

ISTITUTO
GEOLOGIA

4

UNIVERSITA'
PADOVA

DIPARTIMENTO
GEOLOGIA
PALEONT. GEOPISICA

4

UNIVERSITÀ
PADOVA

Antonio de Toni.

Materiali
per lo studio del Lido
della Laguna di Venezia.

Presentato il 9 giugno 1910

IL SEGRETARIO DELLA FACOLTÀ
DI SCIENZE

Indeleonardi

3

R. Università Padova.

1909-10.

Introduzione.

all'estremità NW del Mare Adriatico, tra le foci della Piave e dell'Adige, in un'insenatura non molto pronunciata, si trovano le Lagune di Venezia. Esse sono divise dal mare da una stretta lingua di terra che le limita quasi ininterrottamente e le preserva dall'impeto delle mareggiate: con termine locale viene chiamata Lido, equivalente a litorale, mentre le altre spiagge di terraferma sono distinte col nome di marine. Noi non conserviamo memoria storica sull'origine del Lido, ma certamente essa risale a tempi remotissimi. Il primo documento sicuro dell'esistenza del Lido lo si trova nelle «Historiae» di Titò Livio⁽¹⁾, che ne dà una descrizione molto sommaria ma esatta anche ai nostri giorni.

(1) Ricordo che Titò Livio parla dell'invasione fatta nell'anno 451 di Roma da Leonino Spartano: « Circumnectus inde Brundisii
 « promonturium, medioque sinu Hadriatico ventis latus, cum lae-
 « va impetuosa Italiae litora, dextra Illyrii Liburnique et
 « Histri, gentes feracae et magna ex parte latrociniis mariti-
 « mis infames, terrevent, penitus ad litora Venetorum pervenit;
 « expositis paucis qui loca explorarent, cum audisset tenue

A quanto sappiamo, cominciò ad essere abitato e coltivato fin da tempi antichi, e infatti Malamocco fu città romana⁽¹⁾; durante le invasioni barbariche il Lido offrì ricovero ai fuggianti provenienti dalla terra ferma, che vi costruirono borghi e città e le prime opere idrauliche di difesa. Malamocco divenne presto un centro d'importanza, e capitale del Dogado, ma, essendo troppo esposto all'impeto delle invasioni nemiche, dovette cedere nell'anno 813 la supremazia a Rialto, altro centro notevole di popolazione e primo nucleo della futura Venezia, che, situato in un'isola, nell'interno della Laguna, doveva offrire una sede più sicura contro l'ira degli elementi e degli uomini. Nel 1106-1107 Malamocco, forse in seguito a un maremoto, venne distrutta, e l'attuale borgo

« praetentum litus esse, quod transgressis stagna ex adverso
 « sint iniqua aestibus maritimis, agros haud procul pro-
 « ximos campestris cerni, ulteriora colles, videri esse ostium
 « fluminis Praealti, quo circumnagi naues cum in stationem
 « tutam possent vidisse (Medoacus annis erat), eo invectam
 « classem tubine, flumine adverso, iussit. » [X.2. Hist.]

(1) Cfr. Malagola Ch. - Le Lido de Venise à travers l'histoire.
 Venezia Norsa 1910

-4-

si trova a W del punto dove sorgeva l'antica città. La popolazione del Lido però, dove non regnano paludi e malaria, o dove non si stendono le dune, è ancora densa, e il suo terreno, composto di limo molto fertile, è ancora coltivato, specie ad ortaglie, con grande profitto. Il lido si può rappresentare schematicamente con una curva leggermente concava verso il mare. La direzione del suo asse oscilla da N-S a NE-SW, e la sua lunghezza complessiva è presso a poco di 45 km. La larghezza invece varia entro limiti vasti: mentre in alcuni tratti (p.e. tra Pellestrina e Cavallino) essa si riduce alla larghezza della diga e delle scogliere artificiali, all'estremità S, presso il Pto di Brondolo è di poco inferiore a 3 km. e li sorpassa all'estremità N presso il villaggio di Breporti. Altrove esporrò alcune considerazioni che possono condurre alla spiegazione di questa diversità di larghezza veramente notevole. Le Lagune comunicano col mare mediante stretti che con termine veneto vengono detti porti.

Questi dividono il lido in varie porzioni che sono, cominciando da N: il litorale del Cavallino, tra le foci attuali del Sile e il Pto di Breporti, il

litorale di S. Erasmo, fra il Pto di Dreponti e il Pto di S. Erasmo, il litorale di Malamocco, detto Lido senz'altro, fra il Pto di Lido e quello di Malamocco, il litorale di Pellestrina, fra il Pto di Malamocco e quello di Chioggia, e infine il litorale di Sottomarina fra il Pto di Chioggia e le attuali foci della Brenta. Bisogna inoltre notare che tra i porti di S. Erasmo e di Lido si trova l'isola delle Vignole, che comunemente non si calcola come facente parte del Lido. Questi porti erano piu numerosi in passato. L'odierno litorale del Cavallino era diviso in due da un porto [V. Carta geografica] chiamato Pto di Lio mazor. Per cause che esamineremo venne spinto sempre verso SW. Nel 1683 esso si trovava quasi all'estremita del litorale, ora l'ultima fraccia e data dal Canale di Portelio, che non sbocca piu direttamente in mare ma nel Pto di Dreponti, ed e appena accessibile a piccoli natanti.

Un altro porto esisteva nel litorale di Pellestrina un po' a S del villaggio di S. Pietro in Volta. Esso portava il nome di Pastene e si chiuse spontaneamente nei primi anni del sec. XV. Si esso non esiste piu traccia che nel nome di

un piccolo villaggio, che si chiama Portosecco.

Alcuni porti invece cambiarono di posizione durante i secoli: ciò avvenne ^{oltre che} per il pto di dio major, che, come si vide, si spostò sempre verso SW prima di perdersi definitivamente, per il pto di Lido che emigrò verso S, ⁽¹⁾ e probabilmente per il porto di Malamocco che si troverebbe più a S dell'antico Portus Medoacus dei Romani ⁽²⁾.

Altri porti infine esistono tuttora, ma non comunicano più colla Laguna. Tali sono quello di Jesolo all'estremità N e di Brondolo all'estremità S. La storia di questi porti essendo intimamente legata alle modificazioni idrografiche introdotte nella Laguna, conviene contemporaneamente parlare dei fiumi veneti e delle loro principali vicende.

La Piave, fin dai tempi più antichi, rappresentò sempre un grave pericolo per la Laguna, tanto che nel 1534 la Veneta Repubblica, per separarla definitivamente, la immerse nel porto di Jesolo, costruendo a tal uopo le potenti arginature che vanno sotto il nome di Argini di S. Marco. In tal modo il pto di Jesolo non comu-

(1) Gucchini E. - La sistemazione del Pto di Lido. Milano 1906.

(2) Malagola Ch. op. cit. pg 38

nicò più colla Laguna, la quale ebbe, da questa deviazione, un sensibile miglioramento, ma le torbide della Piave, riversandosi completamente in mare, ostruirono il Pto di diomazor e minacciarono seriamente quello di Lido. Ben videro ciò i Veneziani e costruirono più a E, nel 1683, un altro alveo, che fu fatto sboccare a Cortelazzo, ma il triste stato di cose rimase immutato.

Il Sile sboccava, anche in tempi recenti, presso Altino. Essendo un fiume che ha origine da sorgive, non portò mai danni molto rilevanti. Però, nel 1684 essendo rimasto inutilizzato l'antico alveo della Piave, il Sile vi fu immesso con un ardito canale; anche attualmente esso sbocca all'antico Pto di Zerolo, che ora ha preso il nome di Piave vecchia. I corsi d'acqua Zero, Dese e Marghenego e altri più piccoli, avendo tutti origine da sorgive, scorrono limpidi e lenti, e non hanno avuta alcuna azione morfologica importante.

Il fiume che più spesso subì deviazioni fu la Brenta. Fin dai primi tempi della Veneta Repubblica questo fiume, sempre ricco

di materiali alluvionali, e troppo vicino colle sue foci a Venezia, dette causa a preoccupazioni e a discussioni. Fu più volte, mediante tagliade trasportato dalla laguna di Venezia in quella di Malamocco e altrettante volte fu rimesso nell'antico alveo di Fusina. Finalmente nel 1540 fu trasportato nella laguna di Chioggia e nel 1561 cominciò quel gigantesco lavoro che condusse alla separazione mediante dighe e argini del Pto di Brondolo dalla laguna e all'immissione in questo della Brenta.

Per accontentare i desideri delle città di terraferma che temevano che il troppo lungo corso della Brenta fosse causa di rotte e inondazioni, nel 1840 si apriva una comunicazione tra il fiume e la laguna di Chioggia presso a Conche. In breve l'antica foce di Brondolo rimase in secco ma i danni risentiti dalla laguna furono tali e tanti, che il ritorno all'antico stato di cose s'impose e infatti anche attualmente la Brenta, dopo opportune rettificazioni di corso, sbocca a Brondolo.

Anche il Bacchiglione seguì in parte le vicende della Brenta. Anticamente sboccava nella Laguna di Malamocco, poi venne

immesso colla Brenta nella bocca di Brondolo e seguì le deviazioni di questo fiume.

L' Adige nel VI secolo correva sotto Este e sboccava probabilmente presso Brondolo, ma ben presto, dopo una rotta, si diresse verso Badia e Rovigo e poi con una serie di rotte originò parecchi corsi d'acqua che si uniscono in parte con quelli del Po. Attualmente la foce principale dell' Adige è a Fossone, un poco più a S di Brondolo.

Il Po ai tempi romani sfociava presso Comacchio, ma colla rotta di Ficarolo (1150) si diresse verso le Lagune Venete, anzi il ramo detto Po di Tramontana, che si gettava in mare tra Pto Fossone e Pto Caleri, le minacciava tanto, che i Veneziani nel 1559-1604, col taglio di Porto Viro, trasportarono la maggior parte delle acque del fiume verso il Delta attuale.

Tutti questi lavori, frutto di lunghi studi del Veneto Magistrato alle acque, furono condotti a termine coll'unico scopo di salvare la Laguna dalla legge generale dell'interrimento. Coll'allontanarvi i fiumi, si può dire che la Veneta Repubblica sia riuscita a impedire l'ulteriore impaludamento della Laguna; le mancarono però i mezzi per combattere l'azione del mare

sui porti: di ciò comincio pure parlar succinta-
mente.

La Veneta Repubblica comprese ben presto qual
nemico fosse il mare. Cercò quindi in ogni modo
di irrobustire il Lido, dove non presentava suf-
ficiente riparo, prima con palafitte, poi con
scogliere e opere in muratura, poi con quei gi-
ganteschi murazzi costruiti nel sec. XVIII.

Con ciò ottenne che il mare non sorpassasse
il Lido per riversarsi in Laguna, e fu già molto.

Ma il mare, rimaneggiando i depositi portati
dai fiumi, costruì dei banchi attraverso alle
bocche dei porti, impedendo la navigazione non
solo ma il libero ricambio d'acqua dovuto alle maree,
che è essenziale per la conservazione della Laguna.

Abbiamo visto che alcuni porti andarono in tal
modo perduti, gli altri, fra i quali lo stesso Pto di
Malamocco, presentavano degli scanni molto
pericolosi. Nel 1806 una commissione nomina-
ta da Napoleone I propose di costruire due
dighe, una sul litorale di Malamocco, una
su quello di Pellestrina, Progetto che fu ese-
guito molto più tardi dal Paleocapa. I risul-
tati furono inaspettati: principalmente per ope-
ra del riflusso si costituì una corrente, che perio-

ANO

dicamente agendo sugli scanni, li distrusse completamente, formando dei fondali molto profondi. Verso 1881 cominciarono i lavori di sistemazione del Pto di Lido, unito a quelli di S. Erasmo e Inesporti; anche in questo caso i risultati furono buoni. Il porto di Chioggia attende ancora la sua sistemazione. I risultati della costruzione delle dighe furono quindi notevolissimi e anche i litorali ne risentirono l'azione: i materiali alluvionali, che prima andavano a formar gli scanni, dopo la costruzione delle dighe andarono a depositarsi ai lati delle dighe stesse, al riparo delle correnti di riflusso; in tal modo, specie presso Inesporti, S. Nicolò, Alberoni, si formarono importanti ed estesi depositi di sabbia, che contribuirono ad aumentare la larghezza del litorale rispettivo.

Le variazioni topografiche che subì il lido nell'epoca storica, se non ne alterarono le linee fondamentali, furono però notevolissime, e non è possibile non tenerne conto in uno studio geofisico. Il programma di questo è per sua natura molto vasto: fondamentale lo studio petrografico dei ~~suoi~~ materiali costitutivi

del lido, per indagarne la probabile provenienza. Importa inoltre: 1° considerare tutti i fenomeni d'indole geofisica che avvengono nelle sue spiagge, onde cercare se nei processi attualissimi può intravedere il processo di formazione originaria; 2° studiarne l'aspetto morfologico per ricondurlo il più possibile alla forma primitiva; 3° in base a tali studi cercar di stabilire il suo modo di formazione e di sviluppo. Nello studio qui presente solo poche parti ho potuto svolgere in modo definitivo, perciò le conclusioni non possono aver sempre sufficiente sicurezza. Confido però che il tempo non verrà a mancarmi per future ricerche che spero feconde di osservazioni più copiose e di conclusioni più generali.

P
FABR

Parte I

I materiali costitutivi del Lido.

§ 1 Il Lido della Laguna di Venezia, se prescindiamo dal lieve mantello di humus spesso artificialmente portatori e dai letti di frammenti di conchiglie che s'incontrano dove la furia delle onde è maggiore, è composto totalmente da sabbie più o meno argillose. Questi materiali sono di indubbiamente di origine terrestre: a un primo esame superficiale vi si vedono abbondare frammenti di silice e di miche, che non possono avere origine organica, marina. Si tratta dunque di alluvioni ivi depositate in seguito a un trasporto operato dai fiumi prima e dal mare poi. È noto che tutti i fiumi hanno sabbie diverse; uno studio quindi che possa dar luce sulla loro provenienza è certamente possibile, ma resta solo da decidere la scelta del modo di analisi. Nel caso presente l'analisi chimica non è certo da preferirsi: le differenze che si riscontrerebbero tra sabbie e sabbie sarebbero piccole e di scarso valore per un criterio pratico di divisione sistematica. Invece una ricerca che abbia per base lo studio dei minerali

di cui una sabbia è composta, potrà portare a risultati più soddisfacenti, poiché, anche se nella peggiore delle ipotesi non vi fosse diversità nei minerali contenuti, pure una certa differenza dovrà sempre riscontrarsi nelle proporzioni in cui i diversi minerali si trovano. Infatti, ad esempio, mentre le rocce granitiche, porfiriche e gli scisti cristallini sono molto ben rappresentati nel bacino del fiume Adige, sono meno estesi in quello della Brenta, e scarse in quello della Piave: evidentemente, anche se nelle sabbie dei tre fiumi riscontreremo gli stessi silicati, questi si troveranno in ben diverse proporzioni.

Uno studio petrografico delle sabbie è quindi il solo che possa svelarci la loro provenienza.

Un primo esame si può fare colla semplice lente, poiché alcuni minerali si possono determinare a prima vista, ma un'analisi completa si deve fare coi mezzi che son messi a disposizione dalla Petrografia, e con altri artifici che converrà sommariamente descrivere.

92 In Italia già da qualche tempo è cominciato *Bibliografia* lo studio mineralogico delle sabbie, specialmente per merito di Artini che lo

introdusse per primo, e che spinse altri a con-
 tinuarlo. Limitandomi a considerare i lavori
 che più da vicino interessano il Veneto, citerò
 l'importante comunicazione di Artini⁽¹⁾ dell'an-
 no 1898, la quale contiene l'analisi delle sab-
 bie di molti fiumi del Veneto. L'autore ri-
 porta anche una sua analisi di un cam-
 pione raccolto al lido, della quale, non essen-
 do ben definita la località, non ho potuto tene-
 re molto conto.

Recentemente anche il Salmojroghi ha co-
 minciato a studiare sistematicamente le
 sabbie, e i risultati di alcune sue ricerche
 vennero già pubblicati. Quantunque questi
 non interessino direttamente la regione
 presa in esame, pure devo ricordare che
 in un ^{suo} lavoro⁽²⁾ il Salmojroghi riportò
 alcune analisi di sabbie che interessano
 anche il Veneto e specialmente il Po.

Fondandomi sull'esempio di questi due autori

(1) Artini E. - Intorno alla composizione mineralogica delle sabbie di alcuni fiumi del Veneto - Padova, Riv. Min. Cristall. 1898.

(2) Salmojroghi F. - Sull'origine padana della sabbia di Sansego nel Quarnero. - Rend. Ist. Lomb. S. L. Milano 1907

e seguendo i metodi, ho incominciato una serie di ricerche che hanno per scopo di spiegare l'origine del lido di Venezia. Conoscuto il bacino o i bacini dalla quale i materiali alluvionali del lido provengono, sarà, io credo, molto più facile ricostruirne le leggi di formazione e rintracciare le cause principali che hanno dato luogo a un rilievo d'importanza geografica così notevole.

- § 3 Tutti i fiumi del Veneto provengono dalla stessa catena montuosa e alcuni tra essi corrono affatto paralleli in bacini dove affiorano rocce della stessa natura; in pochi fiumi quindi troveremo sabbie che posseggano elementi caratteristici e le differenze saranno più che altro nelle proporzioni. S'intende per elemento caratteristico di una sabbia, un minerale che non si trova che in quella sabbia, e che quindi proviene da rocce che non affiorano che in quel bacino. Se consideriamo ad esempio la sabbia del Po vedremo che in essa sola, tra i fiumi del Veneto, si trova il glaucofane, poiché gli scisti glaucofanici dai quali questo minerale proviene, non

Composizione mineralogica delle sabbie dei fiumi del Veneto

Po

affiorano che nel bacino di quel fiume).

Le sabbie del Po, per questa loro proprietà, sono facilmente riconoscibili. Tra le caratteristiche loro proprie abbiamo la predominanza del Quarzo sui carbonati, l'abbondanza degli elementi pesanti, (così chiamerò quei minerali che abbiano peso specifico superiore a 3), quali Granato, Staurolite, Cianite, Sperstene, Andalusite etc, l'abbondanza degli Anfiboli in confronto alla scarsità dei Pirosseni, la presenza esclusiva del Glaucofane. Come si vede, questa sabbia è ricca dei minerali più variati, come del resto si può arguire dalla stessa estensione del bacino.

Nella sabbia dell' Adige i carbonati prevalgono sul Quarzo, i pirosseni sono più frequenti degli anfiboli, il Granato, l'Andalusite, la Staurolite, la Cianite sono sempre frequenti, mancano invece Sperstene e Glaucofane, o vi sono rari. La sabbia dell'Adige quindi è facilmente riconoscibile per la grande frequenza degli elementi pesanti, frequenza che tra i fiumi del Veneto non è paragonabile che con quella del Po. Sarà quindi agevole distinguere la sabbia dell' A

Adige.

NO

-dige anche quando sia mescolata a materiali provenienti da altri bacini.

Negli altri fiumi del Veneto troviamo sabbie molto simili tra loro, generalmente povere di elementi pesanti. In tutte troviamo dominanti i carbonati, e in seconda linea il Quarzo. In quelle del Bacchiglione abbiamo la frequenza della Muscovite, della Clorite e dell' Augite verde bottiglia; sono molto scarsi invece gli anfiboli e il Granato.

Bacchiglione

Le sabbie della Brenta sono un poco più ricche di quelle del Bacchiglione. Vi troviamo abbondanti le miche, presenti, per quanto rare, la Staurolite e la Cianite, scarso il Granato, e sopra tutto frequenti gli anfiboli e scarsi i pirosseni, carattere che può servire per distinguerle da quelle del Bacchiglione.

Brenta.

In ogni modo le sabbie di questi due fiumi sono molto affini, nè sarebbe facile distinguere la predominanza dell'una o dell'altra quando si avesse a che fare con una miscela.

Veniamo ora a parlare dei fiumi che sfociano più a N. La Piave ha una sabbia povera di minerali. Le caratteristiche prin-

Piave.

cipali sono la frequenza dell'Augite verde bot-
 tiglia, la relativa scarsezza delle Miche e
 cloriti (per cui si distingue da quella della Brenta
 e del Bacchiglione) e la rarità del Rutile, del
 Granato e di altri elementi pesanti. An-
 che la sabbia della Piave non è di facile
 determinazione quando sia in mescolanza
 con altre sabbie di provenienza diversa.

Le sabbie della Livenza sono preponderan- Livenza.
 temente calcaree. Il Quarzo vi è scarso
 e rari o rarissimi alcuni altri minerali
 come la Muscovite, i feldspati, la Clorite, l'Aug-
 ite e il Granato. È possibile che la Livenza,
 scorrendo su antiche alluvioni della Piave,
 abbia arricchita la propria sabbia di elementi
 caratteristici di questo fiume, poiché la Livenza
 nasce dalle sorgive che si trovano ai piedi
 della grande massa calcarea e eminentemen-
 te calcarea, del Cansiglio e del Mte Cavallo e riene
 impossibile supporre che gli elementi, di cui
 si è parlato sopra provengano da questa
 regione.

Il Tagliamento ha una sabbia ricchissima Tagliamento.
 di calcari dolomitici bianchi ed opachi.

Vi è frequente il Quarzo e molto scarsi i

feldspati, le miche e le cloriti.

Abbiamo con passate velocemente le sabbie dei fiumi veneti. Nella tabella I si trovano riassunte le loro composizioni mineralogiche: quelle del Po, dell'Adige, della Brenta, del Bacchiglione sono desunte dal lavoro di Artini, e furono da me controllate; quelle della Piave⁽¹⁾ della Sivenza, e del Bagliamento da mie ricerche; quella dell'Isone dal citato lavoro di Salmoiraghi.

64

Sarà necessario accennare brevemente ai metodi usati per lo studio delle sabbie.

