sufficiente stendere sulla superficie sabbiosa del fondo delle sue vasche, un filo di ferro, o tracciarvi un solco col lapis, per veder generarsi a poco a poco, una dopo l'altra un sistema di cresse. Mi riservo di discutere tale teoria quando avrò esposto le mie osservazioni in proposito; devo solo far notare che, forse a torto, FOREL non tenne il debito conto dei risultati conseguiti da DE CANDOLLE, che pur era giunto a conclusioni così plausibili e a teorie così soddisfacenti.

L'anno 1883 fu, da quanto si è, visto, fausto per lo studio delle cresse, ma non meno lo fu l'anno seguente, quando comparve nei *Proceedings* della Reale Società di Londra il lavoro di G. H. DARWIN (3). Le esperienze che si trovano descritte in questa memoria sono davvero sorprendenti per l'esattezza con cui furono condotte e per l'acuto spirito d'osservazione che le guidò. In base ad esse le cresse si originerebbero per un giuoco di vortici che vengono a stabilirsi sottovento di ogni piccola eminenza della sabbia, rispetto alla corrente dominante in ogni istante sopra di essa. Siccome le correnti generate presso il fondo da un'oscillazione, p. e. dal moto ondoso, hanno direzione alternata, i vortici dovrebbero pure cambiar di posizione da un versante all'altro,

(1) FOREL F. A. *Les rides de fond étudiées dans le Lac Lemman* — Arch. Soc. Phys. Nat., Vol. X — Ginevra 1883.

(2) FOREL F. A. Op. cit., pag. 55 — Ginevra 1883.

(3) DARWIN G. H. *On the formation of ripplemarks in sand*. — Proc. Roy. Soc. Vol. 26. — Londra 1884.

ma invece per la rapidità stessa del movimento, essi vengono solamente ad affievolirsi e rafforzarsi a vicenda. Questi vortici ad asse orizzontale, che l'autore chiama *primari*, darebbero origine, quando l'eminenza sabbiosa ha già raggiunto l'aspetto di una piccola cresta, a vortici ad asse verticale molto più energici dei primi e che, durante un periodo completo di oscillazione dell'acqua, si sposterebbero dalla cresta di una cresta fino al fondo del solco attiguo e di là alla cresta della cresta successiva per poi ritornare nella posizione di partenza. A questo movimento è legata un'oscillazione di tutta la cresta, isocrona con quella del liquido. L'esistenza di questi vortici fu rivelata all'autore dal movimento di filamenti d'inchiostro in cui immediatamente si trasformavano alcune goccioline deposte in posizioni opportune.

Riassumendo, secondo il DARWIN, sono piccoli vortici provocati dalle ineguaglianze originarie della superficie sabbiosa che danno origine alle crespe. Dobbiamo però tener presente che tali conclusioni son basate esclusivamente su esperienze fatte in vasche di piccole dimensioni e con oscillazioni dell'acqua non completamente paragonabili con quelle che avvengono in natura. Rimane quindi sempre il dubbio che almeno alcuni dei fenomeni osservati dal DARWIN sieno appunto conseguenza dell'ambiente nel quale operava e non trovino riscontro in natura; ad ogni modo verrà detto in seguito quali tra i fatti osservati dal DARWIN si verifichino anche per le crespe dei fondi sabbiosi del mare.

Fondamentalmente le stesse idee del DARWIN vennero esposte dal CORNISH (1) in una breve relazione presentata alla *British Association*, idee che l'autore sviluppò in seguito, ma solo per le crespe eoliche, in una memoria letta alla *Reale Società geografica di Londra* (2). Anche il CORNISH crede che, per la formazione delle crespe, di primaria importanza sia il vortice che si stabilisce a sottovento di ogni piccola eminenza della sabbia; però dalla lettura di un altro lavoro (3) dello stesso autore si sarebbe portati invece a considerare le crespe quali depositi formatisi lungo determinate linee nodali in modo analogo a quanto avviene

(1) CORNISH V. *The Rippling of Sand*. Rep. British Association, pag. 794-795, Liverpool 1896.

(2) CORNISH V. *On the formation of sand dunes*. Geogr. Journal, n. 3, 1897.

(3) CORNISH V. *On sea beaches and sand banks*. Geogr. Journal, n. 5, 6, 1898.

per la sabbia sparsa su una lamina metallica vibrante. È inutile dire che tale ipotesi non resiste alla critica, poichè provocando in una vasca un'onda *uninodale* non si ottiene una sola crespa ma un intero sistema di crespe parallele.

Recentemente in una monografia di carattere compilativo BERTOLOLY (1) riassunse e discusse i problemi che si riallacciano al fenomeno delle crespe; tale lavoro però non porta larga messe di osservazioni originali o esperienze e non può venir considerato come un contributo alla risoluzione dei problemi stessi. L'autore però si dichiara per le teorie del DARWIN che, secondo il suo giudizio, sono le più complete e le più esaurienti.

Passo ora alla descrizione dei dati di fatto da me raccolti, quali furono desunti da osservazioni fatte sempre direttamente in natura: da essi si potrà forse stabilire quale delle teorie finora sostenute risponda in modo migliore alla realtà delle cose.

(1) BERTOLOLY E. - *Kräuselungsmarken und Dünen*. Münchn. Geogr. Studien N. 9 - 1900.

CAPITOLO II.

SOMMARIO: OSSERVAZIONI ESEGUITE SULLE CRESPE — ORIGINE DELLE CRESPE — LORO FENOMENI DI OSCILLAZIONE — VORTICI — RAPPORTI TRA L'OSCILLAZIONE DELLE CRESPE E IL MOTO ONDOSO. — CONCLUSIONI SULLO STUDIO DELLE CRESPE.

Le condizioni delle spiagge del Lido sono particolarmente felici per osservazioni sulle crespe, poichè vi si incontrano con frequenza delle estese depressioni limitate al largo da banchi, nelle quali l'acqua si mantiene a lungo in uno stato di oscillazione assai regolare. Al buon esito di tali ricerche concorre anche in gran parte l'abituale limpidezza dell'acqua, che permette di studiare quello che avviene sul fondo anche quando questo si trovi relativamente discosto dal pelo d'acqua.

Un'esperienza istruttiva, che io eseguii molte volte variando il più possibile le condizioni, e che sempre riesce quando il mare sia sufficientemente mosso, ma non burrascoso, consiste nel livellare accuratamente una superficie abbastanza ampia di fondo marino, un metro quadrato per lo meno, tenendola d'occhio durante il passaggio di parecchie ondate. Finchè il mare si mantiene tranquillo nulla si osserva di mutato, ma al sopravvenire della cresta di un'onda, molta sabbia viene lanciata in sospensione rimanendone l'acqua assai intorbidata. L'osservazione ridiviene possibile quando al dorso dell'onda succede il cavo e allora si constata che la superficie del fondo ha un aspetto ben diverso, essendosi formati piccoli rilievi allungati e piccole fossette, gli uni e le altre in direzione normale a quella di propagazione dell'onda. Un fenomeno consimile fu già provocato dal DARWIN (1) nelle sue celebri esperienze; egli osservò infatti che, dopo le prime oscillazioni, la sabbia dal fondo delle sue vasche presentava un aspetto speciale, che chiamò con bella immagine *curdling stage*, cioè stadio rappreso.

(1) DARWIN G. H., op. cit., pag. 23.

Al sopraggiungere di nuove ondate le piccole eminenze sabbiose si uniscono a vicenda e si schierano sempre meglio secondo linee rette parallele tra loro, mentre le fossette vanno lentamente aumentando in profondità: in poche parole si assiste alla formazione di piccole crespe assai regolari e perfettamente disposte. Tali crespe raggiungono poco a poco le dimensioni definitive, ma alcune di esse vengono assorbite durante il processo di sviluppo delle altre, fatto che trova riscontro in un'esperienza di DARWIN (1) secondo il quale le crespe iniziali verrebbero alternativamente mantenute e soppresse.

Veniamo ora a descrivere i fenomeni che si verificano nelle crespe già arrivate a completo grado di sviluppo. In corrispondenza all'oscillazione delle particelle liquide, le crespe presentano parimente un'oscillazione tale che ad ogni fase dell'onda corrisponde una *fase della cresspa*. Cominciamo a passare in rassegna queste fasi, che si succedono in una stessa cresspa man mano che l'onda si propaga. Al passaggio del dorso dell'onda la cresspa è simmetrica, cioè ha pendii egualmente inclinati e dalla sua cresta vediamo partire verso l'alto con grande violenza un getto di granellini di sabbia (Tav. II. fig. 1). Questo fenomeno è assolutamente normale e siccome avrò occasione di parlarne spesso in seguito, propongo di chiamarlo col nome di *fiocchetto*. Quando al dorso dell'onda subentra il cavo, la cresspa comincia a coricarsi secondo la direzione delle onde, in modo che il pendio verso mare è più dolce di quello verso terra (Tav. II. fig. 2). A poco a poco però, quando già sta passando il cavo dell'onda, la cresspa appare meno rilevata, colla cresta smussata anzichè angolosa come nelle fasi precedenti: d'un tratto la cresspa si inverte bruscamente, ridiviene acuta, ma questa volta è il pendio verso mare che è più ripido dell'altro (Tav. II. fig. 3). Tale asimmetria va lentamente eliminandosi, tanto che, al sopraggiungere di un nuovo dorso, la cresspa riprende la sua forma simmetrica.

Le descritte osservazioni dimostrano a sufficienza che le crespe sono assoggettate a una vera oscillazione; la *fase simmetrica* è la fase d'equilibrio dalla quale la cresspa s'allontana per coricarsi sia verso terra (*fasi dirette*), sia verso mare (*fasi inverse*); il passaggio dalla fase diretta alla fase inversa si compie attraverso una fase nella quale la cresspa presenta un inizio di degradazione.

(1) DARWIN G. H., op. cit., pag. 24.

È piuttosto difficile mettersi nelle condizioni d'ambiente necessarie per osservare l'oscillazione delle cresse in tutte le sue fasi. Le maggiori probabilità di successo si hanno quando il fondo si trova discosto mezzo metro o poco più e quando il mare è mosso; se il mare è agitato invece ben poco si riesce a vedere per l'eccessiva quantità di sabbia che entra in sospensione, se il mare è dolcemente increspato, è solo la cresta della cressa che oscilla come una lamella ondulante.

Il FOREL constatò sommariamente l'esistenza dell'oscillazione delle cresse ma, come già si vide, ne diede una spiegazione che non concorda con quanto fu esposto finora; ad altri e in particolar modo al DARWIN (1) riuscì di ottenere, nelle sue esperienze eseguite su cresse artificialmente prodotte, fenomeni analoghi a quelli da me verificati in natura.