Metodi seguiti nello studio delle sabbie

Fondamentalmente io non ho fatto che seguire i processi usati da coloro che si occupano di tali ricerche. Per le analisi preliminari ho usato sempre il metodo di arricchimento coll'acido cloridrico, il quale allontana tutti i calcari, che generalmente servono di ingombro. È conveniente anche allontanare la Magnetite e l'Ilmenite con una calamita, poiché questi minerali, per la loro opacità,

(1) De Boni A. Descrizione mineralogica delle sabbie della Piave. Pubbl. R. Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque - Venezia 1910

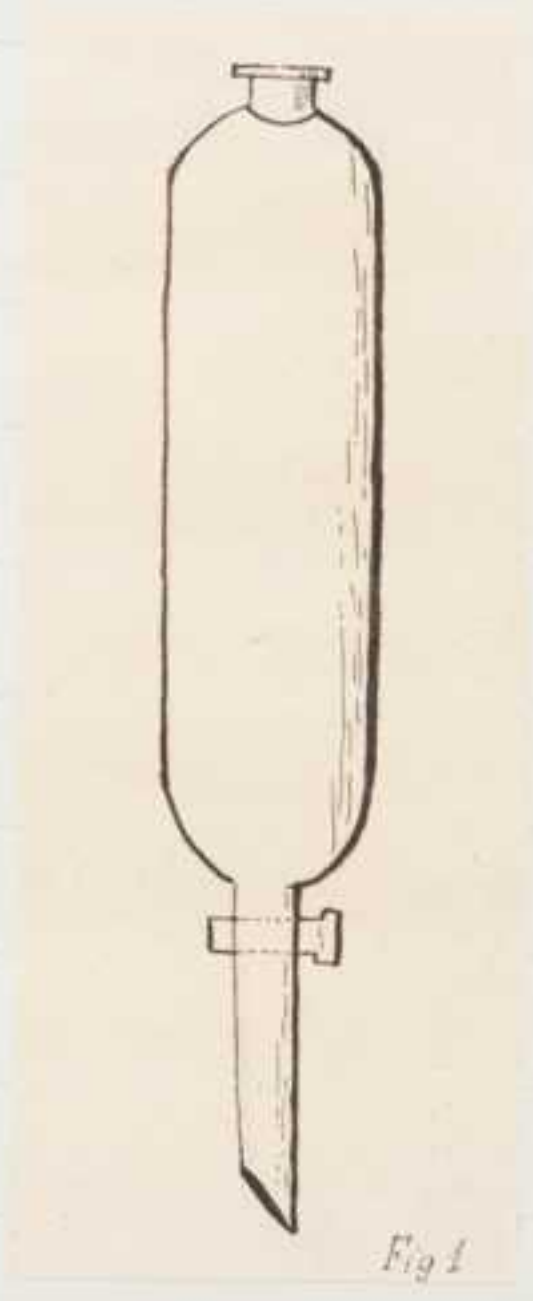
non si adattano a uno studio microscopico.

Tutta l'attenzione dell'osservatore deve esser quindi rivolta ai silicati, che generalmente sono numerosi, e che per il loro stato frammentario possono presentare difficoltà nella determinazione.

Queste ricerche sono sufficienti quasi sempre per decidere della provenienza di una sabbia, anche quando si tratti di miscele non molto complicate, ma certamente non si possono chiamar definitive. Per eseguire un'analisi che possa dirsi tale, è necessario separare i vari minerali e portarli al microscopio volta per volta, e una separazione conveniente si ottiene valendosi del loro diverso peso specifico. A tal uopo è consigliata comunemente la miscela di Thoulet⁽¹⁾ liquido di elevato peso specifico ma facilmente alterabile; perciò io scelsi il tetrabromuro di acetilene [p. s. = 3,001] che è difficilmente alterabile anche alla luce. Ecco per sommi capi il processo seguito: si getta una piccola porzione di sabbia, prima accuratamente lavata e poi asciugata, in un apparecchio [fig 1] con tappo smeri-

(1) Cfr. Reinisch - Petrographisches Praktikum I. Berlin 1904.

gliato all'estremità superiore e con chiovetta
 pure smerigliata all'estremità inferiore, a
 cui segue un tubo di scolo, indi si versa del
 tetrabromuro. I minerali pesanti vanno al
 fondo e si raccolgono, i più leggeri riman-
 gono galleggianti. Allora si leva il tetrabro-



muro puro e si versa una
 miscela di tetrabromuro e
 benzolo, col quale è miscibile
 in tutte le proporzioni. Se
 questa miscela ha la densità
 eguale a 2,7, la sabbia si
 divide in due strati ben netti.
 Al fondo vanno i carbonati
 e le miche, alla superficie il
 Quarzo e i feldispati.

Questa triplice divisione è
 sufficiente, e ci mette nelle condizioni migliori
 per lo studio definitivo e completo di una sabbia.
 Purtroppo il processo descritto è molto lungo e
 me ne sono servito solo in pochissimi casi.

§5 I campioni di sabbia da studiare devono esser
 raccolti con ogni cura, onde esser sicuri, che
 si tratti veramente di materiale in posto. I
 campioni di duna furono sempre raccolti nella

Raccolta dei campioni

parte più interna della duna stessa, come quella che è meno alterata dagli agenti atmosferici e dalla presenza della vegetazione).
 Mi mancavano però sempre i campioni di sabbie profonde, né mai sarei riuscito a procurarmene se il prof. G. P. Magrini, direttore dell'Ufficio Idrografico annesso al Magistrato alle acque per le province venete e di Mantova, non mi avesse gentilmente accordati i mezzi necessari. Per ora non si fecero che quattro scavi in località opportune, né si raggiunsero grandi profondità, ma l'interesse che presentano i campioni raccolti è rilevante.

E passiamo in rassegna le località precelte, che sono segnate nella carta geografica con numeri.
 Il A1 venne raccolto nell'estremità di quel lembo di sabbia che si formò in seguito alla costruzione della diga NE del Pto del Lido, ed è il solo campione esaminato del litorale del Cavallino, perché le difficoltà di comunicazione mi impedirono di raccoglierne altri.

Il A2 proviene invece da quel lembo di sabbia che è addossato alla diga SW del Pto del Lido, e venne raccolto, analogamente al A1, per vedere la provenienza della sabbia che formava lo scanno

del porto stesso.

Nella località segnata col N 3 si fece il primo scavo; si giunse fino a 1,75 m. di profondità, al qual livello l'acqua marina impedì di proseguire. Misurai 14 cent. di humus e poi 88 di sabbia ferrettizzata [N 3a] che probabilmente era sabbia di duna. Indi, dopo un piccolo letto argilloso trovai sabbia con conchiglie marine [N 3b] e con tracce di piante pure d'acqua salata.

I campioni N 4 provenienti dalla spiaggia di S. Elisabetta di Lido, N 5 dalle dune della stessa spiaggia e N 6 dalla spiaggia di Berreperse furono raccolti per collegare le analisi del primo scavo, con quelle del secondo che fu fatto a Malamocco [N. 7]. Qui furono rincontrati 90 cm di humus e poi, fino a m. 1,30 sabbia con frammenti di conchiglia: come a S. Nicolò anche qui l'acqua impedì di raggiungere profondità maggiori. All'estremità S del litorale di Malamocco, e cioè agli Alberoni furono raccolti parecchi campioni onde stabilire l'origine di quell'ampio lembo di terra che si stende a N della diga del Porto. Accanto al Forte, fu fatto uno scavo, dove si raccolsero due campioni, rispettivamente alle

profondità di cm. 50 [A 8a] e 120 [A 8b].

Pure nella stessa località fu preso un campione di sabbia di duna [A 9], e un campione di sabbia fu raccolto anche nella spiaggia [A 10].

Dal litorale di Pellestrina provengono solo pochi saggi, e ciò per la condizione speciale delle sue spiagge, che, essendo percorse da scogliere artificiali, sono troppo ripide per permettere l'accumulo dei materiali sabbiosi lungo la linea di battigia. Il A 11 fu raccolto accanto la diga S del Porto di Malamocco; nel punto segnato col A 12 si fece uno scavo, dal quale si ottennero due campioni uno a m 0,75 [A 12a] l'altro a m 1,45 di profondità [A 12b].

Per studiare il grande interrimento a cui andò soggetto il litorale di Sottomarina durante gli ultimi secoli, raccolsi quattro saggi di sabbia, uno nelle dune più interne accanto al Ridotto della Madonna [A 15], e gli altri tre lungo la spiaggia a convenienti distanze [A 13. 14. 16]

§ 6 Come si vede, in alcuni punti le analisi dei Risultati ottenuti.
campioni raccolti sono numerose e tali da garantire una certa probabilità delle deduzioni, ma ancora molte zone rimangono quasi inesplorate, e ciò m'impedire per ora di dar in forma

Tabella I*

Composizione mineralogica delle sabbie dei fiumi veneti.

Minerali componenti	Po	Adige	Brenta	Bacchiglione	Piave	Livenza	Tagliamento	Sonigo.
Quarzo, calcidonio....	9	8	8	8	8	4	5	7
Magnetite, Hemite.	7	5	5	5	5	-	-	2
Bromite.	-	-	-	-	-	-	-	2
Rutilo.	4	4	1	-	1	-	-	1
Carbonati.	8	9	9	9	9	10	10	10
Feldispati.	4	6	4	4	3	2	2	2
Ipersene.	4	1	2	2	-	-	-	-
Augite.	3	6	3	5	5	2	-	1
Diallagio.	2	3	-	-	-	-	-	-
Attinoto.	6	4	2	2	-	-	-	-
Orneblenda.	6	6	2	2	2	-	-	2
Glaucofane.	6	-	-	-	-	-	-	-
Granato.	7	7	2	2	1	-	-	1
Zircone.	5	5	2	3	1	-	-	2
Andalusite.	2	3	3	-	-	-	-	-
Sillimanite.	4	4	-	-	-	-	-	-
Cianite.	5	5	1	-	-	-	-	-
Epidoto.	6	5	2	-	-	-	-	-
Formalina.	4	5	4	2	-	-	-	1
Staurolite.	6	6	1	-	-	-	-	1
Muscovite.	7	5	8	7	4	1	2	2
Biotite.	6	5	4	3	2	-	-	1
Clorite.	5	5	8	6	3	1	2	2
Titanite.	2	2	2	3	-	-	-	1
Apatite.	3	2	3	4	-	-	-	2

Tabella II^a.

Composizione mineralogica delle sabbie del lido.

Minerali componenti.	1	2	3a	3b	4	5	6	7	8a	8b	9	10	11	12 _a	12 _b	13	14	15	16
Quarzo, selce	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Magnetite etc.	4	4	4	4	4	—	4	6	5	5	—	5	5	5	5	—	4	5	—
Rutilo	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbonati	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Feldspati	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Augite	5	4	4	4	4	4	4	6	5	5	5	4	5	6	6	4	4	4	3
Attinoto	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—
Orribilenda	—	—	2	2	2	2	2	3	4	3	3	3	3	4	5	3	3	5	3
Glaucofane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
Granato	1	—	2	2	—	—	—	6	4	3	4	—	3	6	5	3	2	5	5
Zincone	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	2	2	—	—	—	—	—
Cianite	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	—	—	—	3	2	—	—	—	2
Epidoto	—	—	—	—	—	—	—	2	2	—	—	—	—	3	2	—	—	3	—
Zornalina	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
Staurolite	—	—	—	—	—	—	—	4	2	2	—	1	—	4	3	2	—	4	3
Muscovite	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	7	6	7
Biotite	—	—	—	2	2	—	2	3	3	2	3	2	3	4	3	4	4	4	4
Clonite	—	—	2	2	2	—	2	3	3	3	3	3	3	3	4	6	6	5	6

Avvertenza.

Scala del Salmograghi 10, ultradominante; 9, dominante;
 8, abbondante, molto; 7, abbondante;
 6, molto frequente; 5, frequente;
 4, scarso; 3, molto scarso;
 2, raro; 1 rarissimo.

definitiva i miei risultati.

Tutte le analisi eseguite sono riportate, in via riassuntiva, nella Tabella II. Noi vediamo anzitutto che nei A 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, noi abbiamo a che fare con un unico tipo di sabbia caratterizzato dal predominio dei carbonati sul quarzo, dalla relativa frequenza dell'Augite, dalla scarsità pronunciata delle miche e dalla mancanza quasi assoluta di elementi pesanti tranne l'Augite e il Granato che è raro o rarissimo. Se confrontiamo la composizione mineralogica di questa sabbia con quella dei fiumi veneti, vedremo che esiste una grande analogia con quella della Piave: un semplice confronto potrà convincere di ciò.

Consideriamo invece i A 7 e 8: la composizione di queste sabbie è già notevolmente diversa. Specialmente a Malamocco [A 7] noi riscontriamo tutti gli elementi dell'Adige, sebbene in proporzioni minori. La causa di questa « diluizione » dei minerali pesanti di cui è tanto ricco questo fiume può esser ascritta a due cause: o si tratta di una miscela di sabbie di provenienza diversa, o abbiamo in gran copia frammenti di conchiglie i quali evidentemente alterano le propor-

zioni in favore dei carbonati. In ogni modo proviamo per ora concludere che in quei campioni esistono gli elementi dell'Adige. Nel litorale di Pellestrina, la sabbia N. 11 ha una composizione che molto dà da pensare sulla provenienza; sembra quasi una miscela di Piave e Adige, con predominio del primo, ma questo riferimento non è sicuro. Le sabbie dello scavo di S. Pietro in Volta presentano notevoli affinità con quelle dell'Adige, di cui hanno molti degli elementi, sebbene sempre in proporzioni minori. Vi incontriamo infatti molto frequente l'Augite, il Granato, e scarsi, ma notevoli per la loro presenza, la Staurolite, l'Epidoto e la Cianite. Nei campioni fin qui esaminati possiamo escludere a prima vista ogni contributo proveniente dalla Brenta e dal Bacchiglione: infatti noi abbiamo finora avuto a che fare con sabbie povere di miche e di clorite, mentre sappiamo che l'abbondanza di questi elementi è tipica per quei fiumi. Le cose cambiano assai quando arriviamo al litorale di Sottomarina. Il saggio N. 13 mostra una tale abbondanza di Muscovite e clorite, in contrapposizione alla notevole

scarsa del Granato e dell'Augite da farlo ritenere senza dubbio di provenienza di Brenta, quantunque un piccolo contributo di sabbie di Adige non sia da escludersi. Anche la sabbia del H 14 presenta una composizione pressoché a poco analoga a quella del H 13. Invece il H. 15 e il H 16 presentano maggiore analogie colle sabbie dell'Adige, quantunque sia probabile che si tratti di una miscela di elementi di Brenta e di Adige.

57

Ho cercato di riassumere la distribuzione dei materiali alluvionali nel lido, secondo la loro provenienza, segnando nella carta geografica annessa con colori convenzionali le zone di prevalenza delle sabbie provenienti dai diversi bacini. Poche parole d'illustrazione basteranno. Il lido risulta costituito di alluvioni provenienti, nella maggior parte, da tre bacini cioè da quelli della Piave, della Brenta e dell'Adige. Le sabbie della Piave sono in predominio nel litorale del Cavallino e nella parte settentrionale del litorale di Malamocco; si spingono però lungo la spiaggia fino al porto. La parte meridionale del litorale di Malamocco è costituita da

Prime conclusioni.

miscela di elementi di Piave e di Adige.

Il litorale di Pellestrina è costituito, per quanto si può arguire dalle scarsissime analisi eseguite, da sabbie in cui gli elementi dell'Adige sembrano prevalere. Nel litorale di Sottomarina la zona settentrionale ed esterna appare costituita da materiali di Brenta, con probabile contributo di elementi d'Adige, la zona meridionale ed interna da miscela di Adige e di Brenta.

Non si può né affermare né escludere che alla costituzione del Lido abbiano concorso anche sabbie provenienti da altri bacini.

È possibile infatti che alla sabbia della Piave si siano uniti materiali provenienti dalla Livenza e dal Tagliamento, ma, per le composizioni petrografiche di queste sabbie, l'analisi mineralogica è insufficiente per decidere della questione. Così è possibile che alle sabbie d'Adige si uniscano elementi di Po, e certamente è probabile che quelle sabbie, che ho chiamate di Brenta, sieno in realtà una miscela di elementi di Brenta e di Bacchiglione, ma non sono in grado di dir una parola definitiva in proposito, poiché nel primo caso

il contributo del Po è certamente piccolo, nel secondo caso l'affinità fra le sabbie della Brenta e del Bacchiglione, per poter valutare la predominanza dell'una o dell'altro in un'eventuale miscela di sabbie, è troppo pronunciata.

La distribuzione delle sabbie nel lido avvenne e avviene ancora secondo due direzioni principali e cioè da NE a SW e da S a N: nella prima viaggiarono le sabbie della Piave, nella seconda quelle dell'Adige e della Brenta.

Queste due direzioni coincidono con quelle dei venti predominanti nell'Adriatico superiore e cioè il NE e il SE. È naturale quindi ammettere che il trasporto sia avvenuto o per opera del moto ondoso, o per opera dei movimenti che si compiono presso il fondo e che sono generati dalle onde appunto per la presenza di questo, o infine per opera di vere correnti mosse dai venti.

Per ora ammettiamo che tutti e tre questi agenti abbiano potuto compiere un trasporto di sabbie, e la discussione di questo argomento viene rimessa ad altro capitolo. Per ora devo limitarmi a far notare come la distribuzione dei materiali alluvionali

nel lido risponda ad una variabilità nella
cause che l'hanno generata, e cioè a movi-
menti effimeri, d'intensità, di direzione
molto mutabili e non a un unico movi-
mento che percorra la costa con direzione
costante.

Parte II.

I fenomeni litorali..

CAPITOLO I. - Le crespe marine..

58 Il Lido della Laguna di Venezia - come si vi- *Generalità sulle crespe*
de nella parte I^a - è composto solamente
di materiali clastici, in gran parte di ori-
gine alluvionale, i quali son disposti a
dolcissimo declivio specialmente dalla
parte del mare. Questi materiali preva-
lentemente sabbiosi, per opera dei movi-
menti dell'acqua e dell'aria, danno ori-
gine a una serie di formazioni marine
ed eoliche, che converrà studiare separata-
mente onde indagarne le cause e le leggi
e considerarne l'azione.

Veniamo a parlare prima delle formazio-
ni marine. Queste si presentano in scala
molto diversa: è normale p. e. di riscon-
trare il fondo marino, a poca profondità,
totalmente modellato da piccole rughe,
molto regolarmente disposte, rughe che
gli autori inglesi chiamarono « ripple marks »,
i tedeschi « Kräuselungsmarken », i francesi

« rides », e che noi chiameremo « crespe ».
 Parallelamente alla riva poi, se le condi-
 zioni del mare lo permettono, è facile
 constatare la presenza di banchi sommersi
 od emersi, i quali certamente, come le
 crespe, formatisi nel seno del mare, de-
 vono a questo la loro origine. L'azione
 del mare quindi si esplica in modo
 molto differente e se noi cominceremo
 col considerare il fenomeno che avviene
 in scala minore, e quindi più regolare,
 ci sarà in seguito più facile lo studio del
 fenomeno di maggiori proporzioni.

799 Le crespe furono già da lungo tempo og- Bibliografia.
 getto di studio, sia per l'interesse che
 presentano in sé, sia per spiegare aspetti
 analoghi che si trovano « fossilizzati » spe-
 cialmente nella arenaria di Werfen del
 Erias inferiore.

Lyell⁽¹⁾, appunto trattando dell'origine
 di queste, emise l'idea che le crespe si for-
 mino come piccole dune, per azione

(1) Lyell C. Manual of elementary Geology. 3^a Ed. pag. 19.

di correnti. Questa spiegazione potè essere con successo applicata alle crespe di fiume, ma certamente non è sufficiente per le crespe marine, come è insostenibile l'opinione, prima emessa e poi ripudiata da Forel⁽¹⁾, che le crespe sieno dovute a una pressione verticale delle onde. Hunt⁽²⁾ invece, prendendo mosso da alcune poche osservazioni di Jukes⁽³⁾, venne alla conclusione che le crespe sieno originate non da una corrente continua, ma da movimenti alternati, dovuti alle onde. Egli per il primo ebbe il merito di tentare di ripetere in apposite vasche il complicato fenomeno naturale, e compì una serie di esperienze che provarono sempre più la dipendenza delle crespe da un movimento alternato. Nello stesso anno comparve un importante lavoro di De Candolle⁽⁴⁾. Questo autore prese il problema dell'origine delle

(1). Forel F. A. - Les rides de fond. - Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 1878.

(2). Hunt A. R. - On the formation of ripplemark. -
Proc. Roy. Soc. London 1883. - vol. 34.

(3). Jukes B. - Manual of Geology 1st ed. - p. 172

(4). De Candolle C. - Rides formées à la surface du sable. -
Arch. Sc. Phys. Nat. 6. 9^e Genève 1883. -

cresse dal punto di vista più generale
 possibile: all'osservazione dei fatti naturali
 fece seguire numerosissime esperienze, esegui-
 te in recipienti di varia forma e con sostan-
 ze le più disparate; alla sabbia sostituì
 corpi pulverulenti di diversa natura e
 perfino liquidi vischiosi, come sciroppo
 di frutta e catrame, all'acqua sostituì
 vari liquidi e sempre trovò verificarsi
 gli identici fenomeni. Egli venne quindi
 alla legge seguente: Quando una materia vischiosa
 in contatto con un liquido meno vischioso prova uno
 sfregamento (frottement) oscillatorio o intermittente, ri-
 sultato dal movimento dello strato liquido che la
 ricopre o dal proprio spostarsi rispetto a questo:

1° la superficie della materia vischiosa s'increspa
 perpendicolarmente alla direzione dello sfregamento;

2° l'intervallo compreso fra le cresse così formate
 è in ragione diretta dell'ampiezza dello sfregamento.

Gli autori che si occuparono di questo
 argomento dopo di De Candolle, si affret-
 tarono a chiarire il significato delle
 parole "materia vischiosa", per materia
 che dà luogo a un forte attrito, ammet-
 tendo implicitamente che il De Candolle

era stato poco felice nella scelta del termine.

Invece è fuor di dubbio che la sabbia imbevuta d'acqua dia una sostanza semisolida e semi liquida, che si comporta assolutamente come un corpo vischioso. Infatti ho constatato tante volte che lo strato superficiale del fondo marino ha un aspetto quasi fluido per la grande quantità d'acqua imbevuta.

Il merito principale di De Candolle resta sempre - a mio avviso - quello di aver applicato alle cresse una legge fisica d'indole molto generale, che deve verificarsi tanto in natura quanto in esperienze di laboratorio, cioè che un fluido, sotto l'azione del movimento di un altro fluido meno vischioso, presenta la formazione di onde.

De Candolle quindi considera la genesi delle cresse marine comune con quella delle cresse formate dal vento sulla sabbia asciutta, e delle increspature dell'acqua alla superficie del mare, e perfino di certe nubi degli alti strati dell'atmosfera che tanto spesso si vedono disposte parallelamente.

Pochi mesi dopo la comparsa del lavoro

di De Candolle, nello stesso periodico venne pubblicata un'altra comunicazione di Forel⁽¹⁾, dove questo autore, dichiarando insostenibile la sua prima teoria, ne esprimeva un'altra, corredata da esperienze e osservazioni numerose. Questa seconda teoria riconduce l'origine delle crespe a quella delle dune. Secondo l'autore, per azione di un ostacolo anche tenuissimo, si formerebbe una prima crespa, la quale si metterebbe a oscillare, sotto l'influenza delle correnti alternative del moto ondoso, e a poco a poco ne originerebbe due altre, una per ogni lato, ciascuna delle quali ne formerebbe un'altra e così via. Entrambe le correnti alternate genererebbero dune nel proprio senso, e le crespe risultanti da tale oscillazione sarebbero costituite: « par la « superposition de deux dunes, formées alternativement par « les courants en sens inverse, qui balançaient au « fond de l'eau ».⁽²⁾ Forel osservò questo fatto una volta in natura e lo ricostruì artificial-

(1) Forel F.A. - Les rides de fond étudiées dans le lac Léman.-

Arch. Sc. Phys. Nat. T. X. - Genève 1883.

(2) Forel F.A. - id pg 55

mente in vasche: egli narra che bastava stendere sulla superficie della sabbia, che si trovava al fondo di una vasca, un filo di ferro o tracciare un solco col lapis, per veder generarsi, a poco a poco, una dopo l'altra, un sistema di cresse.

Non voglio ora muovere nessun appunto a questa teoria, riservandomi di farlo quando avrò esposto le mie osservazioni in proposito, ma devo solo osservare che, forse a torto, Forel non tenne il debito conto dei risultati conseguiti da De Candolle, che pur era giunto a teorie così concludenti.

L'anno 1883 fu, da quanto si disse, fausto per lo studio delle cresse; non meno lo fu l'anno seguente, quando comparve nei Proceedings della Reale Società di Londra il lavoro di G. H. Darwin⁽¹⁾. Le esperienze che vi si trovano descritte sono davvero sorprendenti per l'esattezza con cui furono compiute e per l'acuto spirito d'osservazione che le guidò. Da esse l'autore ricavò che le cresse

(1). Darwin G. H. - On the formation of ripple marks in sand. - Proc. Roy. Soc. Vol. 36 London 1884

si originano per un giuoco di vortici che vengono a stabilirsi sottovento di ogni piccola eminenza della sabbia. Essendo la corrente alternante, i vortici dovrebbero pure cambiar posizione da un versante all'altro, ma invece, per la stessa rapidità del movimento, essi vengono solamente ad affievolirsi e a rafforzarsi a vicenda.

Questi vortici che l'autore chiama primari ad alle orientazioni dovrebbero origine, quando l'eminenza sabbiosa ha già raggiunto l'aspetto di una piccola cresta, a vortici secondari, molto più ad alle orientazioni energici, i quali, durante un periodo completo

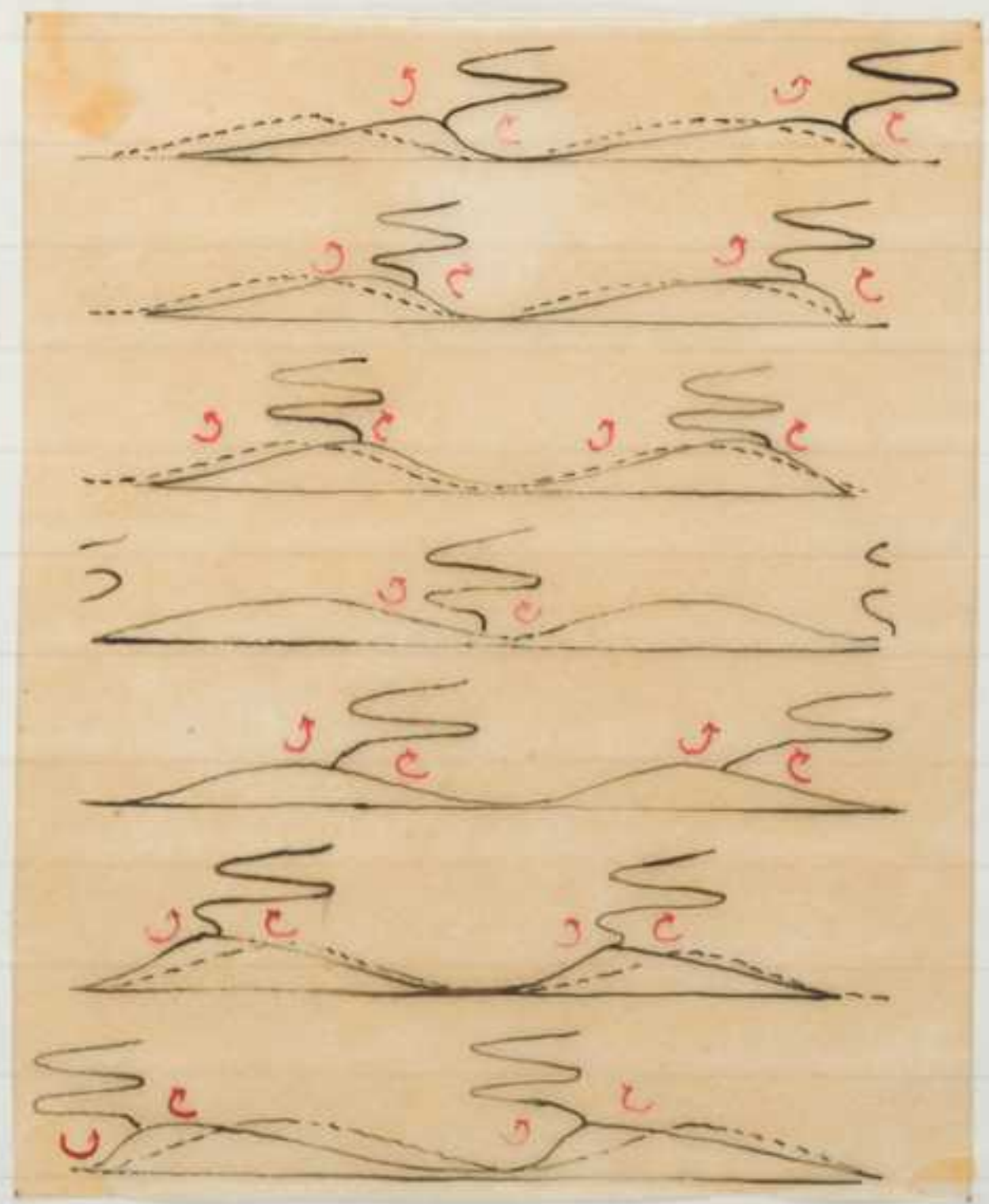


Fig. 2. Del Tavolo.

D'oscillazione dell'acqua si sposterebbero
 dalla cresta di una cresta fino al fondo del
 solco attiguo e di li alla cresta della cresta
 seguente, per poi ritornare nella posizione
 primitiva. A questo movimento è legata un'os-
 cillazione di tutta la cresta (fig 2). L'autore
 constatava la presenza di tutti questi vortici,
 seguendo i movimenti di filamenti d'inchio-
 stro (che nella figura sono segnati in nero) provenienti
 da goccioline deposte in posizioni opportune.
 Riassumendo, secondo il Darwin, sono piccoli
 vortici, provocati dalle irregolarità del
 terreno, che danno origine alle cresse. Pur-
 troppo si tratta di esperienze fatte in vasche
 di piccole dimensioni, e con movimenti osil-
 lateri dell'acqua molto più lenti di quelli
 che si hanno in natura. Rimane quindi
 sempre il dubbio che i fenomeni osservati
 dal Darwin siano appunto l'effetto dell'am-
 biente nel quale operava, e non si ricon-
 trino in natura che in parte. In ogni
 modo vedremo in seguito quali fatti,
 fra quelli osservati dal Darwin si veri-
 fichino anche nelle cresse che si formano
 naturalmente nel fondo del mare.

Fondamentalmente le stesse idee di Darwin vennero sostenute dal Cornish⁽¹⁾ in una breve relazione presentata alla British Association: idee che l'autore sviluppò solo per le cresse generate dai venti in una memoria letta alla Reale Società Geografica di Londra.⁽²⁾ L'autore crede che di primaria importanza per la formazione delle cresse sia il vortice a sottovento di ogni piccola irreguaglianza del terreno: non si capisce però come queste irreguaglianze, che devono esser disposte a caso, passano dar origine alle cresse, che, fin dal loro inizio, sono tanto regolari, nè mi par possibile estendere il concetto, in altri lavori e per altri fenomeni espresso dal Cornish stesso, che si tratta di depositi formatisi lungo linee nodali, come avviene della sabbia sparsa sopra una lamina metallica vibrante. Infatti, provocando in una vasca un'onda uninodale, si dovrebbe ottenere una sola cresspa, mentre se ne for-

(1) Cornish V. - The rippling of sand. - Report Br. Ass. Liverpool 1896 pg 794-795. -
 (2) Cornish V. - On the formation of sand dunes. Geogr. Journ. vol. IX. n. 3. 1897.

mano costantemente parecchie

Recentemente, in un lavoro di carattere monografico, il Bertololy⁽¹⁾ riassume e discute i problemi dell'origine e delle leggi delle crespe; ma, non portando contributo di proprie osservazioni ed esperienze, non poté decidere in nessun punto la questione. L'autore però propende piuttosto per le teorie del Darwin che per quelle di De Candolle, o degli altri autori, teorie che giudica tutte incomplete od inesatte.

Mi sembra conveniente ora passare alla descrizione dei fatti da me raccolti, sempre con osservazioni direttamente eseguite in natura; da essi, spero, scaturirà spontanea, una spiegazione plausibile sull'origine delle crespe; credo quindi più opportuno rimandare la continuazione della parte critica della trattazione, ad altro punto.

§ 10 Le crespe marine, prese nelle loro condizioni *forma delle crespe*

(1). Bertololy E. - Kräuselungsmarken und Dünen. - München. Geograph. Studien. 9. - 1900.

normali, sono simmetriche, cioè hanno i due pendii egualmente inclinati sull'orizzonte.



Fig. 3.

La figura N. 3 mostra appunto queste cresse, le quali, come si vede molto bene, decorrono in senso rettilineo, o secondo una linea leggermente ondulata. Sono separate da solchi, ampi, molto concavi [fig. 4. 3], pure simmetrici rispetto a un piano verticale, nei quali si trovano generalmente i materiali più pesanti. Le creste c

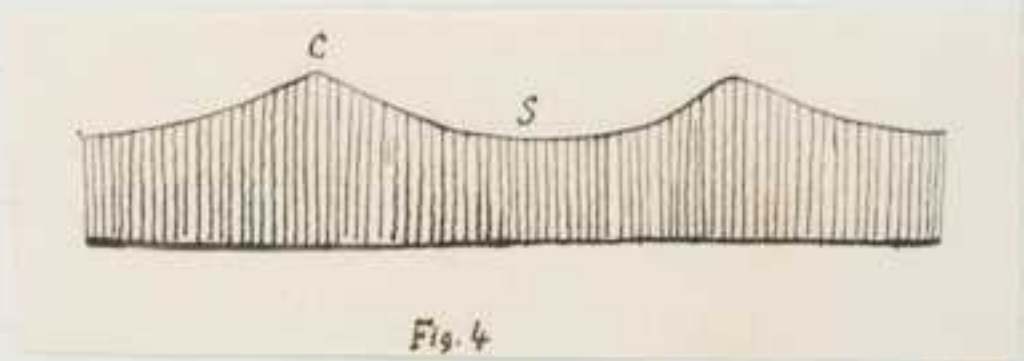


Fig. 4

sono acute nelle cresse di formazione recente, man mano però che la sabbia si asciuga, vanno facendosi sempre più ottuse. Le dimensioni delle cresse sono molto variabili; la loro direzione, quando non entrino in giuoco cause estranee perturbatrici, è normale a

quella del moto ondosso.

Queste crespe, che si formano sul fondo marino a qualche decimetro di profondità, subiscono notevoli variazioni col diminuire dello spessore dell'acqua. La simmetria va gradatamente scomparendo, facendosi più ripido il pendio sottovento e più dolce il pendio opposto, in modo da ricordare assai le crespe dei fiumi e quelle originate dai venti.

Queste crespe, che chiameremo di riva, sono mostrate dalla figura 45. Esse non sono

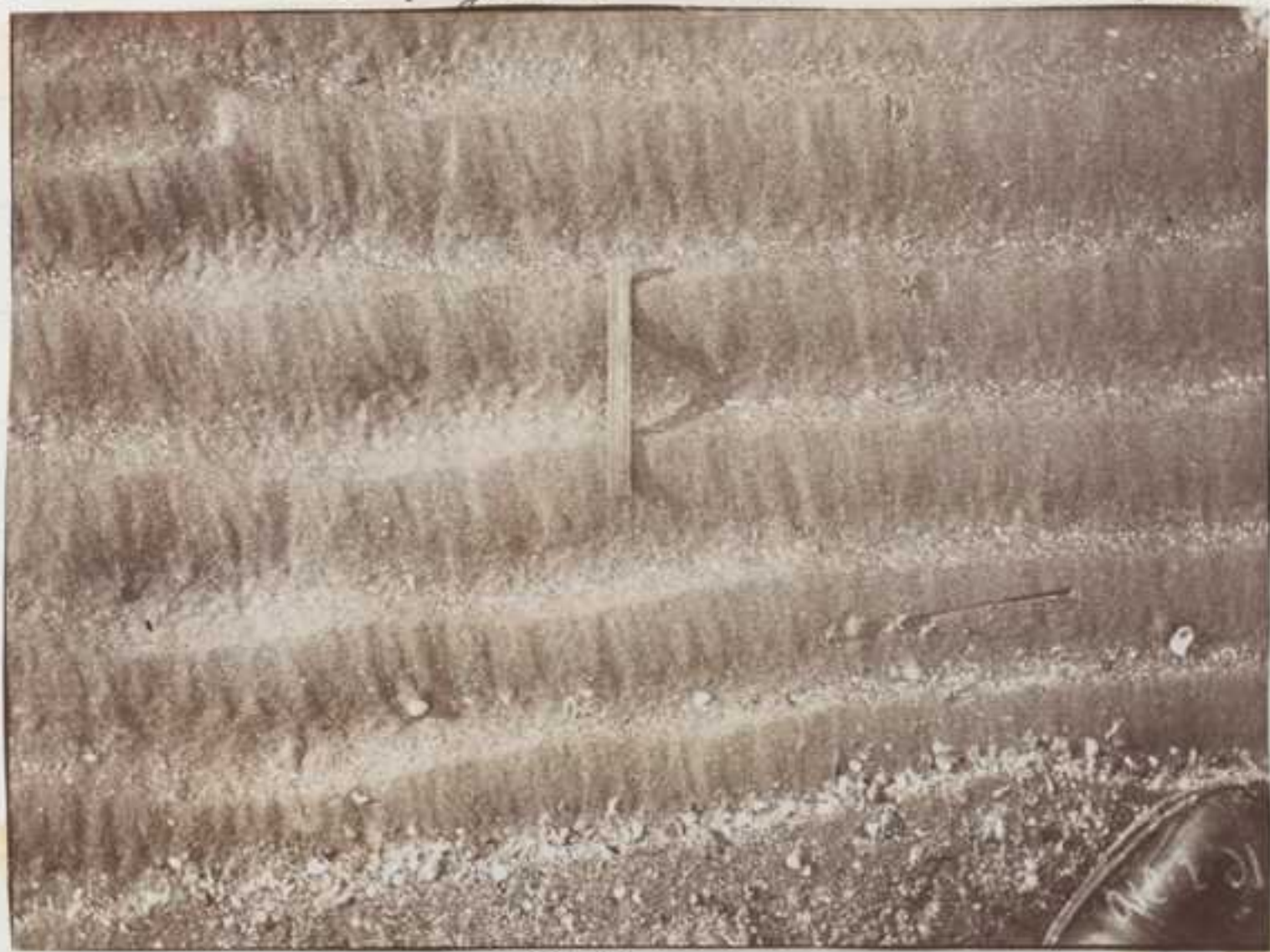


Fig 5

del resto che una modificazione delle crespe marine di fondo, dovuta certamente alla minore profondità dell'acqua. A questo riguardo posso riportare un'osservazione fatta nella spiaggia di Sottomarina il 29.III. 910. Al calare della

marca erano rimasti involati dei bacini d'acqua tranquilla, che comunicavano solo per strette aperture col mare. In questi bacini le onde erano molto piccole, e si propagavano con gran regolarità; esse avevano generato una serie di minuscole crespe. Fino a 4 cm di profondità in media, queste erano asimmetriche, poi gradatamente divenivano regolari e così rimanevano stabilmente. Ciò prova in modo indubbio che entrambi i tipi di crespe possono aver origine dalle stesse onde; non si tratta quindi che di maggiore o minore profondità.

§ 11

Le condizioni particolarmente felici delle spiagge del lido mi permisero di compiere una serie di ricerche sull'origine e sullo sviluppo delle crespe, che ora mi accingo a descrivere completamente.

Osservazioni
sull'origine delle
crespe

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 spiaggia, almeno di un metro quadrato, tenendola d'occhio durante

il passaggio di parecchie ondate. Finché il mare si mantiene tranquillo, nulla si nota di mutato; al sopravvenire di un'onda, molta sabbia viene lanciata in sospensione, tanto che l'acqua ne è assai intorbidata, appena passato il dorso dell'onda la superficie della sabbia ha già un aspetto diverso: si son formati piccoli agglomeramenti allungati di granellini e piccole fossette, gli uni e le altre secondo rette parallele normali alla direzione di movimento dell'onda. Abbiamo insomma un aspetto simile a quanto Darwin⁽¹⁾ osservò avvenire artificialmente nelle sue esperienze, cioè un « curdling stage » (stadio rappreso).

Al sopravvenire di nuove ondate, le piccole eminenze sabbiose si uniscono tra loro, si riuniscono sempre meglio secondo linee rette parallele tra loro, le fossette divengono più regolari e più profonde: infine le creste, sebbene in dimensioni molto piccole, son belle e formate. Le creste così si formano rapidissimamente, anzi possiamo dire che la loro origine è legata alla propagazione del dorso dell'onda.

(1). Darwin C.H. - op. cit. - pg. 23..

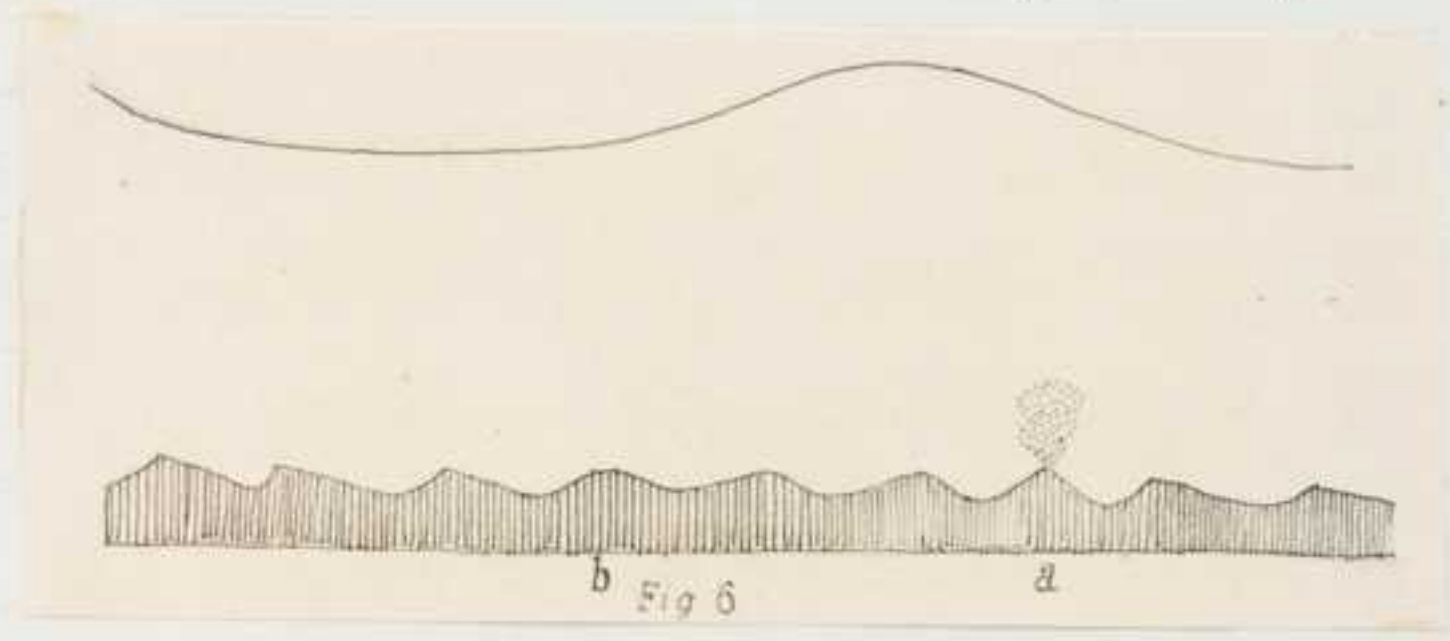
Le cresphe così formate, poco alla volta, raggiungono le loro dimensioni normali, ma la maggior parte di esse vengono assorbite durante il processo d'aumento delle altre in modo che le cresphe oltre che crescere, vengono anche a distanziarsi maggiormente tra loro. Un fatto consimile venne trovato sperimentalmente anche dal Darwin⁽¹⁾, il quale ammise che lo spazio tra due cresphe iniziali sia metà di quello che verrà a formarsi tra le cresphe più grandi, che cioè le cresphe iniziali verrebbero alternativamente mantenute e soppresse, fatto che io non trovo verificarsi con regolarità. In ogni modo è certo che, cancellando una sola cresspa per una lunghezza di qualche metro, se ne vengono a formare, in suo luogo, 3 o 4 di piccole dimensioni, delle quali una sola raggiunge le dimensioni della prima, mentre le altre scompaiono lentamente.