Un'indagine più minuta e più accurata può svelare ancora altre particolarità nel modo di comportarsi delle cresse sotto l'azione del moto ondoso. Interessante riesce ad esempio stabilire quali sieno le direzioni di movimento dei granellini di sabbia lungo i declivi di una cressa, poichè evidentemente questi devono corrispondere ai movimenti degli strati inferiori della massa di acqua.

Per la fase che abbiamo chiamata simmetrica, si è già descritto il fenomeno del fiocchetto, per formare il quale devono necessariamente concorrere due movimenti di eguali intensità e diretti entrambi verso l'alto (Tav. II. fig. 1). Più complicate sono le cose per le altre fasi. In quelle dirette si osserva che i granellini della cresta della cressa sono lanciati obliquamente verso l'avanti e verso l'alto (Tav. II. fig. 2), cioè predominantemente nella stessa direzione di propagazione del moto ondoso, mentre quelli del solco sono animati da un movimento vorticoso. Questo fatto però è molto difficile da osservare, poichè spesso l'acqua rimane così intorbidata da rendere impossibile ogni osservazione: è opportuno quindi scegliere un momento in cui le onde sieno molto piccole e seguire con attenzione i movimenti della parte più leggera dei materiali che compongono la cressa oppure collocare in posizioni opportune dello sfasciume di legno imbevuto d'acqua, il quale, come più leggero, obbedisce assai meglio anche a spinte molto deboli.

(1) Si confronti ad esempio la figura 2 della citata Memoria di DARWIN e il relativo testo.

Più agevole di gran lunga riesce l'osservazione durante le fasi inverse. Presso a poco dal punto di mezzo del pendio dolce di ogni cresspa (Tav. II, fig. 3) si staccano due correnti di sabbia le quali per un buon tratto si mantengono rasente alla superficie della cresspa. Una di queste correnti, la superiore, risale il versante della cresspa e giunta alla sommità prosegue il proprio cammino senza mutare di direzione e senza piegare menomamente verso il basso, l'altra, l'inferiore, discende invece, in direzione opposta verso l'attiguo solco, nel fondo del quale i singoli granellini vengono presi da un moto vorticoso che li fa sussultare più volte e che li spinge ad unirsi con quelli che si staccano dalla cresta della cresspa immediatamente vicina.

Dalle osservazioni finora descritte risulta che tanto nelle fasi dirette come nelle inverse si verificano essenzialmente gli stessi fenomeni. Infatti nell'un caso e nell'altro i materiali che compongono le cresse subiscono degli spostamenti dovuti all'azione del moto ondoso, i quali avvengono secondo due direzioni ben distinte: i materiali che si trovano più vicini alla cresta si muovono nello stesso senso in cui le cresse sono coricate e quelli che si trovano nel solco in senso opposto. In entrambe le fasi quest'ultimo movimento ha carattere vorticoso, e perciò appunto lo chiameremo *vortice*, secondo una denominazione già da tempo introdotta dal DARWIN e adottata in seguito dal CORNISH e da altri autori.

*
* *

Per arrivare a una spiegazione plausibile dell'oscillazione nelle cresse e di tutti i fenomeni che ad essa si riconnettono importa in primo luogo rendersi ragione della natura dei movimenti delle particelle liquide che formano l'onda.

La teoria del moto ondoso comunemente accettata è sempre quella classica dei fratelli WEBER (1), basata su una magnifica serie di esperienze e conforme ai principî teorici del moto ondoso stesso. Passiamo brevemente in rassegna i capisaldi di questa teoria, soffermandoci di preferenza su quei punti che sono di maggior interesse per il nostro argomento. Le particelle liquide sono animate da un movimento vibratorio e le orbite percorse, quando l'onda è regolare, sono assai prossime ad un cerchio. Le parti-

(1) WEBER W. *Werke*. Wellenlehre, pag. 86 segg., Berlino, 1893.

celle che si trovano contemporaneamente in un piano verticale normale alla direzione di propagazione del moto ondoso sono tutte nella stessa fase dell'oscillazione; le particelle poste orizzontalmente nella direzione del moto ondoso entrano invece successivamente nella stessa fase, in modo che nessuna di quelle che appartengono ad una stessa onda si trova contemporaneamente nel medesimo punto della propria orbita; è in tal guisa che l'onda viene a propagarsi. Ne consegue inoltre che, mentre una particella del liquido percorre una volta la propria orbita, l'onda, nella quale detta particella si trova, procede di un tratto eguale alla sua lunghezza. Quando l'acqua è alta, l'oscillazione va regolarmente diminuendo d'intensità dalla superficie, agli strati più profondi della massa liquida fino ad annullarsi a una certa profondità; quando invece l'acqua è bassa, le orbite delle particelle liquide decrescono assai più in componente verticale che non in componente orizzontale, assumendo forma di ellissi tanto più schiacciate quanto maggiore è la profondità, finchè presso al fondo si riducono a segmenti rettilinei.

Quest'ultimo fatto ha particolare importanza pel nostro problema. Il propagarsi delle onde in acqua bassa genera rasente il fondo un movimento, che non è già continuo come suppose il CIALDI (1), bensì alternato ed ora diretto nello stesso senso in cui le onde camminano, ora nel senso opposto. Tale movimento, per il quale venne adottato il nome di *flutto di fondo*, ha dunque carattere oscillatorio (2) e in esso si deve distinguere un *flutto diretto*, che si verifica nella direzione di propagazione delle onde e un *flutto inverso* in direzione opposta.

Questi due movimenti sono legati ai movimenti che avvengono negli strati superficiali della massa d'acqua e più precisamente al flutto diretto corrisponde il dorso dell'onda e al flutto inverso il cavo. Il flutto diretto e il flutto inverso si equilibrano a vicenda solo se la propagazione del moto avviene in un bacino d'acqua a fondo orizzontale. Nelle spiagge a lento pendio, il

(1) CIALDI A. *Sul moto ondoso del mare e le correnti di esso, specialmente su quelle litorali*. II. Ediz., Roma, 1866.

Id. *Dei movimenti del mare sotto l'aspetto idraulico nei porti e nelle rive*. Roma, Ed. Barbèra 1876.

(2) CORNAGLIA P. *Sul regime delle spiagge e sulla regolazione dei porti*. Torino, Ed. Paravia, 1891.

flutto diretto (flutto in ascesa) tende sempre più a prevalere sul flutto inverso (flutto in discesa).

Quanto venne detto finora basterà per una conveniente interpretazione dei fatti osservati e descritti. Dell'esame della figura 7 (Tav. II), nella quale l'oscillazione delle cresse è messa in correlazione coi movimenti delle particelle liquide, si può facilmente venire alla conclusione che il fenomeno che ci interessa non è che una conseguenza del propagarsi del moto ondoso ed è causato appunto dai movimenti delle particelle liquide stesse sul fondo. Infatti:

a) *Sul davanti dell'onda si hanno sul fondo due flutti convergenti verso una stessa linea, lungo la quale la sabbia viene da essi ammassata in una cressa; sui versanti opposti di questa i due flutti vengono deviati verso l'alto e la sabbia quindi sollevata a fiocchetto sulla cresta, la quale assume forma simmetrica.*

b) *Sotto il dorso dell'onda abbiamo il flutto diretto che piega la cressa verso l'avanti (fase diretta).*

c) *Sotto il versante posteriore del dorso dell'onda abbiamo sul fondo due flutti divergenti, che passando sulla cressa tendono a cancellarla, ed effettivamente la smussano.*

d) *Ma subito dopo subentra il flutto inverso che rovescia la cressa all'indietro (fase inversa).*

L'oscillazione delle cresse è dunque legata in tutte le sue fasi all'alternarsi dei movimenti che si compiono presso il fondo in corrispondenza del propagarsi dell'onda alla superficie: le fasi dirette sono tali per effetto del flutto diretto, le fasi inverse per effetto del flutto inverso; quando i due flutti convergono si ha la fase simmetrica e la formazione del fiocchetto, quando divergono la cressa è assoggettata a un principio di degradazione.

Ci rimane ora da considerare la natura di quei movimenti vorticosi che abbiamo visto prender tanta parte nell'oscillazione delle cresse. È legge generale che, se un fluido in movimento incontra un ostacolo che lo faccia deviare dalla propria direzione verso l'alto, dall'altra parte dell'ostacolo si genera una chiamata di fluido in senso opposto che, raccordandosi colla corrente superiore, forma un vortice ad asse orizzontale. Tali condizioni di cose si hanno appunto nel caso nostro. Le cresse si possono ben considerare come ostacoli che impediscono il libero oscillare delle particelle liquide, quindi i *movimenti principali*, cioè quei movimenti che

avvengono nelle cresse secondo la direzione del flutto dominante, devono dar luogo a *vortici* diretti in senso opposto, che impediscono il livellamento della cressa sotto il flutto e formando sul versante protetto una corrente ascendente, lo mantengono più ripido di quello direttamente battuto dal flutto. Rimane così spiegata la disimmertia della cressa.

Siccome i movimenti principali non hanno una direzione costante ma sono ora diretti ora inversi, così anche i vortici muteranno di direzione e agiranno alternativamente sui due pendii di una cressa: ciò dà completamente ragione dei fatti osservati e spiega il meccanismo dell'oscillazione delle cresse, oscillazione che si compie per effetto dei flutti di fondo e dei vortici da questi generati. I vortici quindi non possono esser considerati, a mio parere, come movimenti isolati ed indipendenti provocati dalle irregolarità del terreno, come ammettono concordemente gli autori inglesi, ma sono bensì in relazione di dipendenza coll'oscillazione delle particelle liquide che si trovano in prossimità del fondo.

Azione dei vortici è anche quella di sistemare il *curdling stage* in cresse rettilinee e parallele. Richiamandoci infatti all'osservazione descritta in principio di questo capitolo, abbiamo visto che le cresse hanno origine da una serie di piccoli rilievi mammellonari irregolarmente disposti: ciascuno di essi provoca un vortice il quale diretto ora nello stesso senso del moto ondoso, ora nell'opposto contribuisce allo scavo e alla regolarizzazione dei solchi e all'accumulo dei materiali lungo linee parallele. Come risultato finale si ha che i rilievi vengono lentamente a saldarsi fra loro, mentre nei solchi i vortici agiscono collettivamente a guisa di trapano ad asse orizzontale eliminando ogni irregolarità di decorso.

Le osservazioni finora descritte ci portano a concludere che:

Le cresse sono il prodotto delle oscillazioni dell'acqua sul fondo, generato dal passaggio delle onde.

Le cresse si formano contemporaneamente su larghe estensioni, appena le onde assumono abbastanza forza per provocare sul fondo flutti di energia sufficiente a muovere la sabbia e ad ammucciarla in piccole eminenze tondeggianti.

Nelle cavità fraposte alle eminenze primitive vengono a stabilirsi dei vortici ad asse orizzontale che contribuiscono a regolarne i pendii e a disporle in linee parallele.

Le cresse presentano infine, al passaggio delle onde, oscillazioni rispondenti alle diverse fasi dell'oscillazione delle particelle liquide.

Accennando per ultimo al principio felicemente applicato dal DE CANDOLLE per il quale le cresse sono da considerarsi come onde vischiose, dirò che le mie osservazioni — pur non portando prove dirette — parlano a favore di tali vedute. Infatti credo di aver provato l'esistenza di un legame strettissimo fra i fenomeni che si verificano nelle cresse e quelli che son propri delle onde. È ben vero che le cresse non hanno un moto di propagazione, come le onde, ma a questa obbiezione, sollevata dal BERTOLOLY (1) si può facilmente rispondere considerando l'enorme attrito che si opporrebbe a tale movimento.

(1) BERTOLOLY E. Op. cit., pag. 16.

CAPITOLO III.

SOMMARIO: FENOMENI CHE SI VERIFICANO NELLE CRESPE E DEDUZIONI D'INDOLE GENERALE CHE SE NE POSSONO TRARRE — CRESPE INTERCALATE — CRESPE A DOPPIA CRESTA — CRESPE DI RIVA — CRESPE DI CORRENTE — ALCUNE ANOMALIE DELLE CRESPE — DIMENSIONI DELLE CRESPE.

Nel capitolo precedente furono descritti tutti quei fatti che si verificano normalmente nelle crespe; molte altre osservazioni mi rivelarono però altri fatti che, pur essendo quasi sempre frutto di speciali condizioni d'ambiente, nondimeno servono a tratteggiare meglio il fenomeno nei suoi particolari e a rivelarne altre leggi.

Comincio col descrivere un'osservazione fatta nella spiaggia di Sottomarina di Chioggia il 23 marzo 1910. In causa del riflusso andava man mano emergendo un banco, e tra questo e la spiaggia rimanevano racchiusi alcuni bacini d'acqua, che si trovavano però ancora in comunicazione col mare mediante strette aperture; in essi l'acqua era animata da una lieve ondulazione, poichè le onde maggiori andavano ad infrangersi contro il banco, perdendo gran parte della loro intensità. Il fondo di questi bacini era completamente modellato da grandi crespe immobili e in fase simmetrica: su esse era certamente senza azione la lieve ondulazione dell'acqua e quindi la loro origine doveva risalire alla precedente alta marea, quando onde relativamente grandi potevano passare sopra il banco. Nella parte periferica dei bacini, dove l'acqua era pochissimo profonda, si trovavano delle crespe non più immobili bensì in completa oscillazione; esse erano inoltre assai più ravvicinate tra loro che non quelle delle zone più profonde. Procedendo dall'orlo del bacino verso il centro, si osservava che le crespe erano di dimensioni diverse e più particolarmente crespe di dimensioni normali erano alternate a crespe più piccole; queste ultime, coll'aumentare della profondità, venivano completamente a mancare e rimanevano sole le grandi crespe prima

menzionate; contemporaneamente l'oscillazione delle cresse si riduceva sempre più fino a scomparire del tutto. La fig. 5 della Tav. II. riassume e schematizza il descritto fenomeno. In *a* abbiamo rappresentate in sezione le cresse della parte periferica del bacino, in *d* quelle della parte centrale, che sono collegate alle prime da aspetti di passaggio *b* e *c*.

Dal fatto sopra esposto è lecito dedurre due conclusioni:

1. *L'azione delle onde sulle cresse dipende dalla profondità.* Infatti quelle cresse che si trovano a profondità piccola erano ancora in oscillazione, mentre quelle che si trovavano a profondità maggiore rimanevano immobili. Ciò è conforme alle conclusioni del capitolo precedente.

2. *Una diminuzione dell'intensità del moto ondoso è causa di una diminuzione della larghezza delle cresse* (1). Si è osservato infatti che, in conseguenza del diminuire d'intensità delle onde, fra le grandi cresse formatesi quando il moto ondoso aveva sufficiente intensità, se ne originano delle altre, che ben si possono chiamare *cresse intercalate*, le quali sono dapprima di dimensioni minori (Fig. 5, *b*, *c*), e solo dove la profondità è piccola arrivano ad eguagliare le prime (Fig. 5 *a*); nell'un caso e nell'altro però il risultato finale è una diminuzione della larghezza e la causa di ciò risiede certamente nella scemata intensità del moto ondoso e nella diminuita escursione del flutto di fondo.

A comprova dell'ultimo asserto posso riferire anche un altro fatto, cioè il formarsi di una *doppia cresta* nelle cresse. Questo fenomeno si può osservare facilmente quando una distesa di cresse rimasta all'asciutto in seguito al riflusso, viene poco a poco ad essere rioccupata dall'acqua della marea crescente. Si comprende facilmente come le onde che dettero origine alle cresse dovettero esser ben più intense di quelle che vanno nuovamente estendendosi nella superficie rimasta all'asciutto. In base al prin-

(1) Secondo FOREL e DE CANDOLLE la larghezza delle cresse è la distanza tra cresta e cresta di due cresse consecutive e corrispondentemente altezza delle cresse la profondità massima del solco frapposto. — DARWIN e CORNISH hanno adottato invece i nomi lunghezza d'onda (wave-length) e altezza d'onda (wave-height), ma sembrami più opportuno ritornare alle denominazioni antiche, per evitare possibili confusioni colle dimensioni delle onde che hanno generato le cresse.

cipio suesposto queste onde minori dovrebbero determinare una diminuzione della larghezza delle cresse; infatti io ho osservato che man mano si andava costituendo nei solchi una piccola cressa la quale, appena formata si arrovesciava all'indietro, quasi stratificandosi sulla cressa precedente, che veniva in tal modo ad assumere una seconda cresta, come è mostrato dalla fig. 4 tav. II.

La conclusione che si può desumere dal caso presente è fondamentalmente la stessa che si è tratta dal fenomeno sopradescritto, cioè che una diminuzione dell'intensità delle onde determina una diminuzione della larghezza delle cresse. Rimane solo a spiegare perchè la cressa neoformata vada a coricarsi sulla precedente nel modo che si è detto; mi sembra però assai plausibile attribuire questo fatto all'azione del vortice. Presso alla riva infatti il flutto in ascesa è assai più forte del flutto in discesa: per conseguenza il vortice diretto verso mare, che corrisponde al primo dovrà pure prevalere sul vortice diretto verso terra. Appena nel solco tra due cresse consecutive accenna a formarsi una piccola cressa, essa non può svilupparsi mantenendosi lungo l'asse del solco stesso, come fu descritto avvenire in altre circostanze, ma deve evidentemente obbedire all'impulso del vortice prevalente dal quale viene addossata sulla cressa precedente costituendo così con questa un'unica cressa a doppia cresta (1).

*
* *

Le cresse che si trovano in immediata vicinanza della riva (*cressa di riva*) raramente conservano il profilo simmetrico proprio delle cresse normalmente sviluppate (*cressa di fondo*), ma generalmente si presentano coricate ora verso la spiaggia, ora verso il mare; corrispondentemente non presentano più l'oscillazione e tutti gli altri fenomeni di cui si trattò nel capitolo II.

Anche questo fatto, come il precedente, dipende dalla modificazione a cui vanno soggetti i flutti presso la riva. Come si è detto, la presenza di un fondo acclive provoca una prevalenza del flutto in ascesa sul flutto in discesa per effetto della quale

(1) Cresse a doppia e a tripla cresta furono già menzionate da FOREL (op. cit. pag. 63 segg., Ginevra 1883) ma la spiegazione che ne dà questo autore non può servire pel caso presente. Un bel fotogramma di cresse a cresta multipla si trova in una Memoria del CORNISH (op. cit., pag. 193., Londra 1901), il quale promette di ritornare sull'argomento.

la cresspa non può oscillare liberamente ma deve mantenersi coricata, secondo la direzione del flutto in ascesa, con pendio dolce dalla parte del mare e ripido dalla parte di terra. Talvolta però si osservano anche delle cresse caratterizzate da un profilo inverso, cioè ripido dalla parte di mare e dolce dalla parte di terra, in apparente contraddizione col fatto più generale ora accennato. Ciò accade specialmente lungo la *zona di battigia* cioè dove le onde, infrangendosi contro il fondo, danno origine a due getti di acqua che alternativamente risalgono la spiaggia o ne discendono. L'esistenza di cresse inverse può essere facilmente spiegata prendendo appunto in considerazione questi getti. Premetto che quando il mare è molto agitato, entrambi i getti in questione sono così violenti che lungo la loro zona d'azione le cresse non possono nè formarsi nè conservarsi ma in loro luogo si hanno al più semplici ondulazioni della superficie sabbiosa (Tav. II, fig. 6). Quando però i movimenti del mare sono tali da permettere la presenza di cresse, si osserva che il getto in ascesa generatosi nell'urto di un'onda contro il fondo, risale carico di sabbia la naturale scarpata della spiaggia perdendo a poco a poco la sua velocità e cancellando le cresse che in quella si trovano; il getto in discesa invece torna a generare un intero sistema di cresse le quali, come ben si può comprendere, data la direzione del getto stesso, sono inverse.

Dai descritti fenomeni risulta chiaramente che le cresse vicine alla riva presentano modificazioni che sono conseguenza delle alterazioni a cui vanno soggette le onde quando si avvicinano alla spiaggia. Sotto un certo aspetto le cresse di riva costituiscono un termine di passaggio colle cresse di corrente e infatti per le une e per le altre si osserva il fatto della disimmetria permanente. Quantunque le cresse di riva sieno sempre in relazione col moto ondoso, mentre le cresse di corrente ne sono indipendenti, pure questa completa analogia tra i due fenomeni non può esser ritenuta casuale. Le cresse di riva, più che da una vera oscillazione dell'acqua, sono generate da correnti intermittenti, dovute alla forte prevalenza del flutto in ascesa; ciò mi induce a credere che anche le cresse di corrente sieno da attribuirsi a movimenti di questo tipo, poichè in caso contrario, secondo il principio di DE CANDOLLE, l'origine di esse risulterebbe impossibile.

Ci sono dunque degli argomenti a priori per ritenere che le cresse di corrente si generano sul fondo sabbioso per l'azione di

una corrente a intermittenza più o meno irregolare, cioè con velocità molto variabile da punto a punto e da istante a istante.

Le cresse di corrente si riscontrano piuttosto di raro sulle spiagge del Lido e sempre su zone molto limitate in estensione. Accade talvolta che, in seguito al riflusso, rimangano isolati dei bacini d'acqua che vanno lentamente vuotandosi per mezzo di un rigagnolo di scolo: sul fondo di questo esistono di regola vere cresse di corrente ma, data la portata trascurabile del fenomeno, non credo opportuno trattarne ulteriormente.