§ 12 In corrispondenza dell'ondulazione delle particelle liquide che costituiscono l'onda, la cresspa completamente formata presenta un'oscillazione che è sincrona con l'ondulazione

Oscillazione delle cresphe

(1). Darwin G. H. - op. cit. pg 24.

stessa. Consideriamo una di queste creste, e descriviamone le fasi d'oscillazione. Al passaggio del dorso dell'onda la cresta è perfettamente simmetrica [fig 6 a] e dalla sua cresta vediamo partire verso l'alto con violenza, un getto di



granellini di sabbia. Questo fenomeno è assolutamente normale e siccome avrò bisogno di parlarne spesso, propongo di chiamarlo col nome di fiocchetto. Quando al dorso dell'onda subentra il cavo, la cresta comincia a coricarsi verso terra, anzi talvolta ciò avviene in modo alquanto brusco e il pendio verso terra si fa sempre più ripido dell'altro. Contemporaneamente si riceve l'impressione che la cresta divenga man mano meno rilevata; la cresta appare smussata [b] anziché angolosa. D'un tratto però, quando già siamo nel cavo dell'onda, la cresta s'innerte bruscamente: la cresta ridiviene acuta, ma il pendio verso mare si fa ripido, mentre l'altro si fa dolce e poco

inclinato sull'orizzonte. A poco a poco però l'asimmetria va diminuendo, e, al passaggio di un secondo dorso d'onda la cresta torna regolare, e torna a presentare il fenomeno del fiocchetto.

La cresta quindi è assoggettata a una vera oscillazione: la fase simmetrica è la fase d'equilibrio, dalla quale la cresta s'allontana sia verso terra, cioè nel senso della direzione dell'onda (fasi dirette), sia verso mare, cioè in direzione opposta a quella dell'onda, (fasi inverse). Il passaggio tra le fasi dirette e le fasi inverse si compie ^{attraverso} per una fase in cui la cresta presenta un inizio di degradazione [fig 6 5].

Tale oscillazione delle creste si osserva benissimo anche a piccole profondità, per esempio a cm 50, quando il mare sia mosso; quando il mare è increspato solo da piccole onde, allora è solo la cresta della cresta che oscilla come una lamella ondulante.

Il Forcel constatò sommariamente la presenza di queste oscillazioni, ma, come si vede (pg 37) ne diede una spiegazione che non concorda con quanto ho esposto finora. Invece gli altri autori

constatarono fenomeni simili ma sempre in creste artificialmente prodotte. In particolare modo Darwin osservò oscillazioni molto simili a quelle che ho descritto poco fa e il confronto colla fig 2 (pg 39) che è presa appunto dal suo lavoro, potrà ben convincere di ciò, quando si consideri anche che in natura è impossibile pretendere quella regolarità di movimenti, che si può ottenere solo con mezzi artificiali.

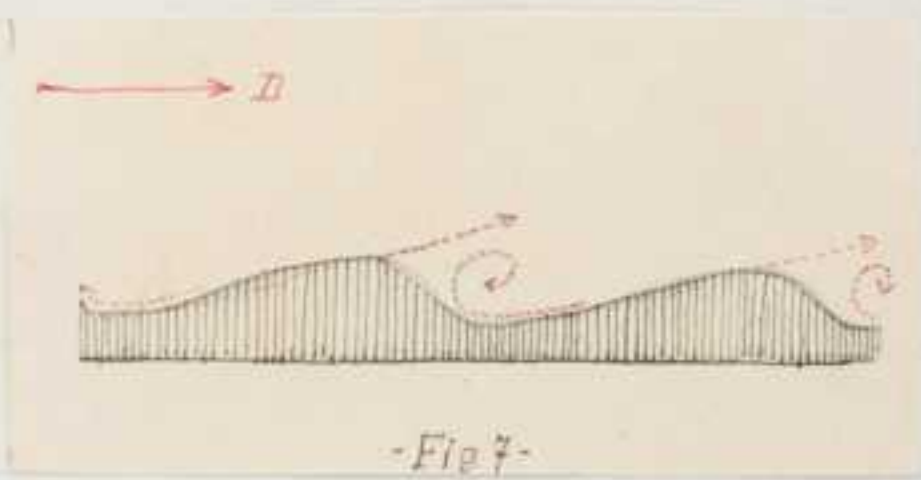
Se le creste sono situate a una sufficiente profondità, non tutte le onde hanno la forza di farle oscillare, ma le più piccole vi passano sopra senza che nel fondo avvenga il più piccolo movimento di granellini di sabbia. In questo caso ho constatato che, distruggendo le creste, esse non tornano più a ricostituirsi. Questo semplice fatto ci dimostra che l'origine delle creste è indissolubilmente legata all'oscillazione dei materiali del fondo, e quindi ai movimenti che presso di esso avvengono, per opera delle onde che si propagano alla superficie del mare.

§13 Veniamo a studiare più da vicino questi movimenti, che noi seguiranno osservando

Movimenti che avvengono sulle creste

gli spostamenti dei granellini di sabbia che avvengono sui pendii delle cresse.

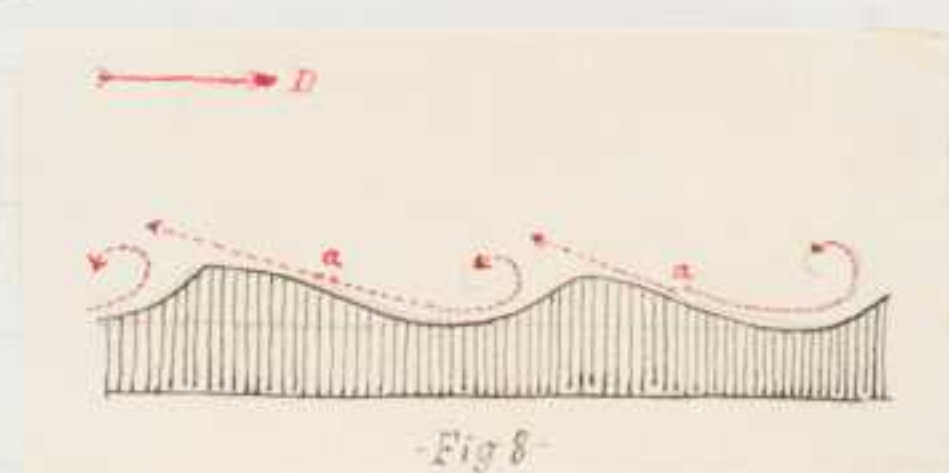
Abbiamo già considerata la formazione del fiocchetto, che avviene solo nella fase simmetrica. Alla sua formazione devono concorrere due movimenti di granelli di sabbia, in azione, con eguale intensità, uno su un pendio e uno sull'opposto. Durante le fasi simmetriche dunque abbiamo il bilanciarsi dei movimenti che avvengono nei due declivi della cressa: non così avviene nelle altre fasi. In quelle dirette si osserva che nel solco della cressa i materiali più leggeri compiono un movimento vorticoso, come è indicato dalla fig. 7,



mentre quelli della cresta sono lanciati obliquamente verso l'alto e verso l'avanti. Questo fenomeno è molto delicato, e spesso l'onda intorbida talmente l'acqua, da rendere impossibile ogni osservazione: è opportuno quindi scegliere il momento in cui le onde sono molto piccole, e osservare i movimenti presso il fondo, collocando in posizioni convenienti del tenue sfasciume di legno,

il quale, come più leggero, obbedisce assai meglio anche a spinte molto deboli.

Più agevole è l'osservazione durante le fasi inverse.



di propagazione del moto ondoso. In un punto di mezzo a del pendio dolce

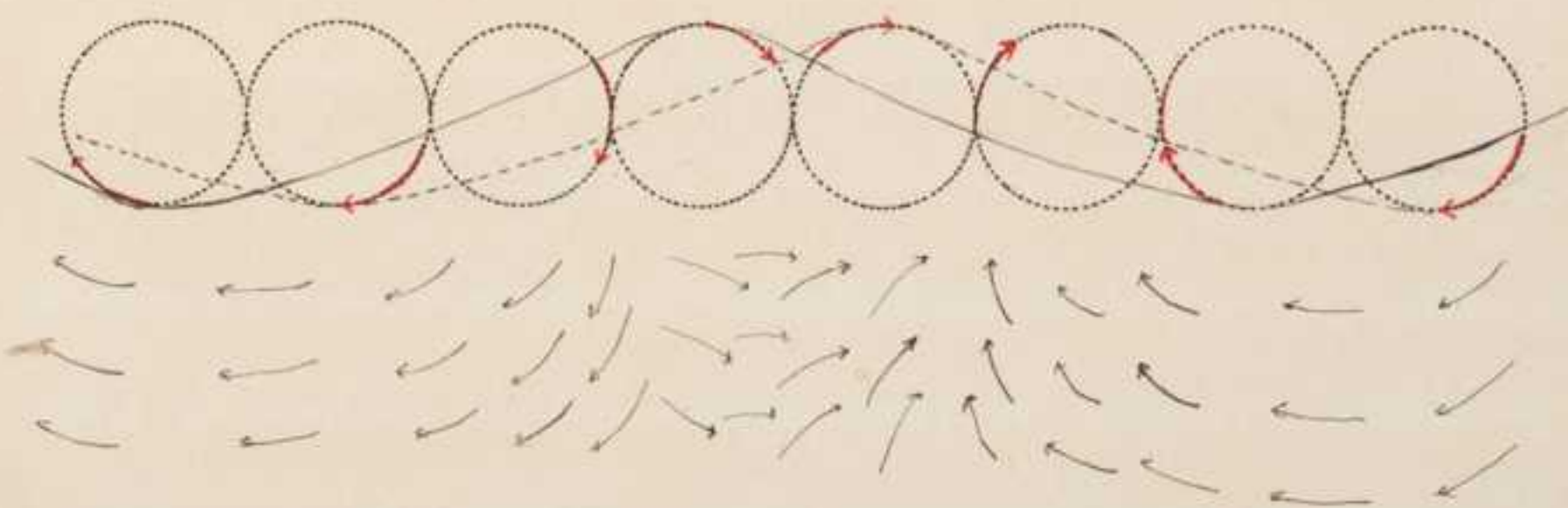
della cresta si vede distintamente che i granellini sono lanciati in due direzioni opposte e cioè verso la cresta e verso il fondo del solco.

I granellini che seguono questa seconda direzione, giunti in fondo al solco, si dirigono bruscamente verso l'alto, e vengono animati da un movimento vorticoso, andando ad incontrare quelli che si staccano dalla cresta. Tanto nelle fasi dirette, come in quelle inverse, dunque si osservano fenomeni dello stesso tipo e movimenti che sono del tutto analoghi pur essendo in senso contrario.

§14 Cominciamo ora ad esaminare ordinatamente i problemi che alle cresse si riconnettono, e prima di tutto vediamo di farci un'idea della natura dei movimenti che animano le

Le cresse in confronto coi movimenti delle particelle liquide dell'onda

singole particelle che compongono l'onda.
 La teoria finora più accettabile è sempre
 quella, già classica, dei fratelli Weber⁽¹⁾
 Secondo questi autori l'onda è una forma, ri-
 sultante dall'unione di particelle, le quali
 alternativamente s'inalzano e s'abbassano.
 Le particelle liquide sono quindi animate da
 un movimento vibratorio, e le orbite percorse,
 quando l'onda è regolare, sono ellittiche.
 La propagazione della vibrazione delle parti-
 celle liquide consiste in ciò: le particelle poste
 orizzontalmente, nella direzione stessa del moto
 ondoso, entrano successivamente in movimento,
 appunto in modo che nessuna di quelle, che
 appartengono a una stessa onda, si trovi
 nello stesso punto della propria orbita,
 ma che tutte entrino successivamente nella
 stessa fase. (fig 9)



- Secondo Weber

- Fig 9 -

(1) Weber W. - Werke. Wellenlehre - pp 86 segg. - Berlin 1893. -

Al fondo, in corrispondenza di questo movimento, abbiamo un'oscillazione, isocrona a quella della superficie dell'acqua, ma senza sollevamento o abbassamento delle particelle. L'oscillazione presso il fondo si compie quindi secondo una linea retta e Bornaglia⁽¹⁾ chiama flutto diretto il movimento che si effettua verso riva, e flutto inverso l'opposto. Dalla fig 9 ricaviamo che alla formazione della cresta dell'onda concorrono due movimenti entrambi diretti verso l'alto. Le particelle che si trovano presso il fondo, devono trovarsi nella stessa fase d'oscillazione: avremo quindi due movimenti ^{inversi} diretti uno contro l'altro. Invece, mentre alla superficie abbiamo il dorso dell'onda, al fondo avremo il flutto diretto, e al flutto inverso corrisponderà il cavo. (fig 10)



Fig 10

(1). Bornaglia P. - Sul regime delle spiagge e sulla regolazione dei porti - Torino. Panavia 1897.

Ora è facile ammettere che i due movimenti F e F' agendo simultaneamente possono ammucchiare i granellini di sabbia, generando i primissimi depositi, i quali poi daranno luogo alle crespe. Infatti abbiamo osservato che questi mucchi si formano solo al sopravvenire del dorso dell'onda, fatto che risulta anche dalla presente teoria.

Quando un mucchietto s'è formato, esso rappresenta già un ostacolo, quantunque tenue, al libero propagarsi del movimento delle particelle liquide, quindi il prossimo mucchietto non potrà formarsi che a una certa distanza.

↳ avanti al precedente

A poco a poco, come si è visto, i primi depositi si uniscono e danno luogo alle crespe. La loro formazione quindi è legata alla velocità di propagazione dell'onda, e per tratti limitati di terreno si può dire istantanea. Allora l'ipotesi già esposta da Forel, e che fu descritta alla pg 37, viene a mancare di fondamento. È probabile che Forel osservasse in condizioni speciali, anomale, del fondo, ma non è possibile dar alle sue osservazioni un carattere generale, poiché è certo che le crespe si formano anche

senza la presenza di ostacolo veruno.

Il Cornish⁽¹⁾ crede che per la formazione delle crespe originate dal vento sia necessario una diversità nel peso dei granellini di sabbia, perché solo i più pesanti verrebbero rotolati ed ammucchiati, mentre i più leggeri entrerebbero in sospensione. Certamente questa condizione favorirà la formazione di mucchiotti, ma non mi sembra proprio necessaria per l'origine di questi.

Infatti in tal modo le piccole crespe dovrebbero esser formate di granellini di sabbia tutti presso a poco dello stesso peso, mentre è facile persuadersi, con un semplice esame microscopico, che ciò non avviene, almeno per le crespe marine.

L'esperta ipotesi sull'origine delle crespe non altera le linee fondamentali del fenomeno, quali vennero date da Hunt e dagli altri dopo di lui: si tratta sempre dell'azione di correnti alternate che si effettuano sul fondo marino in corrispondenza dell'onda che si propaga alla superficie. Io ho sostituito l'ipotesi che i primi mucchiotti di sabbia si formino per l'incontro dei flutti diretto ed inverso

(1). Cornish V. - On the formation of sand dunes. op. cit. pag. 280 seg.

a quella di Darwin⁽¹⁾, che ammise che si origi-
nassero per azione di vortici, a sottovento di
ogni piccola eminenza della sabbia, ma ciò non
è che un dettaglio

§ 15 Tentiamo ora di dar una spiegazione dell'oscil-
lazione delle cresse. Dalla fig 11, che riassume
tutto il complicato fenomeno, noi possiamo
darci un'idea del gioco di vortici.

Spiegazione
dell'oscillazione delle
cresse.

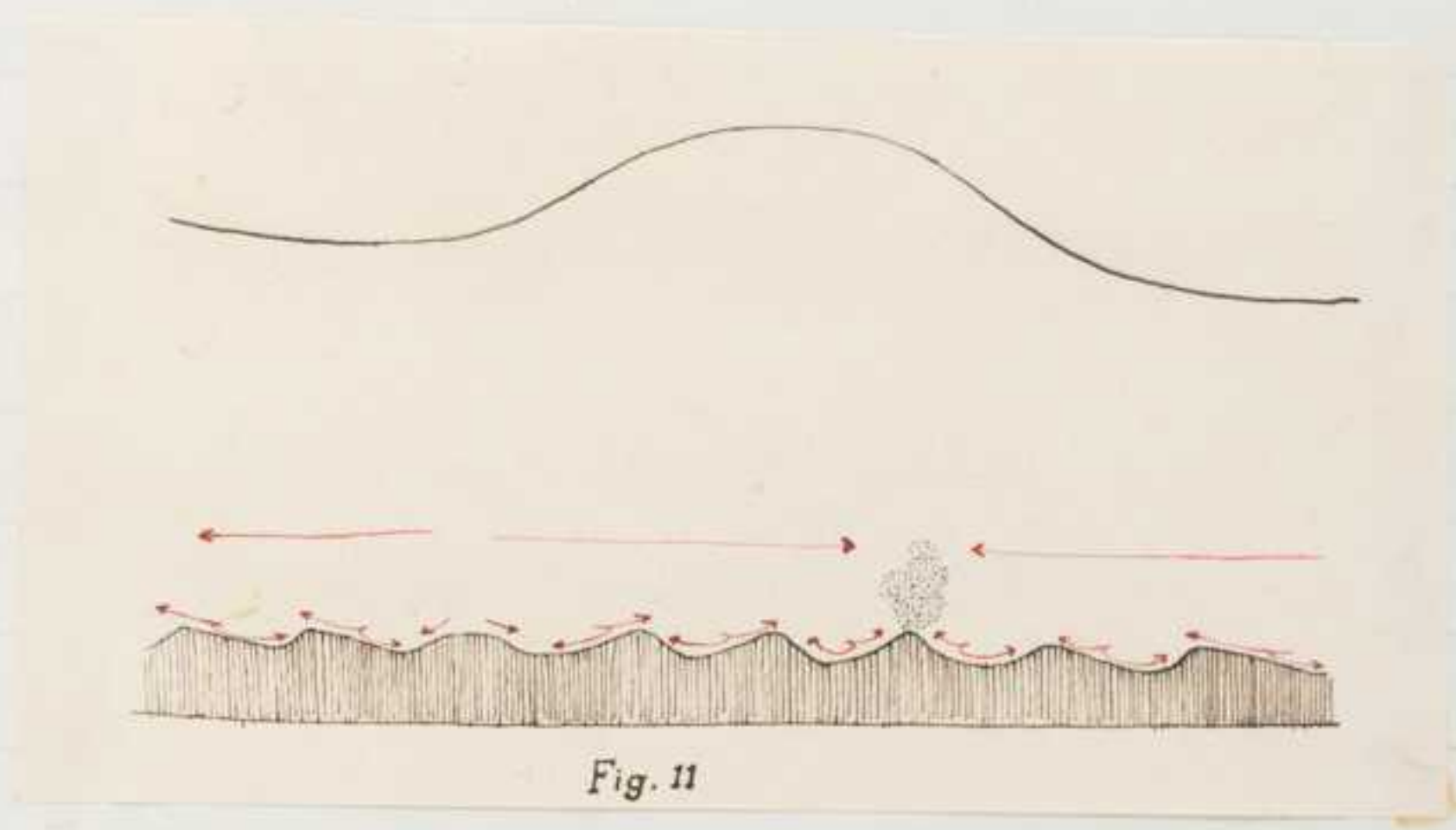


Fig. 11

Osserviamo dapprima che alle fasi dirette
corrisponde il flutto diretto, mentre alle fasi
inverse corrisponde il flutto inverso. Nel
punto dove i due flutti convergono abbiamo
la fase simmetrica e il fiocchetto, dove divergono,
un principio di degradazione della cresspa.
Per l'ostacolo rappresentato dalle cresse, le

(1). Darwin G. H. - op. cit. pag 24.

particelle liquide, che presso al fondo dovrebbero oscillare in direzione parallela a questo, acquistano una componente verso l'alto. Allora nel versante sottovento della cresta deve formarsi un movimento vorticoso, che sarà diretto in senso contrario a quello delle particelle liquide, avremo cioè quello che Darwin e Cornish chiamano il vortice a sottovento delle creste.

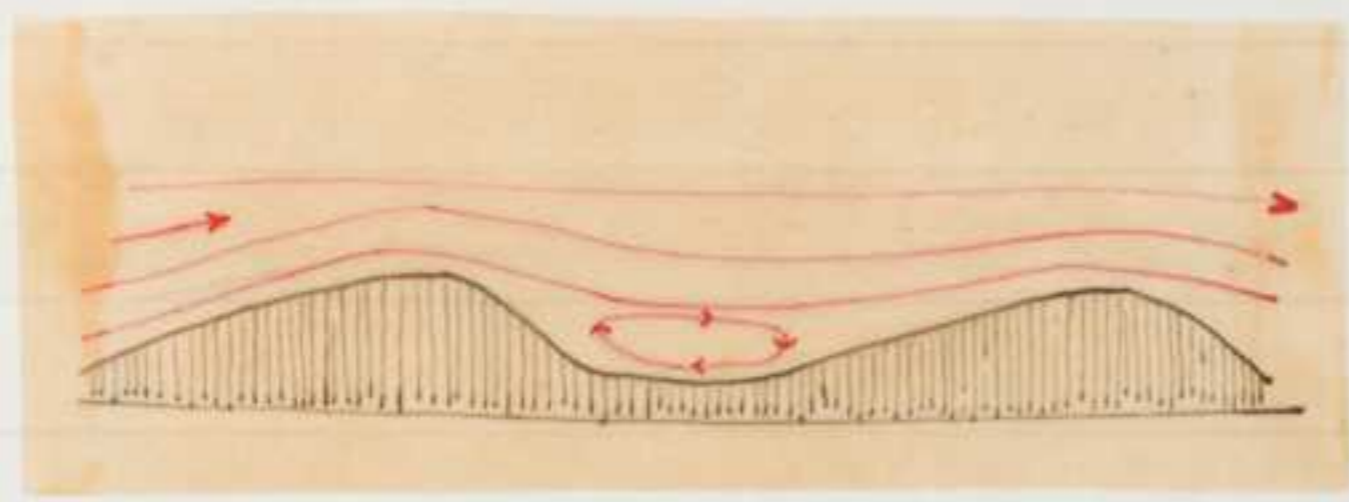


Fig 12. [Dal Darwin. -]

I vortici hanno la direzione predominante in senso contrario a quello del flutto che agisce in un dato istante, e sono appunto essi che compiono il lavoro descritto alle pg 51-52. Essi rendono la cresta asimmetrica, poiché, come si vede nella fig 11, agiscono sempre nel pendio sottovento, rendendolo più ripido.

L'oscillazione della cresta quindi è legata in tutte le sue fasi, all'alternarsi dei movimenti che si compiono presso il fondo in corrispondenza del propagarsi dell'onda alla superficie. Questa oscillazione è dovuta al fatto che detti movimenti

non si possono più mantenere paralleli al fondo, ma acquistano una componente verso l'alto. Basta questo fatto per provocare la formazione dei vortici, i quali, agendo alternativamente sui versanti sottovento, rendono asimmetrica la cresta. Questi vortici sono causa degli spostamenti di granelli di sabbia in direzione contraria a quella del flutto dominante, di cui si parlò a suo luogo.

916 Rimane a dir due parole sulle cresse di riva. *Le cresse di riva*
 Esse sono stabilmente asimmetriche, non presentano oscillazione, o se la presentano, questa è sempre incompleta dal lato del mare. ?