*
* *

È interessante considerare a quali variazioni possano andar soggette le cresse quando si trovino o contemporaneamente o successivamente sotto l'azione di onde che si propaghino in diverse direzioni. Nel primo caso si osserva che in luogo delle cresse si formano dei rilievi mammellonari disposti in quinconce e separati da profonde fosse imbutiformi; è facile persuadersi, dall'esame diretto, che questi rilievi si trovano precisamente in quei punti dove le cresse, appartenenti ai due diversi sistemi, si sarebbero intersecate. Nel secondo caso invece, quando le onde agiscono su cresse già formate ma aventi direzione diversa, si assiste lentamente alla formazione di un vero reticolo di cresse, del tutto simile, salvo naturalmente le dimensioni, a quello che fu ottenuto in via sperimentale da DE CANDOLLE (1), provocando successivamente in una vasca d'acqua onde d'eguale intensità e di direzioni normali fra loro.

Questa osservazione prova ancora una volta che la *direzione delle cresse coincide di regola con quella delle onde ed è normale alla direzione di propagazione di queste*. Una deviazione anche piccola della direzione delle onde porta di conseguenza una deviazione analoga nella direzione delle cresse. A questo punto torna a proposito riportare un'osservazione che si può eseguire ben di frequente sulle spiagge del Lido. È noto che se al largo le onde non sono parallele alla spiaggia, esse vanno man mano divenendo tali quanto più s'appressano a questa: orbene anche le cresse generate da quelle onde presentano fedelmente tracce di questa deviazione, poichè da inclinate sulla spiaggia, come si

(1) DE CANDOLLE C., op. cit. Tav. VIII, 1.

osservano al largo, si fanno gradatamente parallele nell'approssimarsi a questa.

*
* *

Vediamo per ultimo se sia possibile rilevare una legge nelle dimensioni delle cresse. La loro larghezza oscilla entro limiti assai vasti poichè da solo due o tre centimetri può arrivare perfino a due decimetri; in corrispondenza anche l'altezza presenta variazioni piuttosto forti, quantunque il suo valore assoluto si mantenga sempre piccolo. Secondo il DE CANDOLLE (1) le dimensioni delle cresse dipendono principalmente dall'ampiezza dell'onda che le ha generate, mentre questo fattore non avrebbe che scarsa importanza per FOREL (2), il quale è portato a credere che la larghezza e l'altezza delle cresse siano determinate dalla natura del fondo e specialmente dalla grossezza dei materiali di questo, in modo che ogni località avrebbe delle cresse di dimensioni definite entro certi limiti, più piccole per i terreni argillosi, più grandi per i sabbiosi.

Desiderando formarmi qualche idea anche su questo argomento, ho istituito una serie di misure sulla larghezza e sull'altezza delle cresse, misure che sono riunite in serie e riportate nella tabella della pag. seguente.

Esse furono tutte eseguite nello stesso tratto di spiaggia e cioè da S. Nicolò di Lido alle Quattro Fontane; secondo il principio di FOREL esse dovrebbero, data l'identità del materiale presentare variazioni piccole, ma una semplice occhiata alla tabella può persuadere che ciò non è vero. Senza aver la pretesa di risolvere la questione, io sarei quindi portato ad ammettere col DE CANDOLLE che le dimensioni delle cresse sono determinate in primo luogo dalle dimensioni delle onde, come già venne dedotto dalle osservazioni dei paragrafi precedenti e solo in via subordinata dalle condizioni del fondo.

Il CORNISH (3) crede di aver verificata la legge importante che il rapporto $\frac{L}{H}$ tra la larghezza L e l'altezza H delle cresse è costante.

(1) DE CANDOLLE C., op. cit., pag. 255.

(2) FOREL F. A., op. cit., Ginevra, 1883, pag. 63.

(3) CORNISH V. *On sand waves in tidal currents*, Geogr. Journal. Aug. 1901.

DIMENSIONI DE

SERIE 1. ^a SPIAGGIA DELL'OSPIZIO MARINO 21 Febbraio 1909				SERIE 2. ^a SPIAGGIA DI S. M. ELISABETTA 18 Marzo 1909				SERIE 3. ^a SPIAGGIA DELL'OSPIZIO MARINO 18 Marzo 1909				SERIE 4. ^a SPIAGGIA DELL'OSPIZIO MARINO 8 Aprile 1909			
Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$	Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$	Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$	Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$
1	75	11	6.82	1	90	12	7.50	1	62	7	8.86	1	87	12	7.25
2	80	10	8.00	2	95	13	7.31	2	65	8	8.12	2	90	11	8.18
3	60	9	6.66	3	95	13	7.31	3	54	8	6.75	3	90	11	8.18
4	74	10	7.40	4	90	12	7.50	4	48	7	6.86	4	85	11	7.73
5	85	12	7.08	5	90	12	7.50	5	64	8	8.00	5	83	12	6.92
6	75	11	6.82	6	90	11	8.18	6	70	9	7.78	6	87	13	6.69
7	85	14	6.07	7	85	11	7.73	7	75	9	8.33	7	90	13	6.92
8	90	12	7.50	8	85	10	8.50	8	72	8	9.00	8	90	13	6.92
9	93	15	6.20	9	85	11	7.73	9	75	8	9.37	9	90	11	8.18
10	60	9	6.66	10	84	10	8.40	10	70	9	7.78	10	90	13	6.92
11	65	10	6.50	11	80	11	7.27	11	72	9	8.00	11	90	11	8.18
12	90	15	6.00	12	85	10	8.50	12	70	9	7.78	12	95	13	7.31
13	90	11	8.18	13	80	11	7.27	13	65	8	8.12	13	95	12	7.92
14	74	10	7.40	14	80	10	8.00	14	62	8	7.75	14	90	12	7.50
15	80	14	5.71	15	78	11	7.09	15	60	7	8.57				
16	80	10	8.00	16	90	10	9.00	16	62	8	7.75				
17	85	14	6.07	17	90	10	9.00	17	68	8	8.50				
18	85	14	6.07	18	90	10	9.00	18	68	8	8.50				
19	100	14	7.14	19	90	9	10.00	19	70	9	7.78				
20	80	14	5.71	20	85	8	10.62	20	78	9	7.55				
Media $\frac{L}{H} = 6.80$				Media $\frac{L}{H} = 8.16$				Media $\frac{L}{H} = 8.06$				Media $\frac{L}{H} = 7.48$			

NB. — Le misurazioni procedono da mare verso terra.

LE GRESPE

SERIE 5. ^a SPIAGGIA DI S. M. ELISABETTA 10 Aprile 1909				SERIE 6. ^a SPIAGGIA DI S. NICOLÒ 16 Maggio 1909				SERIE 7. ^a SPIAGGIA DI S. M. ELISABETTA 13 Ottobre 1909				SERIE 8. ^a SPIAGGIA DI S. M. ELISABETTA 31 Dicembre 1909			
Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$	Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$	Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$	Numero d'ordine	L mm	H mm	$\frac{L}{H}$
1	55	10	5.50	1	74	8	9.25	1	82	11	7.46	1	59	6	9.83
2	60	8	7.50	2	80	9	8.89	2	93	12	7.75	2	57	6	9.50
3	60	10	6.00	3	84	10	8.40	3	75	10	7.50	3	57	6	9.50
4	67	10	6.70	4	80	10	8.00	4	73	9	8.11	4	58	6	9.66
5	75	12	6.25	5	81	11	7.36	5	65	9	7.22	5	60	7	8.57
6	72	12	6.00	6	84	12	7.00	6	76	10	7.60	6	62	7	8.85
7	72	11	6.54	7	75	10	7.50	7	81	11	7.37	7	61	7	8.71
8	75	11	6.82	8	77	10	7.70	8	75	10	7.50	8	60	7	8.57
9	78	12	6.50	9	78	11	7.09	9	76	11	6.92	9	62	7	8.85
10	75	10	7.50	10	76	10	7.60	10	81	12	6.75	10	61	7	8.71
11	75	10	7.50	11	78	10	7.80	11	84	12	7.00	11	60	7	8.57
12	72	13	5.54	12	78	10	7.80	12	86	12	7.15	12	60	6	10.00
13	78	13	6.00	13	78	9	8.67	13	88	12	7.33	13	61	7	8.71
14	78	12	6.50	14	75	9	8.33	14	76	12	6.33	14	67	7	9.57
15	75	12	6.25					15	80	9	8.88				
16	80	12	6.67					16	75	12	6.25				
17	76	11	6.91					17	85	12	7.08				
18	70	11	6.36					18	80	11	7.27				
19	70	11	6.36					19	80	11	7.27				
20	75	11	6.82					20	80	10	8.00				
Media $\frac{L}{H} = 6.51$				Media $\frac{L}{H} = 7.60$				Media $\frac{L}{H} = 7.06$				Media $\frac{L}{H} = 9.17$			

Nella riportata tabella è calcolato per tutte le cresse il rapporto $\frac{L}{H}$ e ne sono dedotte le medie serie per serie. Dall'esame di queste medie si può facilmente venire alla conclusione che la supposta costanza del rapporto tra la larghezza e l'altezza delle cresse, almeno nel caso nostro, non esiste. Infatti la media più alta da me ottenuta è 9,17 e la più bassa 6,51, mentre quella ottenuta dal CORNISH è 5,53. Però mi sembra che il principio del CORNISH non debba esser del tutto abbandonato. I rapporti delle dimensioni di quelle cresse che appartengono a una stessa serie sono invero molto vicini tra loro, come è mostrato in modo particolare dalle serie 7^a e 8^a; si può affermare inoltre che tra i rapporti che si riferiscono a una stessa serie esiste talvolta una compensazione, in modo che a valori che superano la media seguono immediatamente valori minori della media stessa (si confrontino ad esempio le serie 1^a e 4^a). Infine noi possiamo constatare che il rapporto $\frac{L}{H}$ va crescendo quanto più ci si appressa alla riva (serie 2^a) poichè in immediata vicinanza di questa, pur mantenendosi pressochè costante la larghezza, l'altezza delle cresse subisce una notevole diminuzione.

Concludendo, si può ritenere come provato che *il rapporto tra la larghezza e l'altezza è sensibilmente una costante per quelle cresse che si sono formate contemporaneamente, nelle stesse condizioni e nella stessa località.* Questa sola deduzione mi sembra accettabile, poichè già sappiamo che le dimensioni delle cresse dipendono dall'intensità del moto ondoso e secondariamente dalla natura del fondo; quindi, rimanendo immutate le condizioni di questo e mantenendosi costante l'intensità delle onde, si comprende che anche le cresse devono tutte avere all'incirca la stessa lunghezza e la stessa altezza e per conseguenza lo stesso rapporto. Voler estendere la portata di questo semplice fatto, perfettamente prevedibile *a priori*, per elevarlo a legge generale, mi sembra voler uscire dalla realtà delle cose.

CAPITOLO IV.

SOMMARIO: AZIONE MORFOLOGICA DELLE ONDE SULLA SPIAGGIA —
I BANCHI COSTIERI — LORO ASPETTO, ORIGINE E CONSERVAZIONE
— ORIGINE DELLA SCARPATA E DELLE DIGHE COSTIERE.

L'osservatore che percorre un tratto qualsiasi della regione presa in esame, è colpito spesso, guardando il mare, da una striscia d'acqua torbida e biancheggiante di spuma che si delinea parallela alla spiaggia, a qualche decina di metri da questa. Se il mare è tranquillo, si potranno distinguere a distanze maggiori delle altre striscie, esse pure parallele alla spiaggia, che risaltano dal colore azzurro dal mare per la tinta giallo bruna dell'acqua. Questi fenomeni sono dovuti alla presenza dei *banchi costieri*.

I banchi costieri possono arrivare ad emergere durante le basse maree e nel caso più generale si osserva che decorrono per lunghi tratti parallelamente alla spiaggia (tav. I. fig. 1), limitando dei bacini d'acqua tranquilla. Non di rado avviene che il banco si trovi unito per una estremità alla riva (tav. I. fig. 2), e si protenda per un buon tratto tra le onde per poi continuare con un rilievo subacqueo svelato dalla linea dei frangenti. Talvolta accade invece che più di un banco venga successivamente ad emergere, come è mostrato dalla fig. 3 della tavola I. dove si osservano appunto due banchi paralleli, il primo dei quali racchiude una depressione modellata a cresse, il secondo un vero bacino d'acqua.

La presenza di siffatti banchi si osserva specialmente nei periodi di mare calmo che succedono alle grandi mareggiate. Durante i periodi di mare burrascoso i getti d'acqua formati nell'infrangersi delle onde contro il fondo invadono intermittenemente con massima violenza la spiaggia e strappano dal fondo stesso grande quantità di materiali sabbiosi che, entrando in sospensione, vengono trascinati verso il largo dai getti di ritorno. Una simile azione demolitrice si esplica anche contro eventuali banchi preesistenti i quali possono venir completamente livellati.

Quando l'agitazione del mare viene a diminuire, evidente-

mente gran parte dei materiali che si trovano in sospensione, devono depositarsi: ciò si verifica però non in modo uniforme ma, dando origine a numerosi banchi tutti paralleli tra loro, alcuni parzialmente emersi durante i riflussi, altri sempre sommersi.

È assai notevole il fatto che questi banchi di nuova formazione sono in principio più numerosi ma coll'andar del tempo vanno diminuendo di numero. Un fenomeno analogo abbiamo visto verificarsi nelle crespe, alcune delle quali si elidono a vantaggio delle altre, e tale analogia probabilmente non è fortuita.

A notevoli risultati ci porta l'esame del profilo trasversale dei banchi costieri. Nella tavola III sono riportate alcune sezioni condotte secondo la linea di massima pendenza del fondo, quali furono desunte da semplicissime operazioni di scandaglio. Appunto dallo studio di queste sezioni si può constatare come i banchi presentino di regola un profilo molto dolce, a dorso di mulo; si deve però notare che il pendio verso terra è alquanto più ripido di quello rivolto verso mare, come risulta dalle sezioni I.^a, III.^a e IV.^a, e questo carattere è più manifesto per quei banchi che si trovano a una certa distanza dalla spiaggia, dove cioè i banchi stessi non arrivando mai all'emersione risentono meno dell'azione livellatrice dei getti alla riva. Quando infatti il banco arriva all'emersione, conserva ben di rado inalterato il suo profilo, ma generalmente assume una forma assai appiattita (sez. II.^a) presentando tracce dell'azione livellatrice dei getti d'acqua prodottisi dall'infrangersi delle onde presso la riva, oppure si fa molto più ripido dalla parte del mare che non dalla parte opposta (sez. VIII.^a), rivelando anche in questo caso l'opera dei frangenti che, spinti ad urtare contro il nuovo ostacolo, che inceppa il loro cammino, iniziano la sua demolizione, dando origine ad una piccola scarpata.

Tra banco e banco, come già abbiamo visto, è normale la presenza di depressioni o di bacini, che decorrono parallelamente alla spiaggia, nei quali l'acqua del mare s'ingolfa e fluisce come in un canale; le cause di questo fatto, che come ben si capisce è di notevole importanza per la conservazione dei banchi, verranno esposte più tardi.

* * *

Fenomeni simili a quelli or ora descritti, quantunque di ben diversa entità a seconda dello stato d'agitazione del mare

si verificano anche lungo il margine estremo a cui giunge la massa liquida. Nel caso di mar burrascoso i getti d'acqua raggiungono un'estensione considerevole e invadono intermittenemente la spiaggia colla massima violenza. Cospicua sarà quindi l'azione dei getti ascendenti che trasporteranno verso terra una grande quantità di materiali, ma non in grado minore lo sarà quella dei getti discendenti i quali trascineranno di nuovo verso mare buona parte delle sabbie poco prima depositate. Ben si capisce però che lungo il margine estremo a cui giunge l'acqua del mare l'accumulo dovrà prevalere sull'erosione, poichè il getto in discesa, che ivi appena s'inizia, non può acquistare subito l'energia sufficiente per respingere verso mare i materiali portati dal getto in ascensione; a qualche distanza invece le sabbie che tornano ad essere trascinate verso il largo potranno esser in eccedenza su quelle che arrivano poichè la loro componente di peso faciliterà la discesa anzichè l'ascensione.

Sotto questo avvicinarsi di movimenti la spiaggia non può conservare il suo abituale profilo, ma deve assumerne uno più ripido, cioè più elevato in corrispondenza all'accumulo entro terra e più depresso in corrispondenza all'erosione verso mare, deve presentare in breve una *scarpata*. Ciò si verifica in natura colla massima fedeltà; durante le mareggiate è normale riscontrare all'estremo limite a cui giungono le lame una serie di rilievi sabbiosi, assai irregolari ma sempre molto depressi, accompagnati da abbondanti depositi di conchiglie e di vegetali marini; partendo da questa zona e inoltrandosi verso il mare, si osserva che il profilo del fondo presenta un pendio relativamente ripido e si può constatare facilmente l'azione scavatrice dei getti che, discendendo la scarpata, trascinano verso il largo sabbie, conchiglie e ogni altra specie di detriti.

Fenomeni di portata molto meno considerevole avvengono quando il mare sia solo mediocrementemente agitato. In questo caso le onde, infrangendosi presso la riva, danno luogo a dei getti d'acqua di discreta violenza che spingono i materiali sabbiosi a risalire la spiaggia per accumularvisi. Ben si comprende che il getto discendente non può riportare verso mare tutte le sabbie che sono state trasportate dal getto in ascensione, perchè non ha al suo inizio velocità sufficiente. Buona parte dei materiali rimangono quindi in sito e si dispongono in modo da formare una specie di *diga costiera*, il cui profilo trasversale (sez. V.^a) presenta un pendio

ripido dalla parte del mare e relativamente dolce dalla parte di terra. Molto spesso questa diga sostiene verso terra un bacino ricolmo di acqua la quale trova sfogo nel mare attraverso stretti canali che interrompono regolarmente la diga stessa.

Mettendosi nelle opportune condizioni, si può assistere facilmente alle origini di una diga costiera e verificare che sono appunto quelle ora descritte. È interessante inoltre vedere come si comporti la diga già formata sotto l'azione dei movimenti della massa liquida. Il getto in ascesa percorre velocemente il pendio ripido, depositando man mano i materiali tenuti in sospensione secondo la loro grossezza finchè giunto alla cresta si riversa nel bacino attiguo; intanto comincia a formarsi il getto in discesa il quale pur non potendo trasportare grandi quantità di sabbie, le fa nondimeno rotolare lungo il pendio, facilitato in ciò dalla componente di peso che, data la notevole inclinazione di quello, non deve essere punto trascurabile.

La diga costiera, essendo una formazione che di regola s'incontra al margine della massa liquida, deve evidentemente risentire ogni variazione di livello di questa e in primo luogo quella prodotta dalle maree. Infatti si può osservare che la diga generata durante la bassa marea risale per un buon tratto la spiaggia, man mano che si eleva il livello dell'acqua, ma quasi sempre non riesce a compiere per intero il suo viaggio fino al limite dell'alta marea, bensì viene distrutta durante il cammino e un'altra se ne stabilisce in suo luogo. Un fenomeno corrispondente si osserva del pari durante il riflusso: in questo caso la diga, che si è formata durante l'alta marea, rimane abbandonata e se ne forma un'altra verso mare, ora adagiata sulla prima come è mostrato dalla sez. II^a ora a qualche distanza, sul prossimo banco costiero emerso (sez. VI^a, VII^a e IX^a).

Le dighe costiere dovrebbero esser proprie di tutte le coste sottili, ma ciò non ostante ben di raro se ne vede fatta menzione. Una buona serie di osservazioni fu fatta solo, a mia notizia, nel mare del Nord e nel Baltico da JENTZSCH (1), il quale descrive con esattezza dei fenomeni che hanno la massima analogia con quelli che avvengono nelle spiagge del Lido. Secondo questo autore nelle coste germaniche si riscontra di frequente al limite della massa liquida

(1) JENTZSCH A. *Geologie der Dünen* in GERHARDT P. *Handbuch des deutschen Dünenbaues*, pag. 341. Berlino, 1900.

una formazione, alla quale dà il nome di *strandwall* — con un significato affatto diverso da quello che a tal nome danno altri autori (1) — la quale risponde fundamentalmente a tutti i caratteri di una diga costiera: essa presenta infatti un pendio ripido verso il mare che viene periodicamente risalito dai getti d'acqua e racchiude spesso verso terra una depressione chiamata *rinne*. Ciò dimostra che i fenomeni osservati nelle spiagge dei litorali veneti non sono da ascrivere a speciali condizioni locali di queste, ma si verificano eziandio in altre regioni di simile aspetto morfologico.