Noi possiamo immaginarci la loro origine ammettendo che dei due flutti di fondo, il diretto acquisti prevalenza sull'altro; in questo modo l'onda viene a perder l'equilibrio e a coricarsi verso terra: le orbite delle singole particelle vibranti non possono più esser ellissi ma curve rientranti in se stesse⁽¹⁾. Questo stato di cose deve influire sulla forma delle cresse, che, come abbiamo visto pur ora, seguono in tutto i movimenti dell'onda: anche le cresse quindi si coricano verso riva e dei vortici quello che

(1). Weber W. - op. cit § 102

si forma nel pendio verso terra non viene mai a raggiungere la forza sufficiente per far compiere l'oscillazione alla cresta.

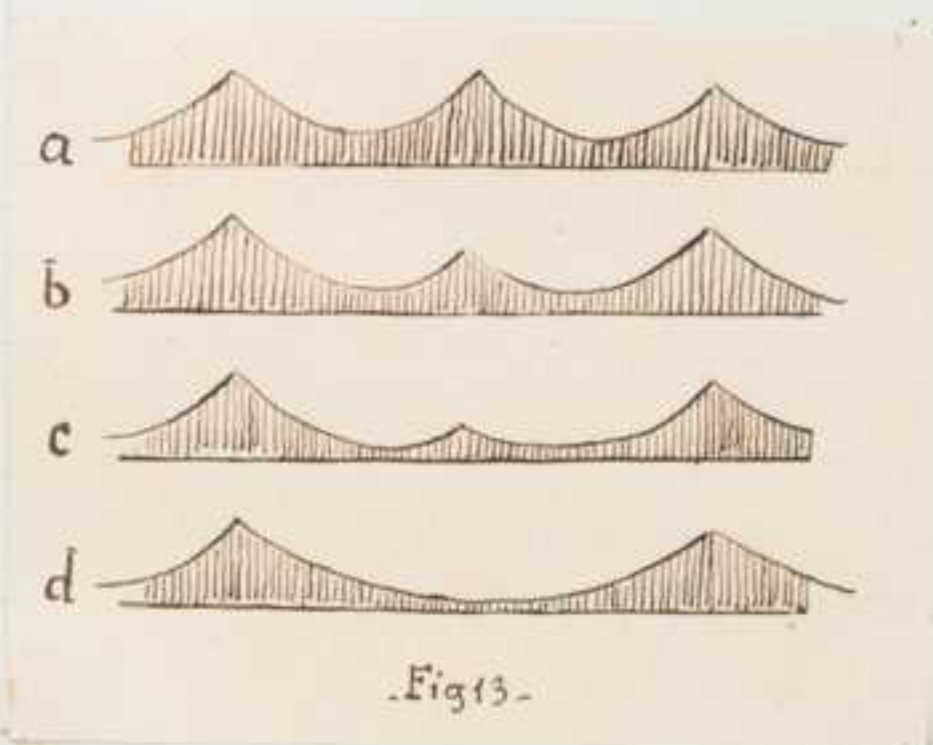
517

Ho finora descritto i fenomeni che avvengono normalmente nelle cresse e ad essi ho fatto seguire quella spiegazione che mi è sembrata la più soddisfacente. Le osservazioni seguenti invece sono frutto di condizioni speciali di formazione, e serviranno a metter meglio in luce alcune particolarità.

Effetto di una diminuzione di intensità di oscillazione dell'acqua.

Una diminuzione dell'intensità d'oscillazione dell'acqua può esercitare un'influenza molto notevole sulle cresse. Riporto a questo scopo un'osservazione fatta il 23. III. 910 a Sottomarina. Per cause del riflusso andavano man mano rimanendo all'asciutto ampi banchi che limitavano dei bacini comunicanti scarsamente col mare. Le condizioni di quei bacini erano favorevolissime poiché le onde, infrante dai banchi, vi penetravano tranquille e regolari. Nel fondo dei bacini stessi s'erano formate, evidentemente durante l'alta marea, delle cresse simmetriche la cui distanza fra cresta e cresta era in media

di 8 cm. Infatti le onde, quando potevano passare sopra i banchi, dovevano avere una forza considerevole. Invece, quando io principiai l'osservazione, le cose erano già mutate, e a piccole profondità, si trovavano cresse di 4 cm di larghezza le quali presentavano le loro oscillazioni regolari. Aumentando la profondità alcune tra esse diminuivano di dimensioni (Fig 13 b), e più precisamente queste ultime erano al-



ternate con quelle che si conservavano inalterate. Alla profondità di 15 cm si avevano cresse grandi, di larghezza media di

8 cent, nei cui solchi erano appena visibili delle minuscole cresse (fig 13 c). A profondità ancora maggiori anche quest'ultima traccia spariva e le grandi cresse non erano punto disturbate dalle onde.

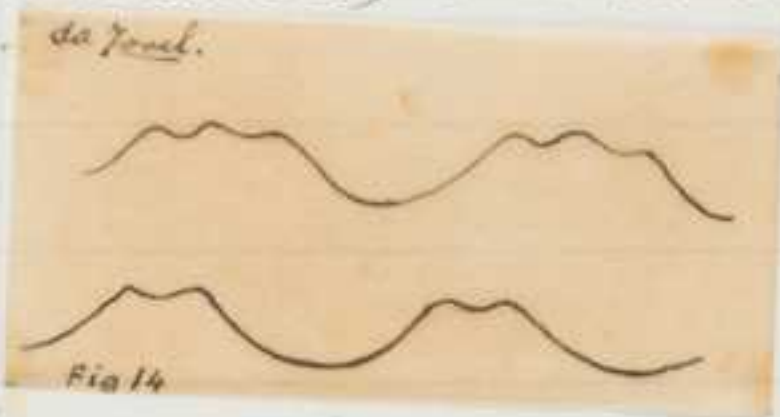
Ni par naturale ammettere che a una diminuzione d'ampiezza e d'intensità delle onde abbia corrisposto in questo caso anche una diminuzione nella larghezza media delle cresse la quale si sarebbe ridotta a

metà; dando così quel fenomeno che Darwin⁽¹⁾ chiama ottava. Ottava è per questo autore una larghezza delle cresse eguale alla metà di quella che si potrebbe attendere data l'intensità del moto ondoso. Come si vede una diminuzione di questa intensità del moto ondoso provoca appunto un fenomeno di ottava.

La cresta mediana
creano di formazione
successiva; non
in acqua alta per
che il piccolo
ondata non sia
temporale a quella
profondità

Da questa osservazione inoltre si può ricavare che le dimensioni delle cresse dipendono da quelle dell'onda che le ha formate, contrariamente a quanto ha supposto Forel⁽²⁾, che cioè l'intensità delle onde ha poco da fare colla larghezza delle cresse, la quale sarebbe principalmente determinata dalle condizioni del fondo.

918. Forel⁽³⁾ descrisse pure un'altra anomalia in Cresse a cresta
multipla. interessante, cioè delle cresse con cresta doppia



o tripla (fig 14). Egli spiega il primo caso ammettendo che la cresta, formata

dai materiali più leggeri, sia stata eliminata dalle onde, mentre per il secondo caso

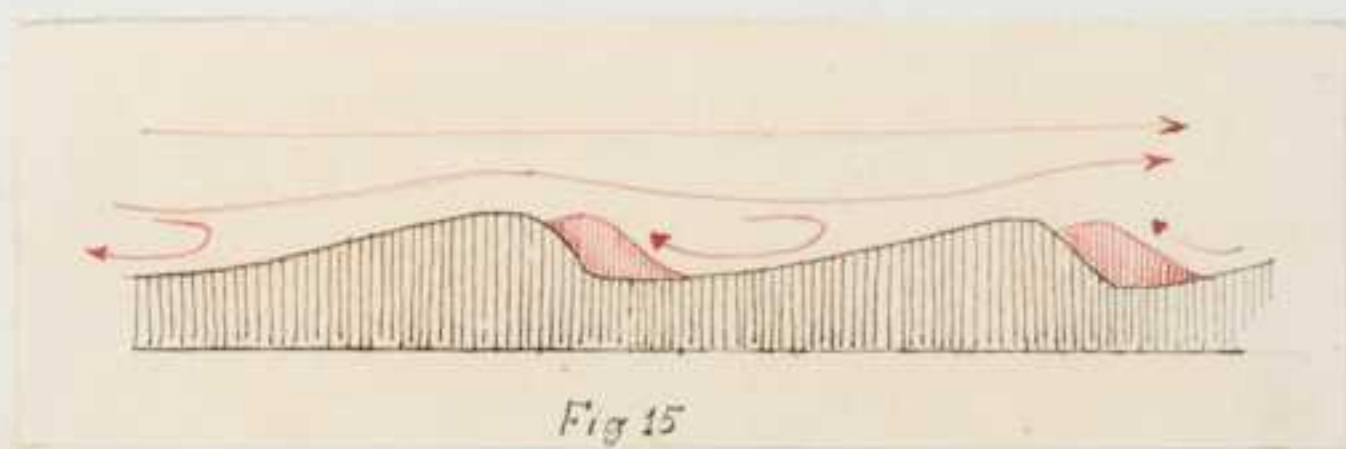
(1). Darwin G. H. - op. cit. pag 20

(2). Forel F. A. - Les rides de fond... op. cit. Genève 1883 pag 63 segg.

(3). Forel F. A. - id id pag 70 segg.

non dà alcuna spiegazione

Ho assistito all'origine della seconda cresta delle cresse e posso dire che in questo caso non è possibile la spiegazione data da quell'autore. Il 23.V.09 vidi una distesa di sabbia, modellata a cresse di riva, la quale, rimasta all'asciutto durante il riflusso, veniva lentamente ricoperta dalle acque della marea crescente. Ho osservato allora che man mano a sottovento di ogni cresta se ne formava una nuova, quasi stratificata sulla prima,



tanto da ricordare nell'insieme le cresse con due creste di Forel. In questo caso però mi par più naturale ammettere che si tratti di un fenomeno di ottava, nel quale però, per la forza abbastanza grande del vortice sottovento, la cresta neoformata viene spinta ad adagiarsi sopra la cresta preesistente. È probabile del resto che la spiegazione data da Forel sia ben applicabile per il caso da lui osservato, e allora rimarrebbe assicurato

che le cresse a cresta doppia possono provenire da più cause. Una bella fotografia di tali cresse è data dal Cornish⁽¹⁾, il quale però non dà alcuna spiegazione, promettendo di ritornare sull'argomento.

519 Consideriamo ora a quali variazioni possano andar soggette le cresse quando si trovino o contemporaneamente o successivamente sotto l'azione di onde provenienti da diverse direzioni.

Altre anomalie delle cresse.

Nel primo caso, quando si tratti cioè di onde che si propagano simultaneamente, in luogo delle cresse si formano dei rilievi mammellonari, disposti in quinconce e separati da profonde fosse imbutoformi, ed è facile persuadersi che si sono formati in quei punti dove i due sistemi di cresse si sarebbero incontrati.

Nel secondo caso invece, quando delle onde agiscono su delle cresse già formate ma in direzione diversa, si ha quasi un aspetto reticolato, come è mostrato dalla fig 16.

(1) Cornish V. - On sand waves in tidal currents...
Geogr. Journ. VIII 1901 pg 193 fig 25.

Come si vede bene le grandi cresse trasversali sono di prima formazione, mentre le più piccole, che si trovano nei solchi delle prime, e che appaiono



Fig. 16-

discontinue si son generate per ultime. In questo caso è manifestamente dimostrato che i due moti ondosi erano di diversa intensità: se confrontiamo invece una fotografia, riportata da De Candolle (1) per ottenere la quale si erano generate artificialmente, in un bacino, onde di intensità eguale e di direzione normale fra loro, vedremo riprodotto con gran regolarità l'aspetto di un reticolo.

520 Le dimensioni delle cresse sono oltremodo Dimensioni delle cresse.

(1). De Candolle C. - op. cit. tav. VIII I. . .

variabili, poiché ve n'ha di quelle che arriva-
no a una larghezza, tra cresta e cresta, da due
o tre centimetri fino a due decimetri. Jarwin
e Cornish chiamano wave-length (lunghezza
d'onda = L) la larghezza delle cresse, e corrispon-
dentemente height (altezza d'onda = H) la profon-
dità del solco; non mi sembra però che que-
sti nomi sieno molto ben scelti, potendo essi
ingenerare confusioni colle dimensioni delle
onde che hanno prodotto le cresse, e mi pare
sia più opportuno ritornare ai termini lar-
ghezza e altezza delle cresse, usati già
dal Jorel e dal De Candolle e adoperati
da me finora).

Secondo De Candolle ⁽¹⁾ le dimensioni delle
cresse dipendono principalmente dall'am-
piezza dell'oscillazione dell'onda, mentre se-
condo Jorel ⁽²⁾ questa non avrebbe che scarsa
importanza essendo sopra tutto la natura del
fondo quella che influisce anche sulla larghezza
e sull'altezza delle cresse. Io, senza avere
nessuna pretesa di risolvere la questione, mi
sento più portato per la prima piuttosto

(1). De Candolle C. - op. cit. pg. 255

(2). Jorel F. A. - op. cit. Genève 1883. pg. 63.-

che per la seconda ipotesi. Nell'Allegato A ho riportate tutte le misure di larghezza e di altezza fatte da quando mi occupo di questo argomento. Molte serie, come si vede, sono state misurate nella stessa località, quasi sullo stesso tratto di sabbia, eppure vi si riscontrano notevoli differenze. È probabile quindi che molte sieno le altre cause che influiscono sulle dimensioni delle cresse, ma certamente su esse deve prevalere l'ampiezza delle onde, le quali, come abbiamo sempre visto, imprimono sul terreno molti dei loro caratteri.

Sulle dimensioni delle cresse Cornish⁽¹⁾ crede di aver verificato una legge importante, che cioè il rapporto $\frac{L}{H}$ tra la loro larghezza e altezza è costante. Una semplice occhiata alle misure riportate, nelle quali sono segnate in rosso le medie e i rapporti calcolati, mi induce a credere che questa costanza di rapporto non si può chiamare una legge. Si può solo, a mio parere, ammettere che le cresse formatesi contemporaneamente, nelle stesse condizioni e nello stesso luogo, diano

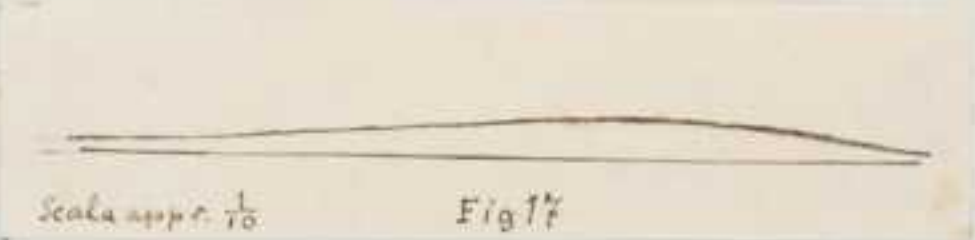
(1). Cornish V. - On sand waves in t. c. op. cit.

una serie di rapporti assai vicini tra loro, in modo che la media di questi ha, in senso molto limitato, il valore di costante. Infatti se noi consideriamo, serie per serie le deviazioni dei singoli rapporti dalla loro media, troveremo sempre piccole differenze, ma voler assurgere da questo fatto a una legge fondamentale mi sembra alquanto arrischiato.

921

Condizione essenziale per la formazione delle *Onde di sabbia*

è uno stato di mare relativamente tranquillo. Se il mare è tempestoso, le creste che si trovano a piccole profondità sono completamente asportate dai forti movimenti d'acqua generati dalle onde che s'infrangono presso la riva. Ma appunto queste lame d'acqua, col periodo salire e discendere, non sono senza azione sul fondo, ma generano delle



onde di sabbia (Fig 17) che periodicamente

si dirigono verso terra e verso mare. Queste onde di sabbia, lunghe parecchi decimetri ma d'altezza media di appena 1 centimetro, s'incontrano costantemente sulle spiagge del

lido, quando il mare è in tempesta. Fondamen-
talmente, nel loro profilo, sono crespe alterate
dalla violenza delle onde, e dalle misure
riportate nell' Allegato B. si può aver un'idea
delle loro dimensioni, le quali sono molto
maggiori di quelle delle crespe comuni.

522

La sola conclusione che appare probabile
dai risultati finora ottenuti è la seguen-
te: le crespe marine sono un effetto dei mo-
vimenti, a cui l'acqua del mare presso il
fondo è assoggettata, in corrispondenza
delle onde che si propagano alla superfi-
cie; le dimensioni delle crespe devono
quindi dipendere dall'ampiezza di que-
sti movimenti.

Conclusioni sullo
Studio delle crespe.

La natura dei movimenti delle singole par-
ticelle liquide che si compiono durante il
passaggio di un'onda, è ancora molto
discusso; mi sono attenuto però, come si
è visto, all'opera dei fratelli Weber, i soli
che abbiano portato, a sostegno delle loro teo-
rie, osservazioni e misure in gran copia.
Cercando di far concordare con queste le
mie osservazioni, sarei venuto alla conclu-

sione, per ora molto discutibile, che i vortici non sono movimenti casuali che si formano dietro le piccole irregolarità del terreno, ma movimenti che sono generati dall'onda stessa. Rimane poi confermato il fatto che le creste prendono parte all'oscillazione delle particelle liquide, con un movimento ondulatorio sincrono con quella.

Tutte queste ipotesi però potranno ricostruire l'andamento del fenomeno, ma sono ben lungi dal darne la legge fondamentale.

Infatti esse non sono applicabili che alle creste marine, mentre fenomeni consimili avvengono in condizioni d'ambiente completamente diverse. Certamente ad esempio la spiegazione ideata per le creste non può esser adattata per dar luce sull'origine delle increspature del mare causate dalle brezze, né delle creste generate dai venti; essa non ha quindi alcun valore generale.

Solo de Candolle comprese il problema dal lato più vasto, esponendo quell' enunciato, già riportato altrove, che si può definire una vera legge fisica, indipendente dall'ambiente nel quale si verifica. Secondo

-71-

questa legge le creste sono onde vischiose formate nella superficie di separazione tra il fluido più vischioso (sabbia imbevuta d'acqua) e il fluido meno vischioso (acqua). La legge presente, che io devo accettare come postulato ma che è confermata da tutte le mie osservazioni, è valida in ogni caso, per quanto varii l'ambiente, tanto per le creste marine come per quelle generate dai venti, tanto per le increspature della superficie dell'acqua come per quei cirri che sono disposti tutti in direzione parallela e normale a quella del vento che li ha generati.

Le onde vischiose dovrebbero propagarsi per esse, come infatti avviene per le increspature dell'acqua, ma la velocità di propagazione decresce assai rapidamente coll'aumentare della vischiosità fino a divenire praticamente nulla, per l'enorme attrito interno che si oppone a questo movimento. Non capisco quindi che valore e che portata abbia l'obiezione di Bertololy⁽¹⁾ il quale rinfaccia al De Candolle di aver accomu-

(1). Bertololy E. op.cit. pag. 16. -

nato nell'origine le cresphe marine e le increspature dell'acqua, riscontrandovi la grande differenza che le prime non si possono propagare mentre le seconde si.

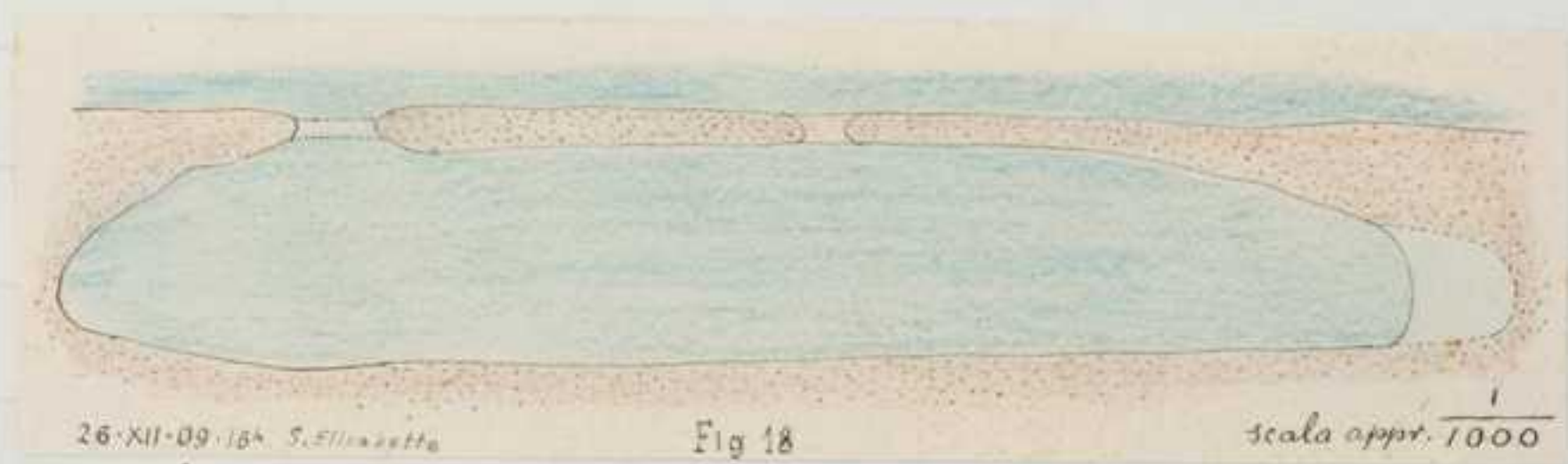
La propagazione poi potrà avvenire quando il movimento delle particelle liquide si effettui predominantemente in una direzione, come è il caso delle cresphe di riva che si spostano, per quanto lentamente, verso spiaggia; ma quando dette particelle compiono ~~un~~ oscillazione, evidentemente anche la cresphe non potrà presentare che una oscillazione, come infatti si osserva.

Non è quindi l'enunciato di De Candolle che è insufficiente, come giudica il Berthololy, ma le teorie degli autori inglesi devono esser completate e comprese da quello.

Infatti lo stabilirsi dei vortici, la loro azione, i loro movimenti non sono che fenomeni d'indole secondaria, che hanno bensì interesse per uno studio particolareggiato delle cresphe, ma non mutano la legge fondamentale, che deve la propria importanza all'aver unito sotto un solo punto di vista fenomeni disparati per ambiente e condizioni di svolgimento.

CAPITOLO II. - I bianchi costieri.