*
* *

Tornando ai banchi, da quanto venne esposto si può ritenere come stabilito:

1. *che quei banchi che si formano in vicinanza della spiaggia, sempre a piccola profondità, ma tale che i banchi stessi rimangano sempre sommersi, presentano di regola un pendio dolce dalla parte di mare e relativamente ripido dalla parte di terra;*

2. *che questo profilo subisce delle alterazioni più o meno estese quando i banchi vengono ad emergere.*

Il secondo dei due fatti esposti è pienamente spiegabile, come si disse, coll'azione dei frangenti, ai quali si possono certamente attribuire le più diverse alterazioni del profilo dei banchi portati all'emersione in seguito a un ritiro delle acque. La prima conclusione invece, quantunque basata sui fatti osservati, ha bisogno di un'ulteriore discussione, poichè si ricollega evidentemente al complesso problema dell'origine dei banchi costieri.

Intorno all'origine dei banchi costieri e di analoghe formazioni parecchie ipotesi furono emesse, ma in questa occasione mi parebbe fuori di luogo, nei limiti di queste ricerche preliminari, farne un'enumerazione e una critica anche sommaria (2): sarà

(1) SUPAN. *Phys. Erdkunde* V. Aulf. p. 597.

(2) Accennerò solo brevemente alla teoria, geniale ma forse troppo immaginosa del CORNISH (op. cit. pag. 640, *Geogr. Journ.*, Vol. XI, N. 5, maggio 1898) secondo il quale i banchi si generano lungo linee nodali determinate da un'oscillazione del mare dovuta alle maree e paragonabile a quella di una lamina metallica vibrante. Ricorderò pure la teoria del CORNAGLIA (op. cit., pag. 194) sull'origine degli *scanni litorali*

invece più conveniente esporre durante la trattazione quelle vedute che meglio si adattano al caso nostro, in una colla descrizione dei fenomeni che trovano maggior riscontro con quelli osservati sulle spiagge del Lido.

Della teoria dei flutti di fondo venne già in precedenza accennato e già sappiamo che, quando le onde non hanno sufficiente profondità per propagarsi liberamente, si genera presso il fondo, per il prevalere del flutto diretto sull'inverso, un movimento intermittente d'avanzata, la cui direzione coincide con quella di propagazione del moto ondoso. A compensare questo afflusso continuo verso la spiaggia, dobbiamo ammettere l'esistenza di movimenti di ritorno dalla spiaggia verso il largo. Tali movimenti, pur conservando tutti il carattere oscillatorio proprio del moto ondoso da cui traggono origine, sono di varia natura: secondo il CORNAGLIA (1) quando un flutto viene arrestato dal fondo inclinato, si genera il *flutto riflesso* in direzione parallela alla spiaggia e che raggiunge la sua massima intensità quando il flutto principale giunge a riva sotto un angolo di 45° , avendo invece valore nullo quando l'angolo d'investimento è di 0° o 90° . In quest'ultimo caso, quando cioè la direzione di propagazione delle onde è normale alla spiaggia, si ha invece il massimo d'intensità della *risacca*, la quale agisce lungo la linea di massima pendenza del fondo ed è quindi nulla quando l'angolo d'investimento è uguale a 0° . In vicinanza alla spiaggia si avrebbero dunque tre specie

la quale si riconnette però a formazioni molto più grandiose. Gli scanni litorali sono per il CORNAGLIA grandi banchi che decorrono parallelamente alla spiaggia a una certa distanza da questa; la loro origine sarebbe in correlazione coll'esistenza, sul fondo del mare, di *linee neutrali* presso a poco parallele alla costa, lungo le quali i materiali del fondo non possono muoversi nè verso mare nè verso riva, mentre dal lato della terra i materiali son sospinti verso la riva, al largo verso l'alto mare. Ammessa l'esistenza di due linee neutrali, è facile spiegare la formazione di un banco, poichè i materiali vengono accumulati lungo una zona interposta alle linee stesse, essendo trascinati verso il largo a mare della linea neutrale più alta e verso la spiaggia a terra della linea neutrale più alta e verso la spiaggia a terra della linea neutrale più bassa. Merita appena di esser accennata la teoria del KOWATSCHE (*Die Versandung von Venedig und ihre Ursachen*, pag. 171, Leipzig 1882) secondo il quale i banchi del Lido sarebbero dovuti all'incontro delle correnti ondose provocate dai venti di NE e di SE, che sono i predominanti nell'Adriatico superiore.

(1) CORNAGLIA P., op. cit., parte 4^a cap. I^o.

di movimenti: i flutti originari che seguono la direzione di propagazione del moto ondoso, i flutti riflessi la cui azione si manifesta lungo la spiaggia e la risacca che a questa è normale.

Questa rappresentazione, forse troppo schematica di un fenomeno certamente assai complesso, risponde però nelle linee generali alla realtà e può dar ragione della formazione e conservazione dei banchi. Avverrà facilmente che, a qualche distanza dalla costa, la risacca di un'onda incontra sul fondo il flutto diretto di un'onda successiva. Sulla zona d'incontro dei due movimenti opposti la sabbia dovrà accumularsi; rimane così spiegata la formazione di un banco diviso dalla riva da un bacino, come si osserva avvenire costantemente in natura. Il flutto riflesso poi, se è di sufficiente intensità, contribuirà a scavare il bacino, o per lo meno a tenerlo sgombro dei materiali che vi giungono dal largo, come si verifica in modo grandioso lungo le coste della Florida (1). Non intendo però affermare che il flusso riflesso dia origine a un vero canale continuo, parallelo alla costa ma, variando assai d'intensità da punto a punto, provocherà la formazione dei bacini allineati che trovano sfogo nel mare attraverso interruzioni dei banchi, come venne già descritto.

Un banco, una volta formato, costituisce un notevole impedimento al libero propagarsi del moto ondoso, poichè tanto il flutto diretto come la risacca dovranno esser deviati verso l'alto. Ciò avviene infatti, e lungo il pendio verso mare del banco stesso si stabilisce un *getto* d'acqua diretto verso terra, mentre nel

(1) GAILLARD nel suo lavoro intitolato: *Wave action in relation to engineering structures*. (Professional papers of the corps of engineers U. S. 1904) informa come lungo le coste della Florida sia normale riscontrare, durante le traversie di NE, la presenza di un canale largo e profondo che decorre nella stessa direzione della costa e cioè presso a poco da N a S. Questo canale è limitato verso mare da banchi e va man mano ricolmandosi durante i periodi di mare tranquillo per ristabilirsi poi in seguito a nuove tempeste provocate dai venti del primo quadrante. Secondo l'A. l'acqua che s'ingolfa e fluisce in questo canale produce uno scavo invero assai considerevole, come sorprendente è la quantità di sabbie che in tal modo viene trainata da nord a sud. Fenomeni consimili quantunque meno grandiosi furono notati recentemente sulle coste toscane da A. R. TONIOLO (*Sulle variazioni di spiaggia a Foce d'Arno Marina di Pisa*, (pag. 62 segg., Pisa 1910.) Anche JENTZSCH (op. cit. pag. 42) parla di un notevole trasporto di sabbia che si verificherebbe nelle spiagge del Baltico lungo i bacini compresi tra due banchi, trasporto che l'A. attribuisce però all'azione delle correnti litorali.

pendio opposto la risacca dà origine parimente a un getto, ma in direzione opposta, che chiameremo col CORNAGLIA (1) *getto di repulsa*.

I banchi costieri devono la loro conservazione appunto a questi due getti i quali, agendo in senso opposto, mantengono ferme le sabbie accumulate e impediscono che esse vengano disperse dall'impeto delle onde. Tanto il getto, come il getto di repulsa intervengono solo quando il banco sia già stabilito e non sono che una conseguenza dell'impedimento costituito dal banco stesso sui movimenti che avvengono sul fondo marino e cioè sul flutto originario e sulla risacca.

* * *

In natura si hanno talvolta dei fenomeni, che a prima vista si giudicherebbero affatto disparati, nei quali un esame ulteriore viene a scoprire dei rapporti di analogia non insignificanti e tali da far sospettare un'affinità nelle origini. Un simile legame genetico si può agevolmente stabilire fra le cresse e i banchi costieri. Abbiamo visto infatti che alla costituzione di una cressa concorrono due movimenti delle particelle liquide, simultanei, entrambi con componente verso l'alto ma diretti in senso opposto, movimenti che si effettuano presso il fondo mentre, alla superficie, al cavo di un'onda subentra il dorso dell'onda successiva. Anche per i banchi una supposizione analoga risponde ai fatti osservati, poichè dall'esame di questi si è concluso che i banchi costieri devono la loro origine all'urto presso il fondo del flutto diretto colla risacca che incontra il primo appunto all'approssimarsi del dorso di un'onda.

Le maggiori analogie si possono però stabilire tra le cresse di riva e i banchi costieri. Le cresse di riva sono costantemente in fase diretta e non presentano oscillazioni, precisamente come accade pei banchi costieri che hanno appunto un pendio dolce verso mare e uno ripido verso terra. Noi sappiamo inoltre che nelle cresse di riva si stabilisce, lungo il pendio verso terra, il vortice, al quale corrisponde completamente il getto di repulsa dei banchi. Tale legame tra le cresse di riva e i banchi costieri

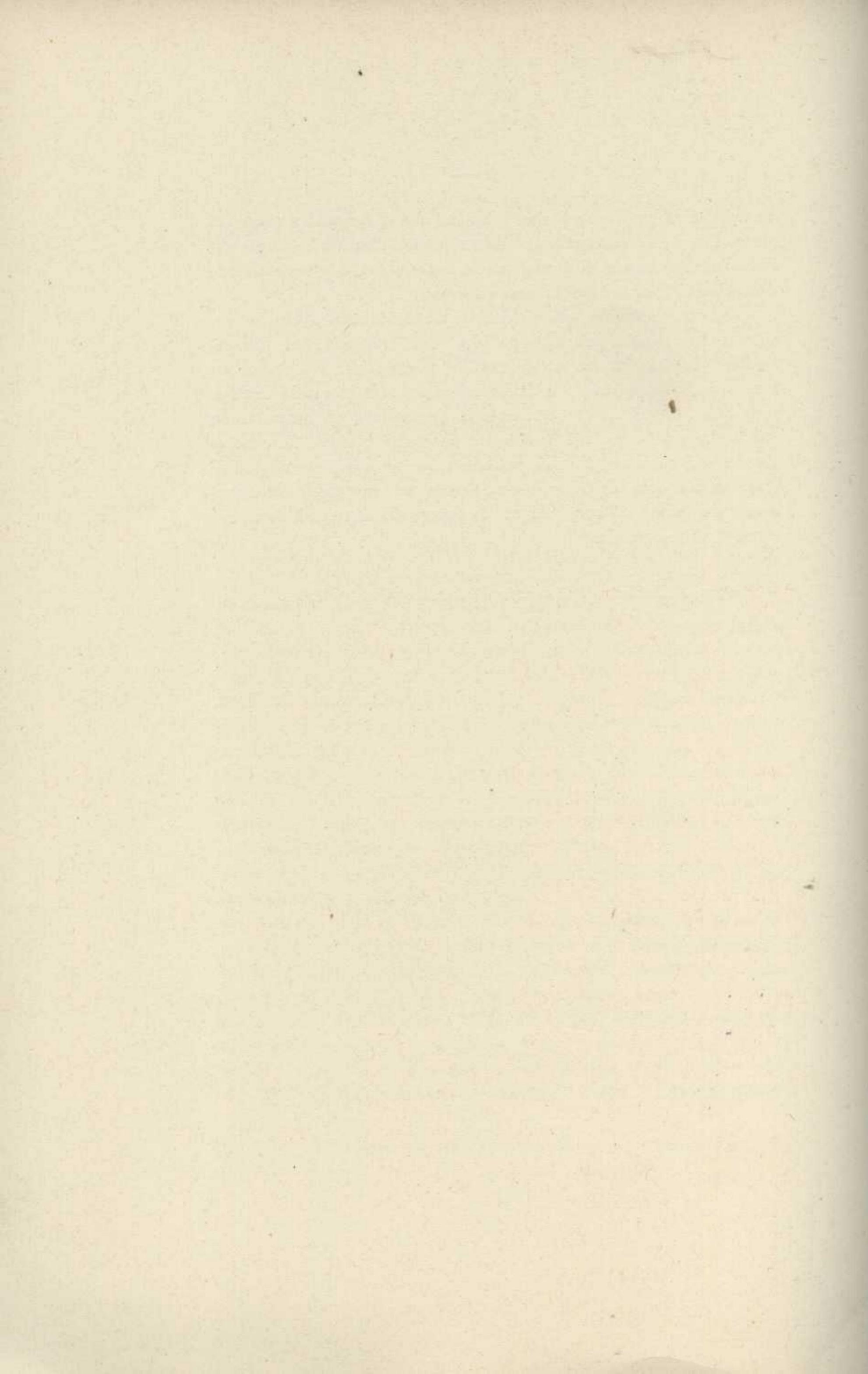
(1) Si confronti il più volte citato lavoro del CORNAGLIA a pag. 194, 254 e altrove.

mi suggerirebbe l'ipotesi che i banchi che si formano a maggiori profondità sieno caratterizzati da un profilo simmetrico, come avviene per le cresse di fondo, ma a sostegno di tale supposizione manca ogni fondamento di dati osservati.

Questa sommaria esposizione di alcuni fenomeni che si verificano nei banchi può dare un'idea dell'interesse che presenterebbe un loro studio continuato e sistematico. Nel presente lavoro però fui costretto a limitarmi a prender in considerazione solo quei banchi che si formano in immediata vicinanza della riva e che mi furono più facilmente accessibili; quindi le conclusioni a cui sono giunto non possono esser nè complete nè definitive, poichè solo da ricerche numerose ed eseguite con mezzi assai più larghi di quelli di cui io potevo disporre sarà da attendersi l'ultima parola.

Padova, R. Istituto di Geografia Fisica, 31 dicembre 1911.

ANTONIO DE TONI.



Spiegazione delle Tavole

TAVOLA I.^a

- FIG. 1. — Aspetto normale di un banco costiero. — Santa Elisabetta di Lido, 14 Marzo 1910.
- FIG. 2. — Banco unito per un'estremità alla riva. — Santa Elisabetta di Lido, 11 Novembre 1909.
- FIG. 3. — Due banchi costieri paralleli. — Santa Elisabetta di Lido, 11 Novembre 1909.

TAVOLA II.^a

- FIG. 1-3. — Fasi delle cresse e dimostrazione dei movimenti della sabbia lungo i pendii delle cresse stesse.
- FIG. 4. — Origine delle cresse a doppia cresta.
- FIG. 5a-d. — Origine delle cresse intercalate.
- FIG. 6. — Alterazione delle cresse per opera dei frangenti.
- FIG. 7. — I movimenti delle cresse messi in relazione coi movimenti delle particelle liquide che formano l'onda.

TAVOLA III.^a

Alcuni profili trasversali della spiaggia del Lido.
Scala 1:200 per le lunghezze
„ 1:100 per le altezze.