523 *Descrizione.* 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 a qualche decina di metri dalla spiaggia. Se il mare è tranquillo egli potrà distinguere, a distanze maggiori, delle linee sempre parallele alla prima, che risaltano del colore del mare per la tinta giallo-bruna dell'acqua. Se poi la marea è bassa si potranno vedere anche lingue di terra emerse, separate dalla spiaggia da piccoli bacini d'acqua tranquilla. Queste striscie di sabbia emergono assai poco dal livello del mare e sono molto spesso interrotte da piccole aperture per le quali l'acqua penetra ad alimentare i bacini. (fig 18)

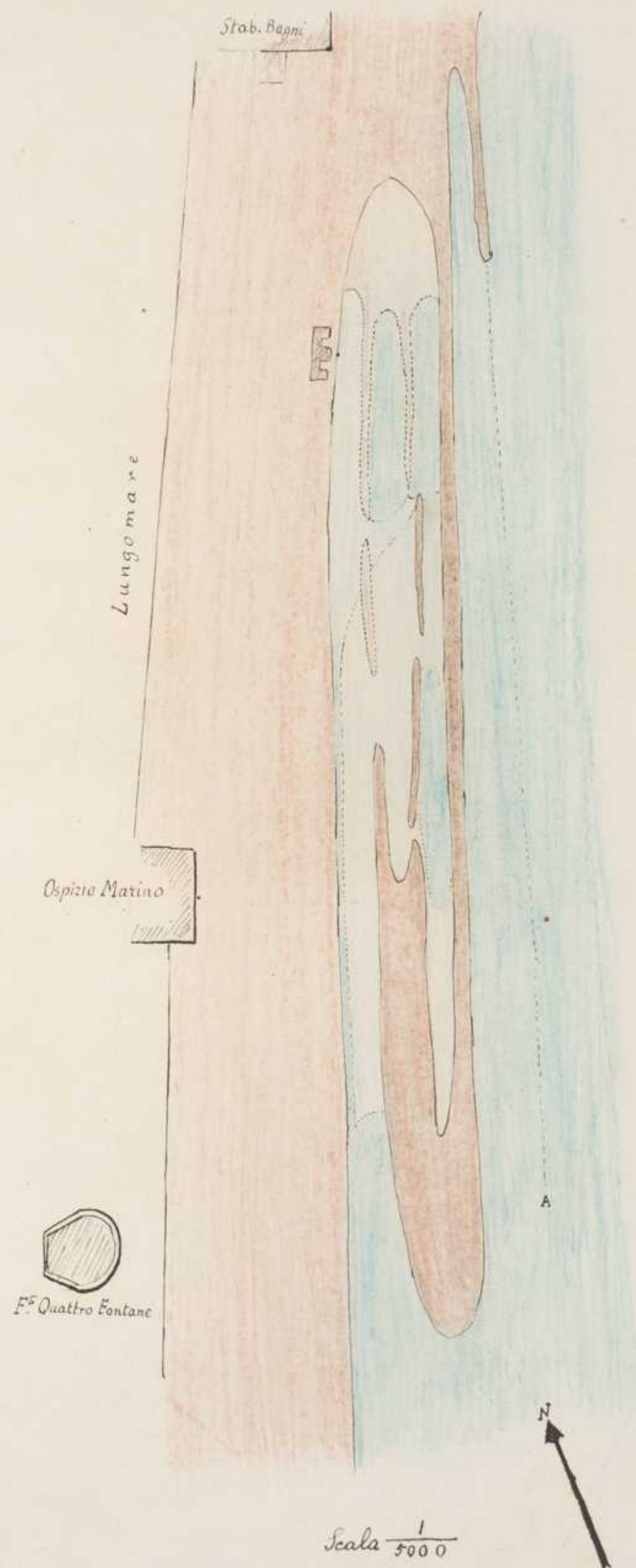


Nel caso più generale si osservano delle punte

che affiorano per un buon tratto, sempre parallelamente alla costa, per poi continuare sotto il livello del mare con un rilievo subacqueo.

Queste lingue di terreno, ora emerse, ora sommerse, si chiamano banchi costieri.

Nella fig. 19 è riportato uno schizzo di quel tratto di spiaggia che si stende a S dello Stabilimento dei Bagni di S. Elisabetta di Lido, nel quale si trovano riannunte, per una fortunata combinazione, tutte le principali particolarità dei banchi costieri. Come si vede, ve ne sono tre di completi, dei quali però il più esterno è del tutto emerso, rimanendo solo un'apertura all'estremità meridionale, mentre gli altri due sono spesso interrotti. Davanti lo stabilimento dei Bagni esisteva poi una punta, la cui continuazione subacquea (linea punteggiata A) era tradita da una striscia dove avveniva la rottura delle onde. Una di queste punte è mostrata anche nella figura 20, nella quale si distingue benissimo un seno d'acqua tranquilla che, verso destra è delimitato da una lingua di sabbia emersa, verso sinistra invece comunica liberamente col mare; però la continuazione della lingua sabbiosa è segnata anche qui da una linea di frangenti.



21-II-09. pp. 16-17

Scala $\frac{1}{5000}$

Fig 19



Fig. 20 S. Elisabetta 11. XI. 09



Fig. 21 S. Elisabetta 11. XI. 09

La figura 21 ci rappresenta invece l'aspetto
di due banchi paralleli, il primo dei quali
racchiude una depressione modellata a cresse,
il secondo un vero bacino

Consideriamo un po' più da vicino questi

banchi, e facciamone una descrizione minuziosa, la quale sola potrà darci luce sulla loro origine

Di grande interesse è lo studio del loro profilo trasversale. Nella tav I^a ho riprodotto i profili misurati, quali furono desunti da semplicissime operazioni di scandaglio da me eseguite; anche a prima vista essi presentano con una certa costanza un aspetto a dorso di mulo [Profili I, IV]

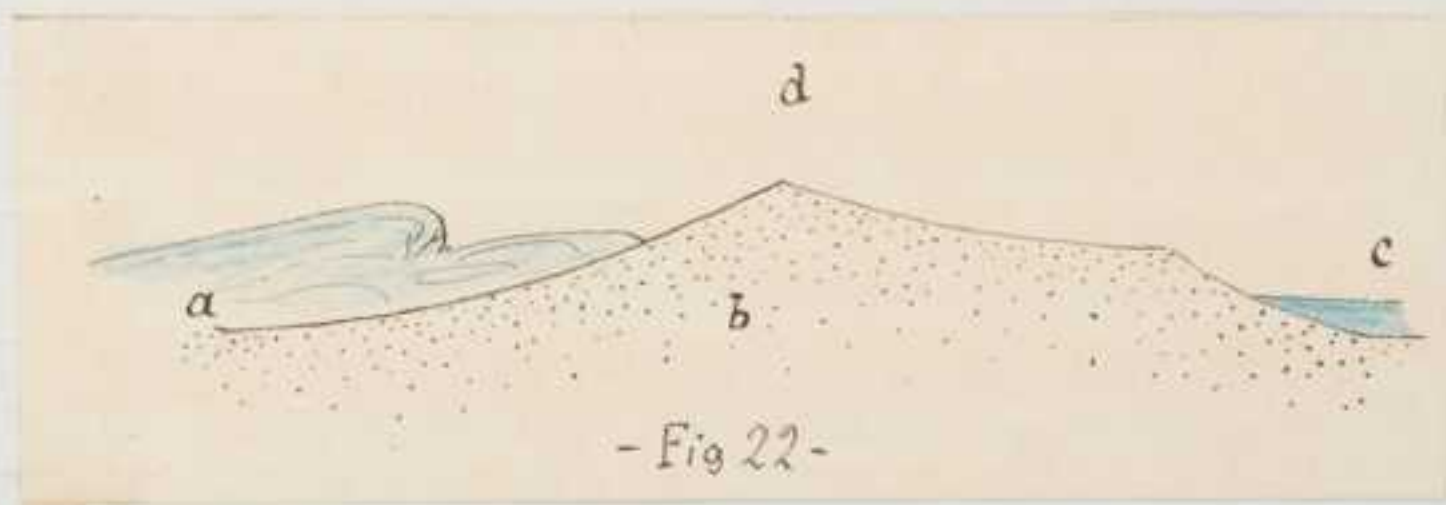
Però in alcuni si osserva che il pendio verso mare è molto più dolce dell'altro: ciò è mostrato, in modo più o meno pronunciato, dai profili II, V, ma è carattere molto frequente nei banchi che si trovano a profondità d'acqua maggiori, che io potei bensì esplorare a guado, ma dei quali non mi fu possibile prender misure.

Tra banco e banco oppure tra un banco e la riva, si trovano delle depressioni che decorrono parallelamente alla riva stessa.

In queste l'acqua proveniente dall'altomare fluisce come in un canale, contribuendo al loro escavo, finché non si apre, attraverso il banco uno sfogo verso il mare. Ecco la ragione delle interruzioni che i banchi presentano così spesso.

524. I banchi poi impediscono l'ulteriore proseguire Azione dei frangenti sulla linea di battaglia.

delle onde, che sono obbligate ad infrangersi. Generalmente però le onde maggiori potranno continuare a propagarsi, e le onde più piccole potranno, qualora si succedano l'una all'altra, unirsi a formarne una sola: in ogni modo queste onde, generate dopo la rottura di quelle più grandi, avvenuta presso al banco, giunte in prossimità della riva, devono infrangersi per la diminuita profondità, trasportando in tal modo verso terra una grande quantità di sabbia strappata dal fondo. Lungo la linea di battigia questi materiali devono venir necessariamente abbandonati; ne risulta così un banco emerso il quale, per le condizioni anormali della sua formazione presenta un profilo caratteristico in sommo



grado (fig 22. - Profili VI VIII). In a riscontriamo costantemente un deposito di frammenti di conchiglie o di altri materiali grossolani, segno di un'azione selettiva dei frangenti che trasportano verso terra solo i materiali

meno pesanti; b è il banco che presenta un pendio ripido verso mare e dolce verso terra, divisi da una cresta d molto acuta; in c si trova normalmente un bacino pieno d'acqua. L'origine di questo banco, che per la sua posizione possiamo chiamar terminale, è la seguente: l'onda presso riva s'infrange completamente, dando origine a una lama d'acqua che si arricchisce notevolmente di sabbia e si dirige con gran impeto verso terra. Man mano però che s'inalza lungo il pendio naturale della riva, essa deposita i materiali che tiene in sospensione, dando origine al banco terminale. Ben presto però la lama d'acqua deve discendere verso mare, sia perché l'impulso che l'aninava è venuto meno, sia perché un'altra onda che sopravviene alla prima l'ha "risucchiata"; in tal modo trasporta di nuovo indietro buona parte dei materiali depositati, generando, per questa azione di lavaggio, un pendio ripido dalla parte di mare. Il banco che risulta dal continuo va e viene delle lame ascendenti e discendenti ha dunque un profilo diverso dagli altri; dobbiamo però

notare che alcune lamine ascendenti più veloci delle altre possono sorpassare la cresta del banco; allora il deposito della sabbia può avvenire regolarmente lungo il pendio verso terra, poiché l'acqua non può più ritornare in mare, ma deve fluire nel bacino \underline{c} (fig 22).

Questi banchi terminali sono generalmente di piccole dimensioni: quello il cui profilo si vede riportato nella tavola al H VI è il più grande che io abbia mai constatato. La condizione della loro formazione è legata a uno stato di mare mosso ma non burrascoso. Essi naturalmente devono seguire gli spostamenti del livello del mare che avvengono per effetto delle maree: infatti si formano dapprima lungo la linea di battigia delle onde, durante il riflusso, e talvolta risalgono la spiaggia, man mano che la marea cresce fino alla linea di battigia del flusso, dove, in seguito al recedere del mare, vengono presto ad asciugarsi e a perdere la loro forma primitiva.

Nella bassa marea emergono generalmente, come ho già detto, dei banchi: or bene, se il

mare è mosso, si ripete su di essi, sul lato verso mare, la stessa successione di fenomeni che abbia-
 mo visto verificarsi presso alla riva. Ad esem-
 pio il banco del profilo A VII mostra, dalla
 parte del mare, un pendio molto ripido,
 che non può venir spiegato che coll' abra-
 sione esercitata dalle lame d'acqua discen-
 denti. Identiche condizioni presenta anche il profilo II.

§ 25 Nel caso di mare burrascoso, avvengono feno-
 meni simili al descritto, ma in scala mol-
 to più grande. Le lame d'acqua raggiun-
 gono infatti un'estensione considerevole
 e possono invadere grandi zone di spiag-
 gia. Cospicua sarà quindi l'azione delle
 lame ascendenti, le quali trasporteranno verso
 terra grandi quantità di sabbie, ma non
 meno lo sarà quella delle lame discendenti,
 che faranno ridiscendere verso mare molti
 dei materiali depositati. Il risultato finale
 sarà che la spiaggia avrà una pendenza
 molto più accentuata del solito, e che
 lungo la linea di battigia si formeranno
 grandi e irregolari mucchi di materiali.
 Questi due fatti si osservano con gran
 frequenza durante le mareggiate: in

Aspetto della spia-
 gia durante le ma-
 reggiate.

questi periodi è generale riscontrare molto in-
 ternamente, nella parte più alta della spiag-
 gia, una serie di rilievi, di forma molto
 irregolare, disposti lungo una linea che
 indica l'estremo limite a cui giungono le
 lamine ascendenti. Se noi consideriamo il
 pendio che da questa linea va verso il
 mare, vedremo che la sua pendenza è rela-
 tivamente molto forte; il movimento dei
 materiali vi si compie predominantemen-
 te verso il mare, prova di un prevalere della
 lama discendente sull'altra.

Durante le grandi mareggiate è normale
 anche la sparizione quasi completa dei
 banchi: anche questo fatto deve esser in
 relazione con la grande violenza delle
 lamine discendenti le quali, rese più veloci
 dall'aumento di pendenza della spiaggia
 potrebbero trasportare al largo tutti i materia-
 li dei banchi.

La ripidità della spiaggia durante le ma-
 reggiate e la formazione anomala del
 banco terminale sono fenomeni ben diversi:
 ma se noi teniamo conto dell'ordine di movi-
 menti che li hanno prodotti, siamo costretti

ad ascriverli ad un'unica causa agente con intensità differente. Sembra esser questa una legge generale, che verifichiamo ancora in altri casi e che facilita di molto il compito dell'osservatore di fatti naturali, poiché nel fenomeno che avviene su piccola scala, con maggiori regolarità e costanza, si trova già racchiusa la spiegazione del fenomeno grandioso, a prima vista inesplicabile.

526 Per dar luce sull'origine dei banchi costieri furono emesse non poche teorie; di quelle *teorie emesse sull'origine dei banchi costieri.* che vennero a mia conoscenza voglio dare ora un cenno, esponendo anche gli argomenti che i diversi autori hanno portato a sostegno delle loro idee. Uno dei primi ad occuparsi di tali fenomeni fu il Cialdi,⁽¹⁾ il quale ammise che i banchi costieri sono la conseguenza dell'alterazione a cui un'onda va soggetta propagandosi

(1) Cialdi A. - Sul moto ondoso del mare e le correnti di esso. - II ed. Roma 1866.

... Sei movimenti del mare sotto l'aspetto idraulico nei porti e nelle rive. Roma. Barbera 1876.

nelle spiagge sottili.

Secondo il Cialdi l'onda quando si avvicina alla riva viene a raggiungere colla sua parte inferiore il fondo, in modo che quelle particelle liquide, che oscillano presso di questo, vengono ad urtarsi; allora, per reazione devono dirigersi verso l'alto con velocità maggiore dell'iniziale. Ma le particelle soprastanti sono in tal guisa intralciate nei loro movimenti e dovranno anch'esse elevarsi, e con queste l'intera onda, la quale finirà per perder l'equilibrio e coricarsi verso riva. Intanto le particelle d'acqua che si trovano presso il fondo e che sono state disturbate nelle loro oscillazioni, dapprima si sono rivolte verso l'alto, ma poi dovranno dirigersi nel senso stesso del moto ondoso, dando luogo a quello che il Cialdi ha chiamato flutto di fondo. La velocità di queste particelle è accresciuta dagli impulsi delle onde successive, tanto che a poco a poco si formerà una vera corrente cioè il flutto corrente di fondo.

Alla superficie si forma pure una corrente,

ma di azione molto meno energica, poiché le particelle che vi si trovano, disturbate dalle sottostanti, acquistano una componente orizzontale. Col sopravvenire di nuove onde anche in questo caso si ha una corrente, distinta col nome di flutto corrente della superficie.

Questa è brevemente la ricostruzione fatta dal Lialdi delle alterazioni a cui va soggetta un'onda per l'influenza del fondo. Secondo questo autore tutte le accidentalità delle spiagge sottili, fino a profondità relativamente grandi (per l'Adriatico circa 20m), sono dovute all'azione del flutto corrente di fondo, e anche i banchi costieri devono ad esso la loro presenza.

In che modo?

Per il caso speciale dei banchi del lido, ricorderò come il Kowatsch⁽¹⁾ (in una memoria fatta coll'intento di trovare l'origine dell'insabbiamento dei porti e della laguna di Venezia,) abbia supposto che sieno originati dall'incontro dei flutti correnti di NE e di

(1) Kowatsch M. - Die Versandung von Venedig und ihren Ursachen. - Leipzig 1882

SE. Questa ipotesi non mi sembra accettabile, poichè mi riesce difficile ammettere che possano coesistere due flutti correnti, in senso contrario, nel fondo marino, e specialmente perchè, essendo la direzione di tali movimenti parallela alla spiaggia, i banchi dovrebbero formarsi in direzione normale alla spiaggia stessa, mentre ho osservato sempre il contrario.

A serie obiezioni però non si sottrae nemmeno la teoria del Cialdi. Abbiamo visto infatti che in corrispondenza dell'onda che si propaga alla superficie, le particelle liquide presso il fondo sono animate da un movimento alternato, e Bornaglia⁽¹⁾ ha proposto di chiamare flutto diretto il movimento che avviene secondo il cammino stesso delle onde e flutto inverso quello che avviene in senso opposto.

Quando l'onda si trova sopra un fondo a dolce declivio, come è quello delle spiagge sottili, il flutto diretto, che avviene verso

(1) Bornaglia P. Sul regime delle spiagge... op. cit.

. Torino 1891.

riva, tende sempre più a prevalere sull'altro, ma non per questo viene a cessare il movimento alternato delle particelle liquide; quindi avremo bensì uno spostamento di massa nella stessa direzione del moto ondoso, ma intermittente e non continuo come aveva ammesso il Cialdi.

Il Cornaglia quindi venne a conclusioni molto diverse e, pur partendo dagli stessi principi modificò sostanzialmente le teorie sul flutto di fondo, quali vennero date dal Cialdi; di conseguenza anche la spiegazione di quest'ultimo autore, dovette venir cambiata, per quanto riguarda i banchi.

Partendo dal suo punto di vista, il Cornaglia espone la seguente spiegazione sull'origine dei banchi costieri: abbiamo detto che per effetto dell'acqua poco profonda, il flutto diretto, o ascendente, tende sempre più a predominare sull'inverso o discendente.

Però la componente di peso dei granellini di sabbia che compongono il fondo, tenderebbe a trascinarli, per la pendenza di questo, sempre più verso l'alto mare. Ci saranno però dei punti nei quali

l'eccesso del flutto ascendente sull'altro sarà compensato appunto da questa componente. La linea che unisce tutti i punti che godono di questa proprietà è chiamata dal Cornaglia⁽¹⁾ linea neutrale. A terra di questa linea i materiali saranno spinti verso la spiaggia, per il prevalere assoluto del flutto ascendente, verso mare i materiali saranno trascinati sempre a profondità maggiori, per il prevalere del flutto inverso combinato colle componenti di gravità. Quando sovrabbondano i materiali, il fondo verso spiaggia si alza; ne viene allora che le onde più grandi s'infrangono a una certa distanza da questa, mentre le più piccole possono proseguire fino a una distanza minore. In tali condizioni si dovranno avere due flutti ascendenti distinti, uno, originato al largo dalle onde maggiori, avrà la sua linea neutrale più bassa, l'altro, generato presso la riva, l'avrà nelle vicinanze di questa. Allora nello spazio compreso tra le due linee

(1). Cornaglia P. - op. cit. pg 140.

neutrali, avremo un movimento più energico proveniente dal mare e diretto verso riva, e uno meno energico proveniente da riva e diretto verso mare.⁽¹⁾ Questi due flutti verranno ad incontrarsi, e dove avverrà l'urto si formerà un banco.

Il Cornaglia dunque ammette che a ogni banco debba corrispondere una linea neutrale distinta. Consideriamo però che l'esistenza di tali linee è più teorica che altro, poiché l'aderenza che unisce i vari granellini di sabbia tra loro è così forte, da controbilanciare e superare senza dubbio l'azione della componente di peso. E qui appunto torna conveniente far intervenire la vischiosità dei materiali imbevuti d'acqua, per cagione della quale i singoli granelli non sono indipendenti gli uni dagli altri e non possono avere quella libertà di movimenti che loro vorrebbe attribuire il Cornaglia.

Dobbiamo quindi ammettere che, nei movimenti di sabbia presso il fondo marino

(1). - Cornaglia P. - op. cit. pg 274 segg. -

Spiega meglio

la componente di gravità non abbia, praticamente, parte veruna. Anche questa teoria dunque non dà ragione dei fatti osservati. Secondo il Gaillard (1) i banchi costieri possono esser una conseguenza del formarsi di profondi canali parallelamente alla riva.