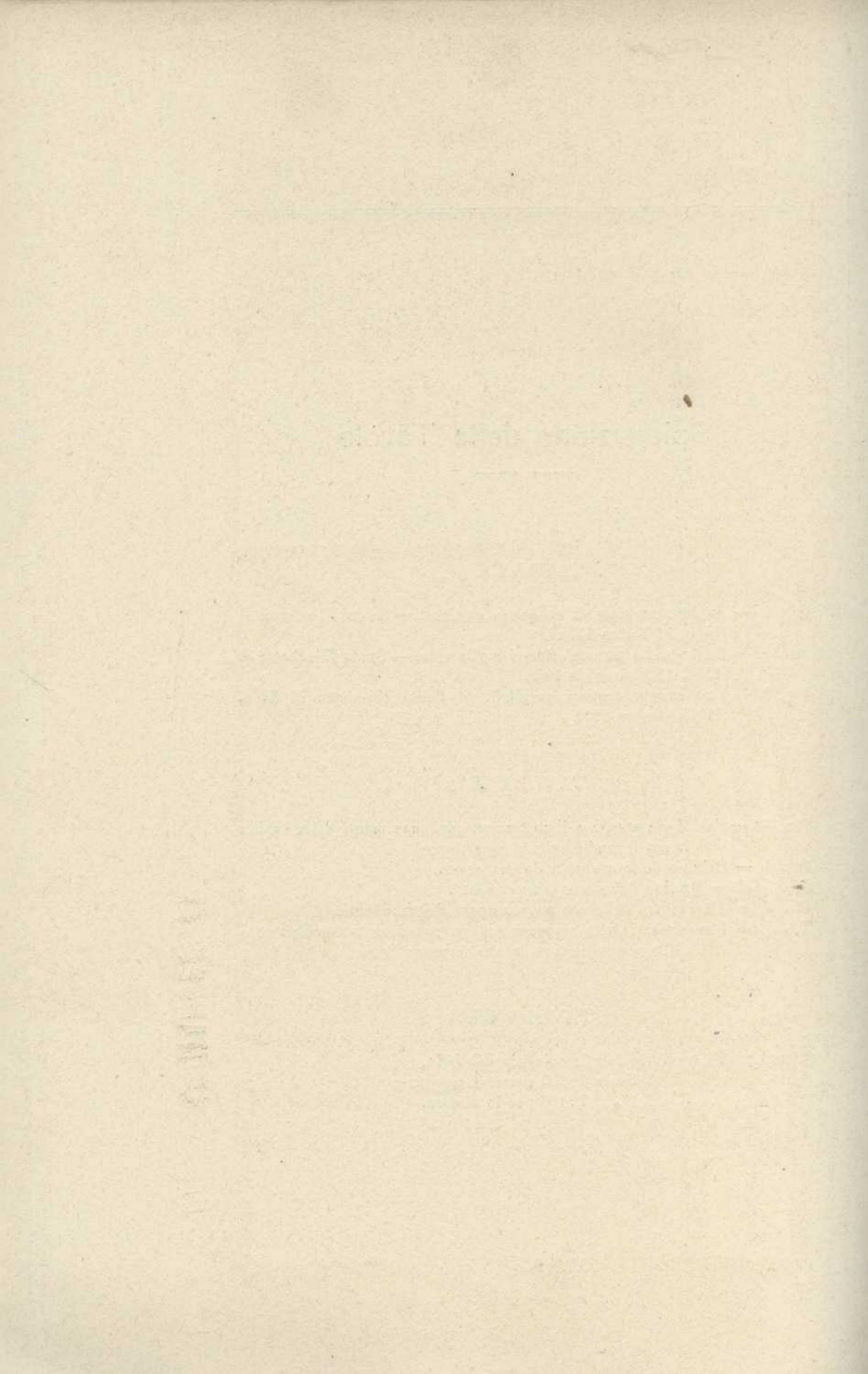




Fig. 1

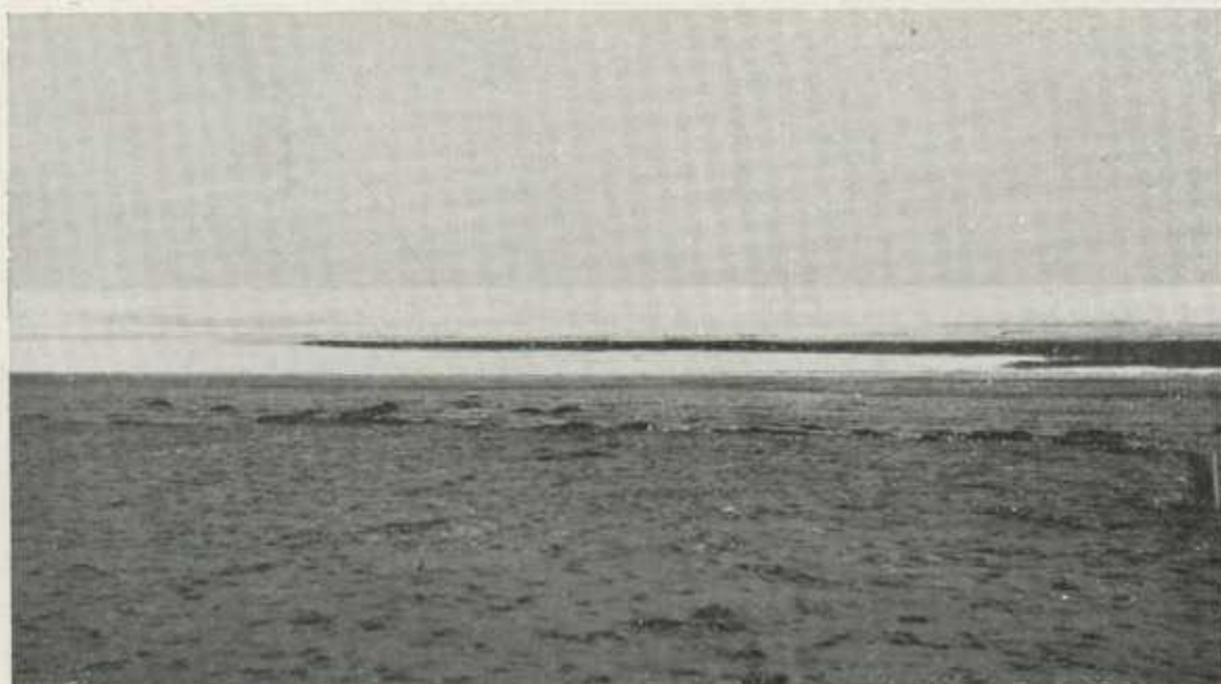


Fig. 2

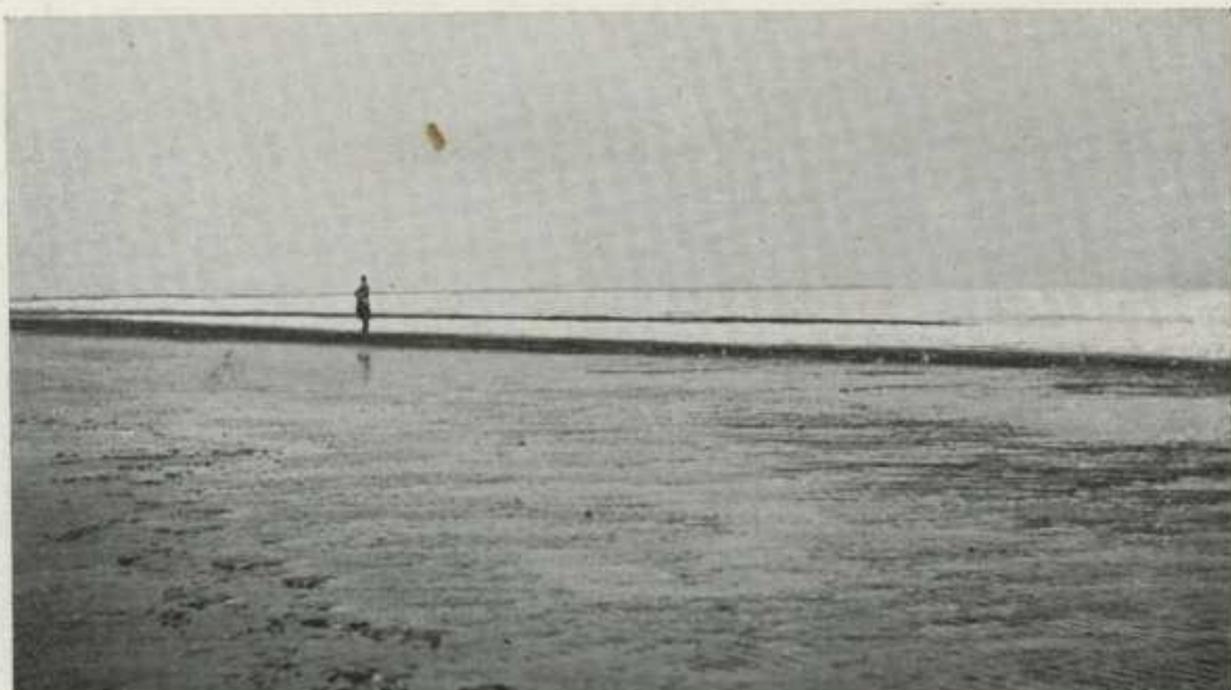


Fig. 3

Fig. 1.

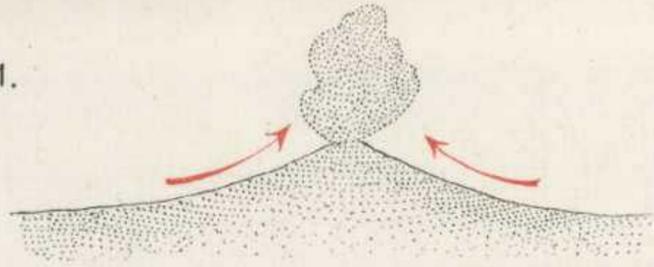


Fig. 2.

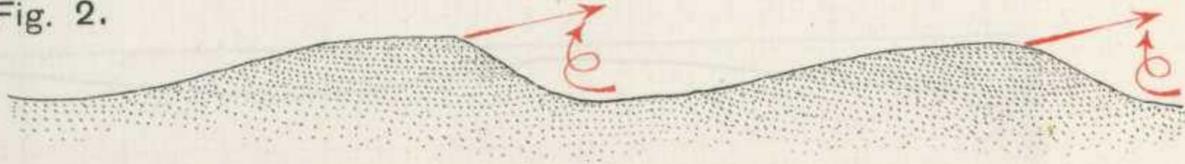


Fig. 3.



Fig. 4.

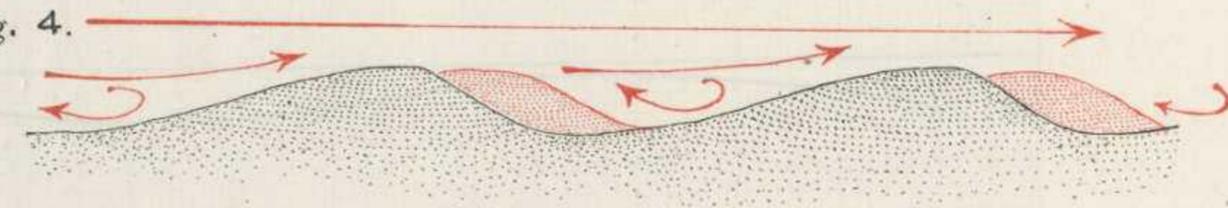


Fig. 5.

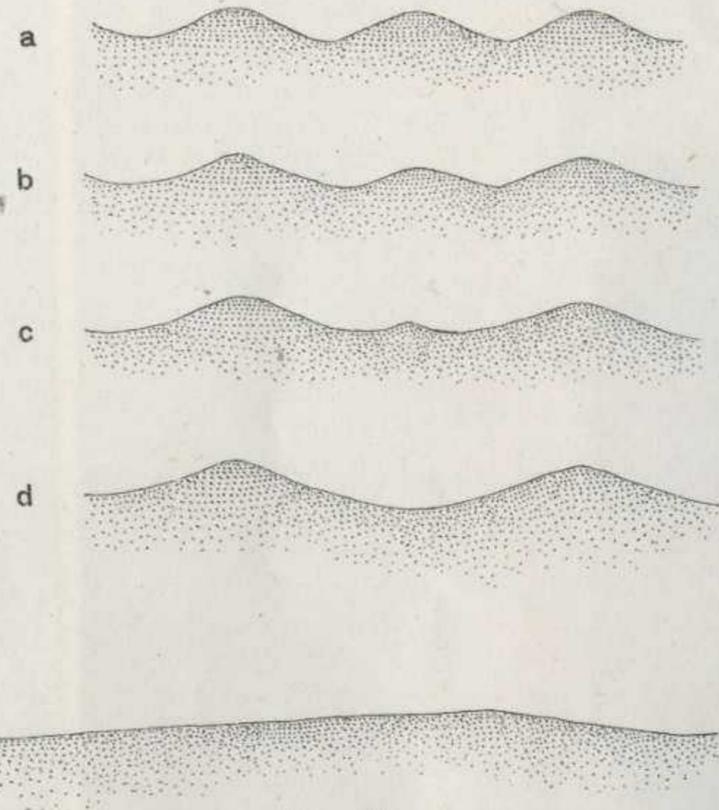


Fig. 6.

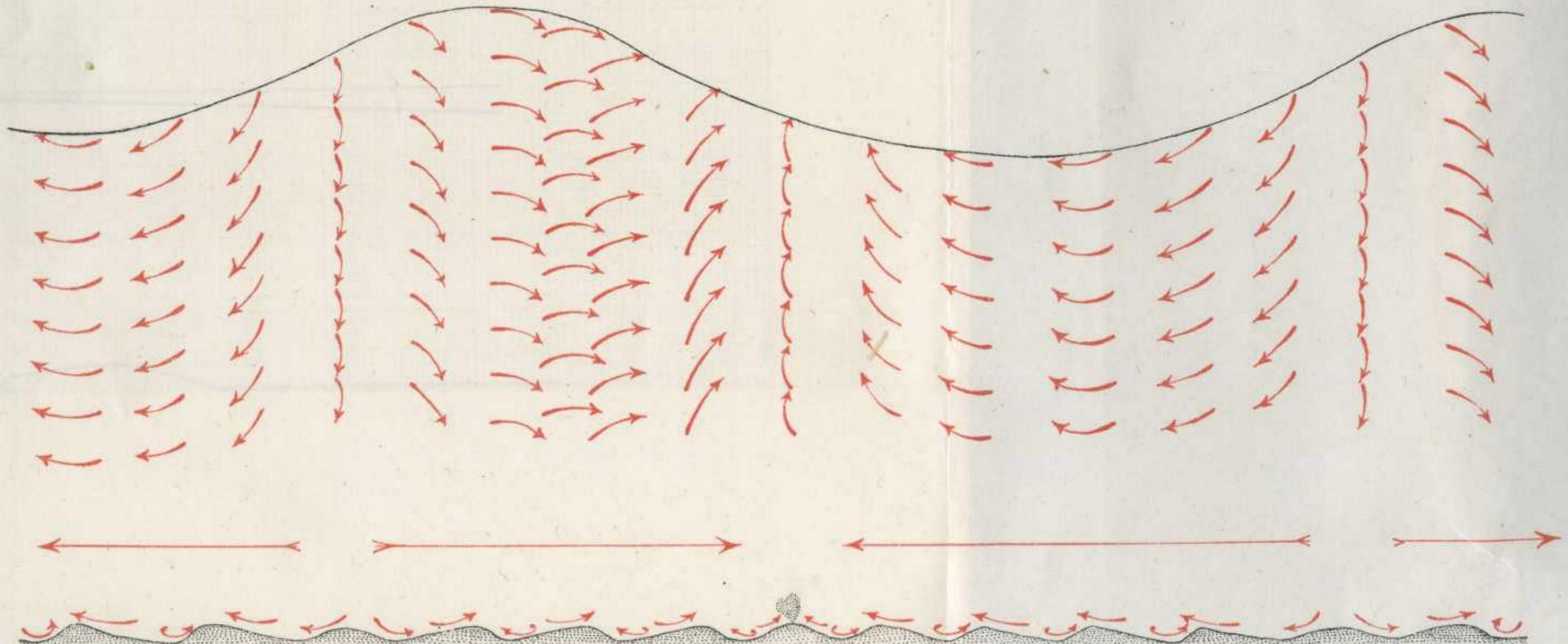


Fig. 7.

I. 31 - I - 909 — Spiaggia S.ta Elisabetta

II. 12 - III - 911 — Spiaggia di S. Nicolò

III. 23 - X - 909 — Spiaggia S. Nicolò

IV. 26 - III - 910 — Spiaggia S.ta Elisabetta

V. 13 - VI - 909 — Spiaggia S.ta Elisabetta

VI. 13 - VI - 909 — Spiaggia S. Nicolò

VII. 30 - V - 909 — Spiaggia S.ta Elisabetta

VIII. 23 - X - 909 — Spiaggia S. Nicolò

IX. 26 - XII - 910 — Spiaggia S. Nicolò

NB. — Il livello del mare è segnato con una punteggiata.

Profili trasversali della Spiaggia del Lido

Scala 1:200 per le lunghezze
1:100 per le altezze