Il Gaillard osservò che lungo le coste della Florida è normale riscontrare, durante le traversie di NE, un canale decorrente nella stessa direzione della costa, cioè presso a poco da N a S, limitato verso mare da un banco dove avviene la rottura delle onde. Secondo l'autore il banco si è formato in conseguenza dell'escavo del canale, escavo che si è compiuto per una duplice causa. Prima di tutto, per l'azione del vento, viene a stabilirsi, parallelamente alla costa una vera corrente la cui azione sul fondo deve esser energica; poi l'alternarsi dei flutti diretti; che, seguendo la direzione

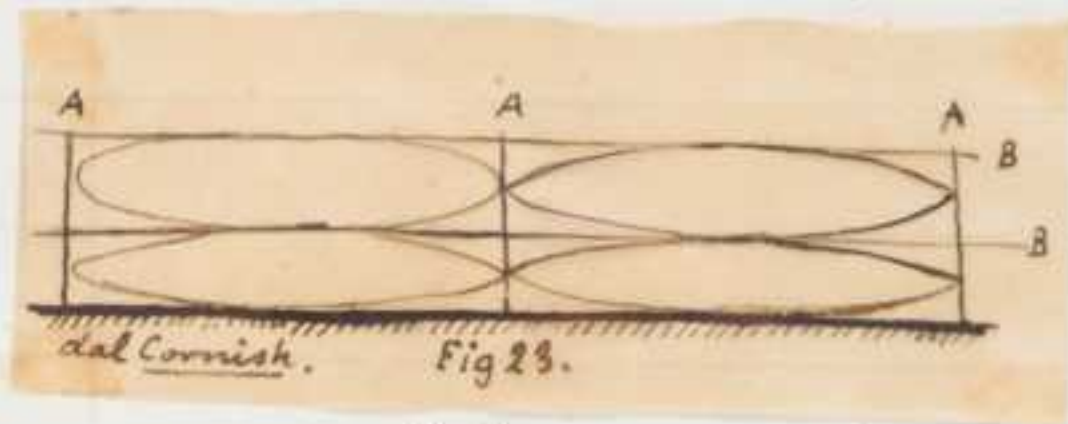
(1). - Gaillard D. D. - Wave action in relation to engineering structures. Professional papers of the corps of engineers U.S. 1904

del moto ondoso, giungono alla spiaggia sotto un angolo acuto, e dei flutti immergi che seguono la linea di massima pendenza, generalmente normale alla spiaggia stessa, dà luogo a un movimento a zig-zag la cui influenza sul fondo deve esser pure notevole. In ogni modo il risultato finale di queste due azioni combinate è che presso alla riva viene a formarsi un canale, e a una certa distanza da questa rimane un rilievo subacqueo.

Questa teoria non può venir applicata al caso nostro. Noi abbiamo ben visto infatti che i banchi hanno un'origine loro propria e non sono dovuti ad un'erosione localizzata del fondo marino. Poi il Gaillard parla, come è ben naturale, di un banco solo, mentre nella nostra regione è normale la presenza di parecchi banchi paralleli tra loro. Però è probabile che in quelle depressioni che abbiamo verificato esistere fra banco e banco avvengano i fenomeni di erosione descritti dal Gaillard, quantunque in grado molto minore...

Un'altra teoria che venne sostenuta

sull'origine dei banchi è quella del Cornish.⁽¹⁾ Secondo questo autore il mare



presso alla riva è in uno stato di vibrazione para-

gonabile a quello di una lamina metallica. I segmenti che vibrano sono ellissi molto allungate, e l'accumulazione dei materiali deve avvenire preferibilmente lungo le linee nodali, o parallelamente o normalmente alla spiaggia: se il mare è agitato si avranno banchi lungo le linee B....B, mentre lungo le linee A; A non si formeranno che dei promontori che si staccano dalla spiaggia stendendosi verso i flutti. (fig. 23)

Questa teoria ha più un valore schematico, di paragone, che altro, e lascia scettico chi volesse tentare di spiegare in tal modo l'origine dei banchi; mi sembra poi che non dia ragione della forma di questi, né del loro modo di essere e di comportarsi riguardo ai movimenti del

(1).- Cornish V. On sea beaches and sand banks.

Geogr. Journ. 5. 6. 1898.-

mare. Inoltre non saprei collegare questa vibrazione supposta del mare colle teorie fin qui accettate sul moto ondoso, ~~come~~ le sole che sieno basate su osservazioni copiose e direttamente eseguite in natura; d'altra parte è sicuro il legame di causalità fra il moto ondoso e i banchi costieri.

527 Ricordiamo quanto abbiamo detto in an Conclusioni...
 precedenza sul profilo dei banchi costieri: essi hanno generalmente un pendio più ripido verso terra che verso mare. Un e quale carattere l'abbiamo riscontrato anche nelle cresse di riva: ci si affaccia subito alla mente l'idea che queste due formazioni abbiano qualche nesso genetico tra loro, che presentino cioè eguali analogie nella loro origine, quali noi riscontriamo nella loro forma.

Abbiamo provato a suo tempo che alla costituzione delle cresse concorrono due movimenti, simultanei ma diretti in senso opposto: anche per i banchi avviene qualche cosa di simile. Noi sappiamo che quando le onde non hanno profon-

dita sufficiente per propagarsi liberamente, si genera presso il fondo, per il prevalere del flutto diretto sull'inverso, uno spostamento d'acqua intermittente e in direzione da mare a terra; dovremo avere, perchè venga conservato l'equilibrio, un equivalente ritorno d'acqua da terra a mare. Entrambi questi movimenti trascinano seco, in senso opposto, grande quantità di sabbia; nella zona dove accadrà l'incontro, deve formarsi necessariamente un deposito, il quale diverrà col tempo un banco. Questa semplicissima ipotesi è la sola che, a mio parere, spieghi in modo soddisfacente, tutte le particolarità dei banchi costieri: per il continuo trasporto di massa, esercitato dalle onde infrante, viene a stabilirsi per equilibrio, specialmente verso il fondo, una controcorrente intermittente, la quale agisce precisamente come il vortice delle cresphe di riva. Si osserva infatti che il pendio verso terra del banco è più ripido di quello rivolto verso mare, segno di una diversa intensità dei movimenti dell'acqua.

Ho voluto esporre la mia idea, sull'origine dei banchi costieri, solo per dar una spiegazione accettabile dei fatti descritti e delle osservazioni raccolte, non colla pretesa di risolvere la questione.

Per poter giungere a questo risultato molte più osservazioni occorrono, di quelle che io abbia a mia disposizione; per ora quindi mi limiterò a far notare la grande parte che i banchi hanno nell'economia del Lido. Essi indicano un continuo movimento dei materiali detritici, che, a poco a poco, vanno ad accumularsi presso la spiaggia, contribuendo all'aumento di questa, e quindi alla maggiore stabilità dell'intero Litorale.

CAPITOLO III. - Le Dune.

628 Nel capitolo precedente abbiamo veduto come Deflazione.
 uno dei risultati finali dell'azione dei movimenti del mare sulla sabbia sia quello di spingere questa sempre più verso la riva.

In quel tratto di spiaggia quindi, che durante la bassa marea resta emerso, viene ad accumularsi; durante i flussi, sempre nuova sabbia la quale, per effetto del sole e per la sua stessa porosità, si asciuga facilmente.

Allora, non essendo ancora fissata da nessuna vegetazione, può esser rimossa, sollevata e trasportata altrove anche da un vento di piccola velocità: questo fenomeno si osserva avvenire costantemente, e dà luogo a delle formazioni d'importanza notevolissima, che faranno scopo della trattazione del presente capitolo. -

L'azione deflatrice del vento si esercita in modo molto diverso, secondo la maggior o minore velocità del vento. Consideriamo dapprima il caso di un vento impetuoso: la velocità che lo anima è certamente superiore a quella che sarebbe necessario a

trasportare i più grossi tra i granelli
lini di sabbia; ne viene che a poco a
poco interi stratinelli vengono asportati.
Ciò non può avvenire però se la sabbia,
in luogo di esser omogenea, sia cosparsa
di ciottoli, conchiglie o altri corpi troppo
pesanti: in questo caso il vento deve
limitarsi a spostar via tutta la sabbia
che si trova attorno all'ostacolo il qua-
le lentamente viene a trovarsi isolato
alla sommità di un piccolo pilastro,
quasi si trattasse di una minuscola pi-
ramide di terra. Questo curioso fenomeno
si rincontra di frequente durante l'inver-
no, stagione nella quale i venti raggiun-
gono le massime velocità, e talvolta
non è vero il caso di trovare di questi
pilastri che abbiano alcuni centimetri
di altezza.

529 Il fatto ora descritto mette in luce *Crespe coliche*
l'azione di trasporto dei materiali disgre-
gati che avviene per opera dei venti più
energici; anche i venti di scarsa velocità
però possono contribuire a questo scopo.
Consideriamo infatti uno strato d'aria

in movimento sopra una superficie sabbiosa; secondo il principio di De Candolle già altrove esposto (pg 35), devono formarsi nella sabbia sottostante, delle onde solide, fatto che infatti si osserva regolarmente. Nel caso delle crespe marine però le onde solide erano generate da un movimento oscillatorio, nel caso presente il movimento non si può considerare che come intermittente. Infatti è noto ⁽¹⁾ che la velocità del vento è notevolmente e bruscamente variabile da punto a punto; questa condizione è sufficiente per dar luogo a delle crespe che chiamerò oliche le quali, pur avendo molte analogie con le crespe marine, non possono esser paragonate in tutto a queste, mentre hanno molta affinità di origine col le crespe di fiume (current mark). Le crespe oliche p. e. non presentano l'oscillazione propria delle crespe marine, e questo carattere distintivo trova la propria spiegazione nella differenza stessa dell'origine. Abbiamo visto infatti che per dar

(1).- Cfr. Lokolow -- Die Dünen. pg 13.
Berlin 1894.

luogo alla formazione di cresse marine, è necessario un movimento tale che una particella considerata, dopo un'oscillazione ritorni nella posizione occupata all'inizio dell'oscillazione stessa. In tal modo, alternativamente nell'uno e nell'altro versante della cresta, vengono a stabilirsi dei vortici, l'azione dei quali si equilibra a vicenda, dando, per risultato finale, una pendenza eguale ad entrambi i versanti. Questo stato di cose evidentemente non si può avere nel caso di cresse eoliche, poiché il movimento che le ha generate non è oscillatorio: non potranno stabilirsi vortici che in un solo versante e cioè in quello a sottovento,⁽¹⁾ quindi i due pendii, trovandosi sotto l'azione di movimenti d'aria di diversa intensità, saranno disugualmente inclinati sull'orizzonte.

Passiamo ora a vedere come la presenza delle cresse eoliche indichi un trasporto di sabbia operato dal vento. È facile constatare che sul dorso della cresta esiste un continuo spostamento di gra-

(1) Fr Cornish. V On the formation... op. cit. pg 281

nellini di sabbia, che si effettua nella stessa direzione del vento. Questo spostamento implica un movimento di tutta la cresta, la quale "si propaga", con velocità relativamente grande. Ad esempio ho trovato una volta che una cresta eolica percorse una distanza di 10 cm. in 7'.

Anche la formazione delle creste è quindi segno di un'azione traslatrice della sabbia operata dal vento, ma è segno anche di una minor velocità del vento stesso. Infatti Cornish⁽¹⁾ ha provato che la possibilità della formazione delle creste eoliche è legata a una differenza nelle dimensioni dei granellini che compongono la sabbia. Un vento di velocità media o piccola può sollevare solo i granellini più leggeri, mentre i più pesanti vengono solamente rotolati ed ammucchiati. Questa legge fu dimostrata dal citato autore con esperienze artificiali, ma d'altra parte si comprende facilmente che se i grani

(1). - Cornish V. - On the formation of s. d. op. cit.
pg 280 segg.

fossero tutti di una sola dimensione, si verrebbe a ricadere nel caso prima descritto, nel quale interi straterelli di sabbia vengono asportati, oppure non si avrebbe movimento alcuno di materiali.

I fenomeni descritti finora possono essere causati da qualunque vento di sufficiente velocità, ma vengono presto cancellati da un vento successivo di diversa direzione.

Ma la deflazione e l'accumulazione della sabbia possono dar luogo a formazioni molto più cospicue, quando il vento che le opera si distingue per costanza, velocità e frequenza, dagli altri.

§ 30 Due venti ⁽¹⁾ principalmente si contrastano I Venti. il dominio nella zona costiera della provincia di Venezia: il NE e il SE. Tutti gli altri sono di gran lunga subordinati, segnatamente quelli del III° e del IV° quadrante. I venti del I° quadrante, specialmente il

(1).- Queste notizie sui venti sono desunte dai dati anemometrici raccolti nell'Osservatorio Patriarcale di Venezia. Colgo l'occasione per ringraziare il Direttore Rev. Prof. Haenning O'Carroll, per avermi fornito tutte le indicazioni necessarie

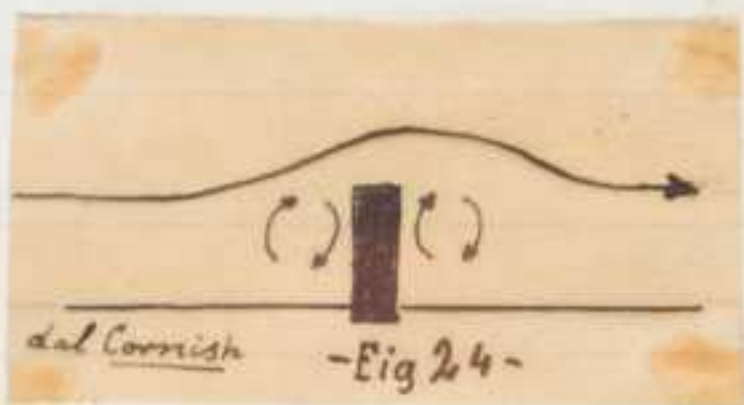
NE, sono molto frequenti nella stagione invernale, raggiungono spesso notevoli velocità e sono dotate di una certa costanza, poiché possono durare con continuità anche per un'intera settimana di seguito. Nella stagione estiva predominano i venti del II° quadrante, specialmente il SE. Quest'ultimo però non raggiunge che di rado le velocità a cui comunemente arriva il NE, ed è singolarmente incostante, essendo normale il caso che spiri solo per alcune ore del giorno.

Questo diverso comportamento dei due venti predominanti non può non produrre il suo effetto nell'intensità della deflazione e dell'accumulazione, quando anche si consideri che durante l'estate la sabbia è molto più fissata dalla vegetazione che non nell'inverno.

§31 Un ostacolo anche tenue rappresenta un impedimento al libero proseguire del vento, il quale avrà diminuita la propria velocità. In conseguenza di questa diminuzione, la sabbia trasportata in sospensione dovrà almeno parzialmente accumularsi. Il Cornish⁽¹⁾ ha già studiato minutamente

(1). Cornish V. - On the formation of sand. d. op. cit. pg 298 seg.

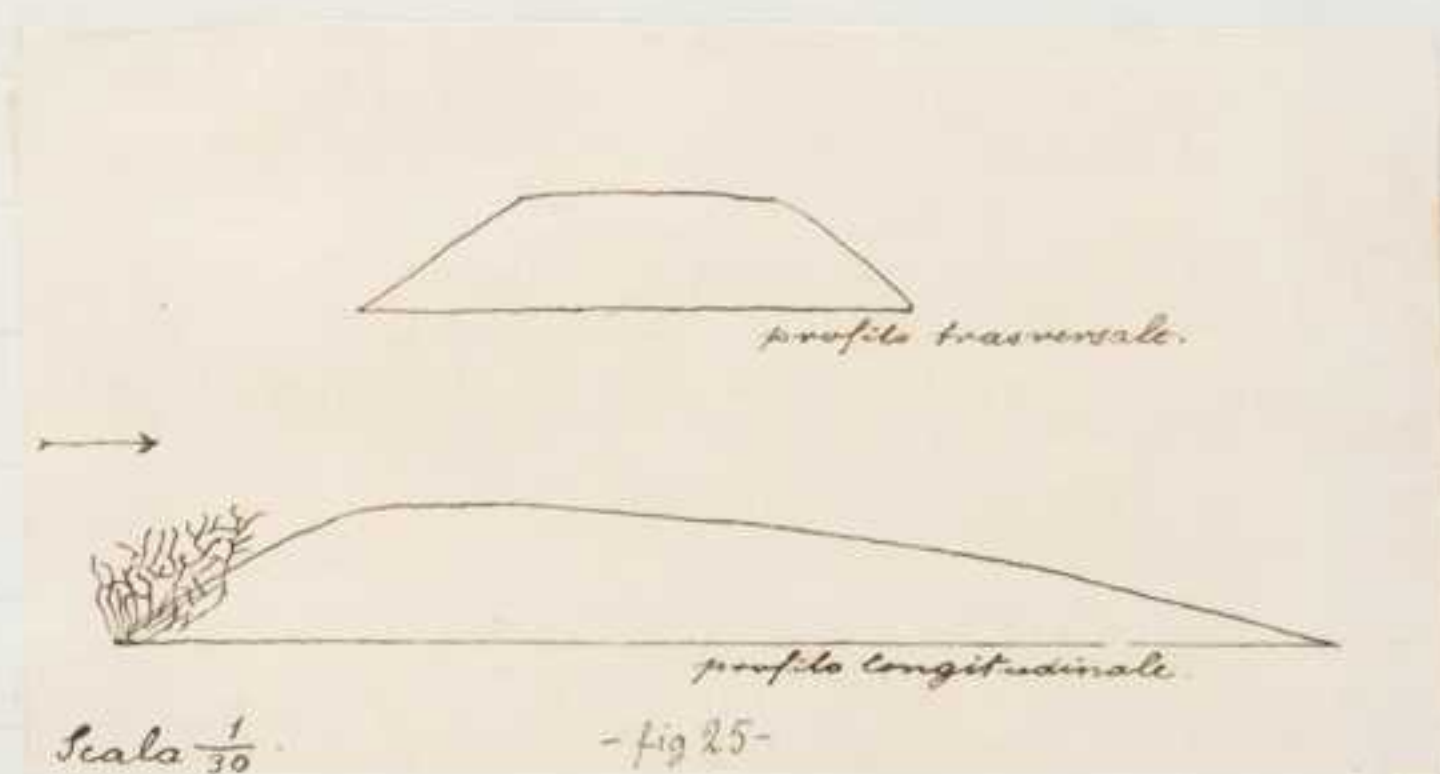
l'azione degli ostacoli e venne alla notevole
conchiusione che, quando la sabbia è minu-
ta e il vento di velocità rilevante, i depositi
si formano sottovento, quando la sabbia
è grossolana, si formano davanti agli
ostacoli. L'autore spiega questo fatto



facendo intervenire
l'azione dei vortici
che vengono a formarsi
davanti e dietro l'ostacolo (fig 24). Egli
ammette che il vortice che si stabilisce dal-
la parte del vento in seguito all'imme-
diato unto della corrente aerea, ha intensità
molto maggiore dell'altro, che si trova a
sottovento. Quindi, se la sabbia è sottile,
o se il vento è molto veloce, davanti l'osta-
colo non possono formarsi depositi.

La sabbia del lido generalmente è sottile:
ci si dovrebbe dunque attendere l'accumu-
lo dei materiali dietro agli ostacoli, il che
avviene di fatto normalmente ma non
esclusivamente. È probabile che, in questo
caso, avvenga quasi una selezione di
materiali secondo le dimensioni, in
modo che i più grossi rimangono davanti,

i più leggeri vengono portati dietro l'ostacolo. Tra i depositi che si formano dietro agli ostacoli, notevoli sono quelli che si sono generati per la presenza di ciuffi di piante. Essi hanno la forma di piccole colline, (fig 25) alte circa mezzo metro, raramente più, lunghe alcuni metri: si possono

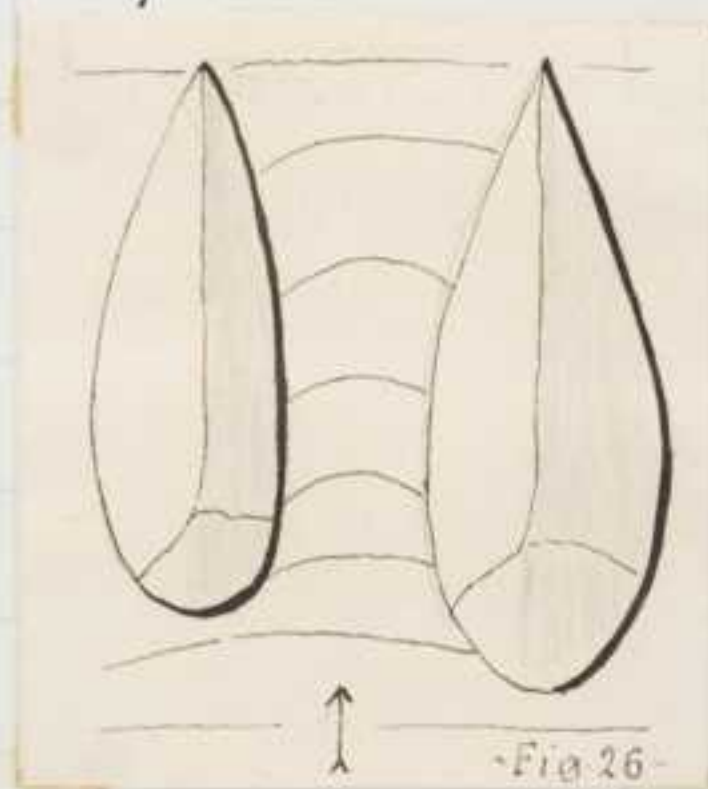


considerare come piccole dune d'ostacolo formate dietro al ciuffo d'erba e le chiamerò dune a lingua, che mi sembra la traduzione migliore del termine « zungehügel » usato nell'edizione tedesca della monografia di Sokolow⁽¹⁾ sulle dune. Questo autore riferisce che la presenza di queste lingue è normale nelle coste dei mari del Nord; esse sono frequentissime anche in molti

(1) Sokolow N.A. - op. cit. pag 63 segg.

tratti del lido e raggiungono, come si è visto, dimensioni ragguardevoli.

Esse sono ravvicinate l'una all'altra; il profilo longitudinale è ripido dalla parte del vento dolce dall'altra parte; il profilo trasversale, come è quello riportato nella figura, è spesso troncato ai lati, certo per effetto del vento che s'ingolfa nei canali che decorrono tra cumulo e cumulo; un'altra prova di questo fatto è data dalla forma delle creste eoliche nell'interno di questi canali: esse sono fortemente conca-

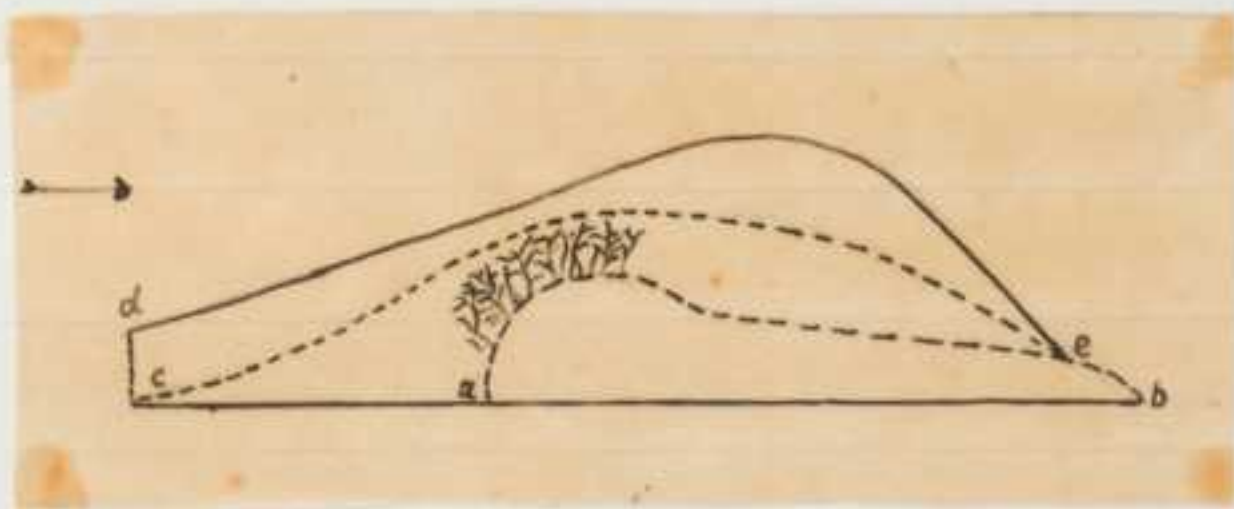


ve dalla parte del vento (fig. 26). Le riportate osservazioni permettono la ricostruzione del fenomeno fin dalla sua origine.

Un vento, certamente energico e duraturo, genera depositi di sabbia dietro ai ciuffi d'erba; questi depositi crescono nel senso medesimo della direzione del vento, poiché, per la sua stessa velocità, questo impedisce l'aumento in direzione normale alla propria. In tal modo l'accumulo acquista la forma

di una lingua, coll'asse maggiore disposto secondo la direzione del vento. Queste dune a lingua sono generalmente formate dai venti di NE, ma ne ho osservate anche di quelle dovute a un vento di SE.

Sokolow⁽¹⁾ venne all'importante conclusione che queste lingue di sabbia possono servire di nucleo per la formazione di dune aventi dimensioni maggiori. La figura riportata qui sotto, che è presa appunto dal lavoro di quell'autore, dà un'idea esatta dell'andamento del fenomeno.



dal Sokolow

- Fig 27 -

Come si vede, la lingua di sabbia a b ha il profilo ripido verso vento e dolce sottoven-
to e a poco a poco si sparge, per gradi di
passaggio, alla duna d e a profilo re-
golare, cui dolce dalla parte del vento e

(1).- Sokolow N.A. op. cit. pg 73 fig 4

ripido dall'altra.

932 Fenomeni analoghi riscontrato avvenire *Dune degli Alberoni*

anche al lido e specialmente in quel lembo di spiaggia che si stende davanti il Forte degli Alberoni, dove si trovano le più belle e meglio conformate dune di tutta la regione presa in esame. Di queste è necessario dare una descrizione dettagliata.

Noi possiamo dividere queste dune in tre zone, che decorrono nello stesso senso della lunghezza del litorale. Quella vicina al mare è composta da piccole dune a lingua, disposte in più serie longitudinali, e tutte dirette coll'asse da NE a SW.

La seconda zona è formata da dune di dimensioni, per la nostra regione, notevoli, separate tra loro da veri « couloir », stretti e profondi passaggi nei quali la traccia dell'erosione del vento è evidente.

(fig 28). Queste dune hanno talvolta un profilo, il cui andamento mi meravigliò dapprima: se ne incontrano infatti alcune con un profilo regolare, ripido sottovento e dolce dall'altra parte, ma ve ne sono anche con un profilo decisamente inverso (fig 29)



NE
↙

Fig 28-

Alberoni
2. 1. 910



NE
↙

Fig 29.

Alberoni
2. 1. 910

FAB



Fig 30 Alberoni. 2. I. 910

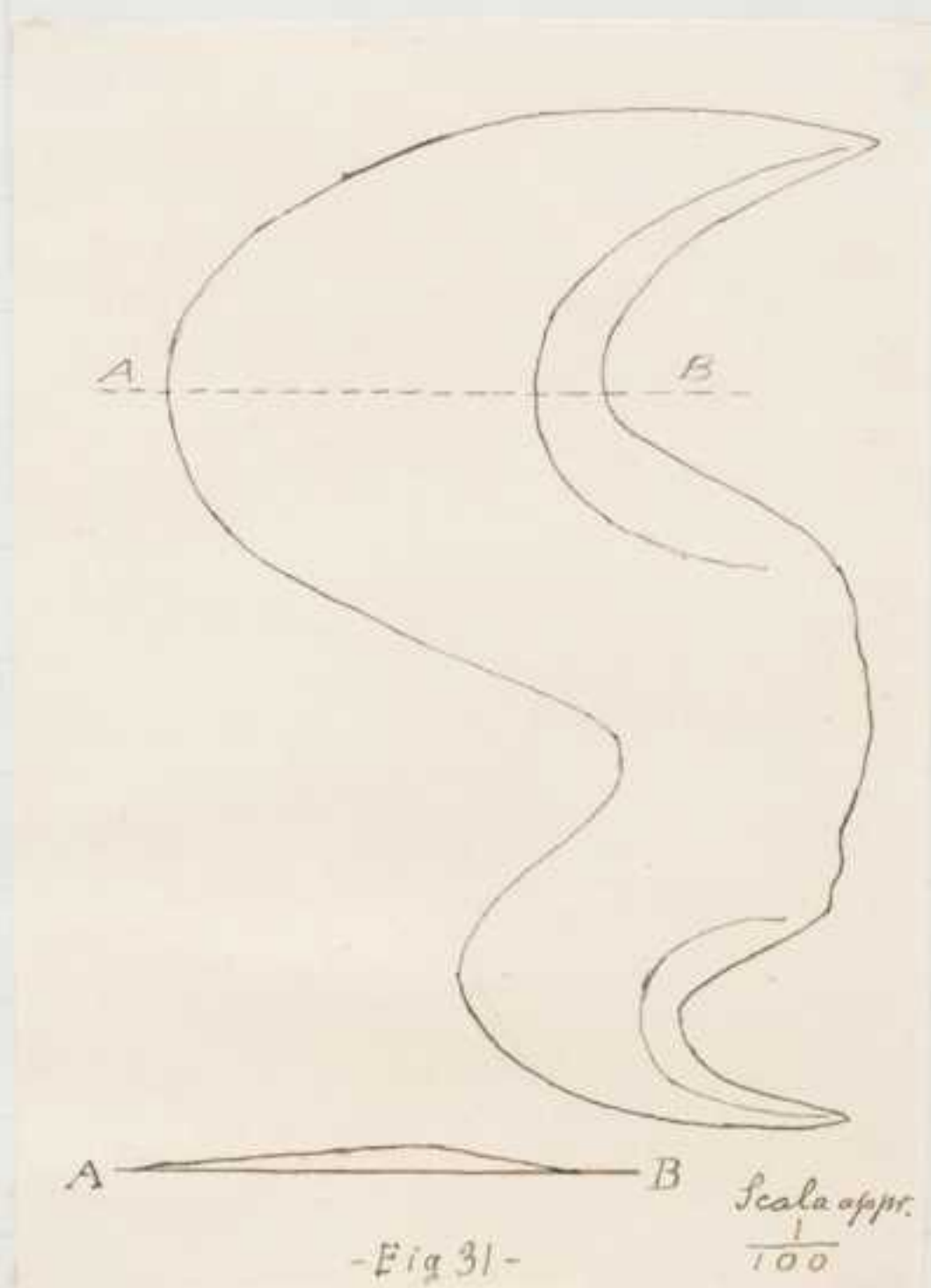
Nella fig 30 la duna che si trova nello sfondo è quasi simmetrica, quella che si trova a destra, nel davanti, è a profilo normale. Queste notevoli diversità di profilo mi sembra possano venir spiegate interpretando queste dune come dune d'orlo formato per la presenza di lingue di sabbia, delle quali talvolta hanno conservato l'aspetto, che talvolta, per un processo simile a quello descritto dal Lokolow, è andato scomparendo. La terza zona di dune degli Alberoni è composta da monticelli di sabbia già completamente ricoperti da vegetazione. Gli spazi tra duna e duna sono stati da lungo tempo ricolmati da detriti, in modo

che il profilo iniziale delle dune è irriconoscibile. Certamente l'origine di queste è molto più antica di quelle della seconda zona.

933 Tutte le dune che si trovano agli Alheroni si possono considerare come dune di ostacolo, poiché anche quelle della zona più interna sono, con ogni probabilità, derivate da dune simili a quelle della zona vicina. Questo tipo di dune è il più frequente nel lido, ma non è a dire che sia l'unico rappresentato. Un deposito di sabbia può avvenire anche indipendentemente dalla presenza di ostacoli: in questo caso la forma tipica di accumulo è il barcano.⁽¹⁾ Non è raro riscontrare al lido, specialmente durante l'inverno, delle piccole dune che, nella loro proiezione orizzontale, alquanto ricordano i tipici barcani. La fig 31 mostra appunto due di questi barcani, uniti per le estremità. Essi hanno un'estensione relativamente notevole, ma sono pochissimo

(1) Gornish V. On the formation... op cit pg 290

elevati dal terreno.



Più frequentemente s'incontrano delle dune molto allungate trasversalmente, che talvolta raggiungono alcune decine di metri di lunghezza. Si può facilmente persuadersi che hanno avuto origine dall'unione di

piccoli bancani, similmente a quanto avviene, secondo il Cornish, per le dune trasversali dei deserti. Notevolissima è poi la somiglianza che queste dune del lido presentano colle cresse eoliche. Anch'esse infatti si trovano disposte una dopo l'altra a distanze presso a poco eguali; tutte hanno a un dipresso la stessa altezza, e la relativa inclinazione dei pendii è sempre la medesima. Come ^{nei} i movimenti generati dall'acqua, anche il vento dà luogo a formazioni di dimensioni molto diverse, sempre secondo le

stesse leggi: queste dune non si sono formate probabilmente per azione di ostacoli ma bensì per le stesse cause che hanno generato le creste eoliche. Si tratta anche qui di un caso speciale del principio di Le Candolle e queste dune, che decorrono normalmente alla direzione del vento, sono da considerarsi come onde solide, alla stessa stregua delle formazioni più minute in precedenza considerate.

§ 34 Veniamo ora a considerare le dune del lido di Venezia nel loro insieme. Ad esse sono proprie due particolarità: sono immobili e sono generate costantemente dai venti di NE.

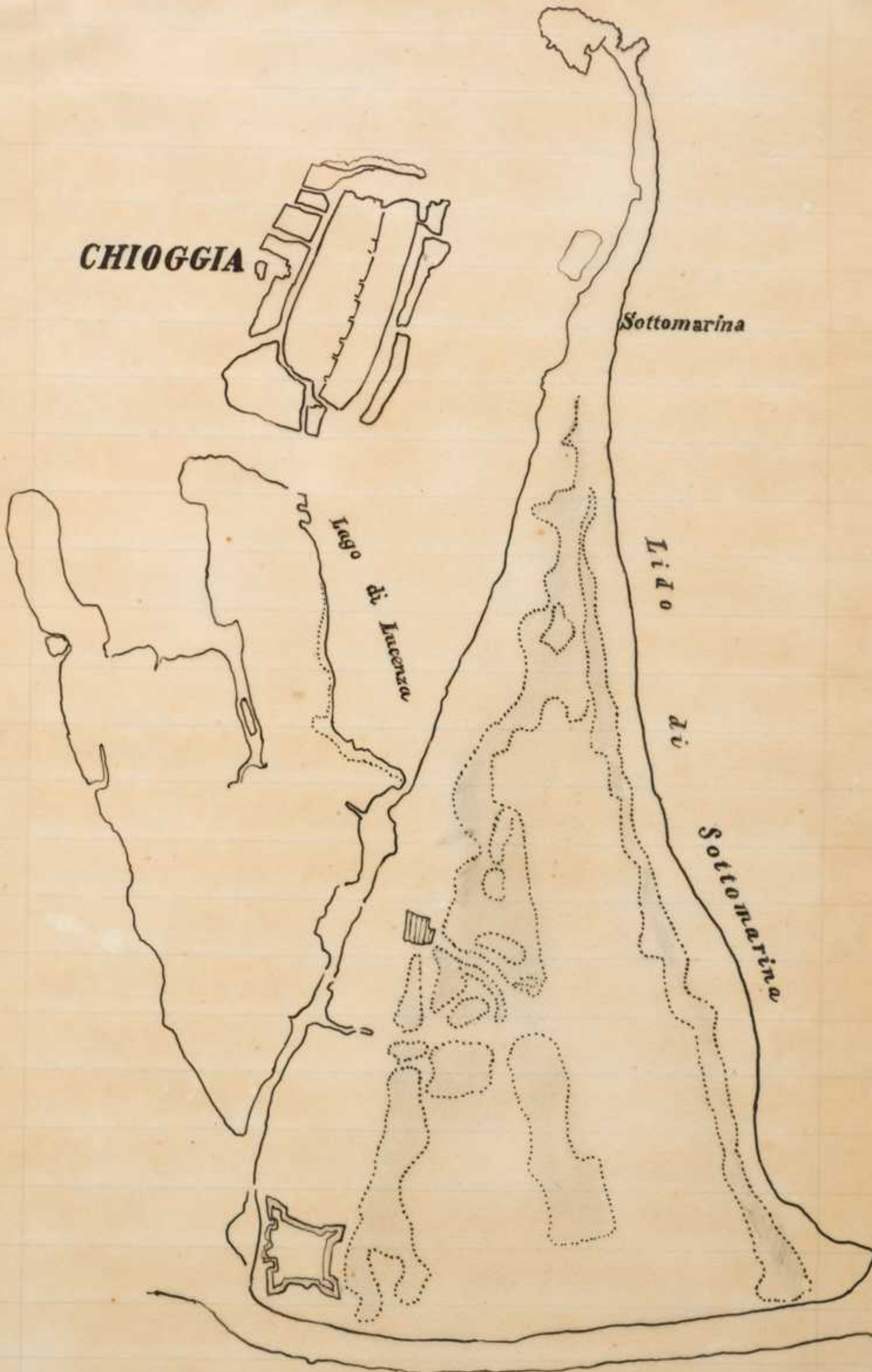
Le dune del lido nel loro insieme

L'umidità della regione presa in esame è sempre notevole: ciò facilita assai lo svilupparsi di erbe ed arbusti sopra le dune; con tale processo queste vengono ben presto fissate, in modo che qualunque movimento risulta impossibile; si tratta quindi quasi sempre di dune immobili, come sarebbe d'altra parte da attendersi da dune di ostacolo. L'esame inoltre delle dune di molte località del lido mi ha fatto entrare nella convinzione

che solo il vento di NE è capace di dar luogo a formazioni eoliche di una certa importanza

za
Questi due fatti danno spiegazione della forma e della posizione di tutte le dune del Lido. Esse infatti sono sempre rivolte da NE a SW, segno che il vento che le ha formate proviene da NE: in alcune località, come ai Inciperti, il NE è un vento di terra, e le dune presentano la notevole anomalia di esser dirette da terra verso mare anziché viceversa, come accade nella generalità dei casi. Al litorale di Sottomarina invece noi troviamo tre cordoni di dune paralleli tra loro e alla spiaggia (fig. 32) Una prima idea che può venire in mente è quella di considerare i due cordoni più interni come formatisi lungo la spiaggia attuale e trasmigrati in seguito verso terra, similmente a quanto è noto avvenire nelle spiagge del Baltico. Un esame più attento dimostrò che questa supposizione è impossibile. Infatti tutte le dune che compongono i cordoni sono dirette da NE a SW, quindi non si può ammettere

Cosa intendi per dirette?



CHIOGGIA

Sottomarina

Lago di Lucera

Lido di

Sottomarina

Scala 1
25.000

Fig 32

che si spostino in direzione normale alla costa e cioè da E a W. Poi anche il cordone più recente è già completamente fissato da vegetazioni, i due più antichi sono appena riconoscibili sotto un fitto manto di erbe e di arbusti: dobbiamo quindi ammettere che, anche per questa ragione, un movimento di dune sia da escludere e che si tratti invece di dune ^{successivamente} formatesi in seguito a una variazione nella linea di spiaggia.

Riassumendo i caratteri principali delle dune del Lido, dirò che hanno, nella maggioranza dei casi, l'aspetto di dune d'ostacolo, sono immobili e sono generate esclusivamente dai venti del 1° quadrante; non raggiungono mai grandi altezze ma, venendo fissate molto presto dalla vegetazione, contribuiscono in modo notevolissimo alla stabilità del Lido, formando quasi una diga che impedisce l'invasione delle acque marine nella Laguna.

Parte III^a

La morfologia attuale del Lido e le sue origini.

§ 35 Nella parte I^a ho trattato dei materiali che costituiscono il lido e nella seconda dei diversi fenomeni che vi avvengono per opera dei movimenti dell'acqua e dell'aria. La differente distribuzione dei materiali però, avvenuta in obbedienza a questi movimenti attende ancora un'illustrazione. Infatti, coll'azione costante ed energica dell'aria e dell'acqua, il lido ha subito modificazioni morfologiche rilevanti e sarà scopo dei capitoli seguenti valutarne la portata. Questi studi potranno guidarci a ricostruire la forma primitiva del lido stesso e, mostrandoci gli agenti che più hanno contribuito al suo sviluppo, potranno farci intravedere le sue probabili origini, scopo principale delle ricerche intraprese.

Cominciamo col considerare le variazioni che sono avvenute nella posizione geografica del lido. È fenomeno raro, che s'incontra

*Il litorale del
Cavallino.*

solo nelle grandi lagune, la presenza di più cordoni litorali paralleli, dei quali il più esterno è sempre il più recente. L'esempio classico è quello delle celebri lagune di Aigues mortes, dove sono presenti, molto ben conservati, quattro cordoni litorali (1).

Però il fatto dello stabilirsi di un cordone litorale davanti ad un altro cordone preesistente, mi sembra che dovrebbe riscontrarsi normalmente in un numero maggiore di lagune, poiché è in relazione col protendersi della spiaggia verso mare per effetto delle alluvioni dei fiumi. Anche le spiagge della regione presa in esame si avanzarono di molto durante le epoche storiche, quindi da questo avanzamento deve esser risultata qualche variazione anche nel lido.

Un fatto che ci colpisce quando osserviamo una carta topografica della Laguna di Venezia è la posizione del litorale di

(1). Martin Ch. Aigues mortes, son passé, son present, son avenir. Rev. de deux mondes. 15^{fev.} 1874.

Cfr. anche - Suess F. La face de la Terre.

Ed. Colin.

S. Erasmo il quale si trova internamente alla linea che unisce il litorale di Malamocco a quello del Cavallino, tanto da poter esser considerato un'isola della laguna piuttosto che una porzione del lido. Il litorale di S. Erasmo non è più nemmeno battuto direttamente dalle onde marine, protetto com'è da un'ampia « secca »; si affaccia quindi subito il problema della sua origine, che deve esser avvenuta quando le condizioni del lido, e specialmente dei due litorali vicini, erano profondamente diverse.

A noi seguiamo una linea parallela alla costa di terraferma, prolungando la curvatura del litorale di S. Erasmo verso **E**, troviamo nel cammino una serie di rilievi, molto allungati nel senso stesso della nostra direzione. Questi rilievi sono generalmente alla quota 1m, ma raggiungono spesso la quota 2m e talvolta anche la quota 3m. Essi sono abitati, appunto perché, essendo sopraelevati non vengono mai invasi dalle maree straordinarie; vi riscontriamo numerosi centri d'abitazione come Dio piccolo, Dio

maggiore, S. Antonino, senza contare altri minori. Queste isole allungate sono circondate da ogni parte da « valli » sempre sommerse, che formano due bacini, uno a N e l'altro a S. Possiamo quindi dire che, in continuazione del litorale di S. Erasmo, esiste una lingua di terreno, interrotta in più punti, che può essere seguita fino all'estremità della laguna.

A S di questa prima serie di rilievi si può constatare la presenza di una seconda, sempre separata dalla precedente da bacini d'acqua relativamente profonda, e sempre evidente per la coltivazione e per aggruppiamenti di abitazioni. Vi riscontriamo le C. Mesole e le C. Falconera e perfino resti di dune che, nella tavoletta al 25000 sono segnate alla quota 2m. Se prolunghiamo questa striscia di terreno, verso W incontriamo sempre il Litorale di S. Erasmo, verso E ci uniamo alla parte più interna della Marina di Cortelazzo. A S di questa seconda serie, se ne può seguire una terza, dove si trovano le C. Zanella, la quale si unisce al litorale del Cavallino, appunto in

vicinanza di questa località. A questa ne succedono altre, separate appena da canali, nelle quali si trova il paese di Treponti. L'ultima di queste, quella che è battuta ancor oggi dal mare è separata dalla precedente dal Canale di Pordelio e da una serie di Stagni (Valle di Fidado), e, come si può dedurre dall'unita carta topografica, è di formazione recentissima. Infatti la linea di spiaggia del sec. XV era molto più a N che attualmente e in un breve volger d'anni l'uomo ha assistito alla formazione di una lingue di terra di estensione considerevole. Ciò mi incoraggia a credere che anche le altre striscie di terreno prima descritte rappresentino quanto ora emerge di antichissimi cordoni litorali. In tal modo la posizione irregolare del litorale di S. Erasmo verrebbe appieno spiegata. Il fatto descritto è in relazione coll'enorme quantità di alluvioni che pervengono in questa regione dalle foci della Piave e del Tagliamento, alluvioni che determinarono un'avanzarsi della linea di spiaggia

che non ha confronto con nessun altro della costa veneta. Consideriamo infatti che in continuazione del primo supposto cordone litorale, dove ora si trovano le Paludi dei Sette Casoni, fiorirono importanti città marinare, come Eraclea e Cittanova, e in continuazione del secondo giacciono ancor oggi le rovine di Tesolo, altro notevole emporio. Non è dunque da stupirsi se solo in questa estremità della laguna si formarono parecchi cordoni litorali successivi, mentre nel centro di essa si ebbero fenomeni affatto contrari.

936 Fenomeni simili a quelli che si verificarono all'estremità N del Lido, si ebbero anche all'estremità opposta. In prossimità a questa sfociava, in tempi certamente non molto remoti, l'Adige e poi in tempi moderni vi fu portata la Brenta. Questi fiumi sono ricchissimi di alluvioni: dovremo quindi aspettarci una morfologia simile a quella constatata per la laguna dei Treporti. Consideriamo infatti il litorale di Sotto-

marina. Come si deduce dall'annessa carta topografica, l'area di questo ardo' notevolmente aumentando negli ultimi tre secoli. La linea di costa primitiva è ancora manifesta e facilmente seguibile anche sul terreno da un cordone di dune, la cui presenza indica senza dubbio l'immediata prossimità della spiaggia. Un altro cordone di dune, più esterno segna l'andamento della linea di costa in una fase d'avanzamento intermedia (V. fig 32 pag 114)

All'estremità meridionale del lido, pur non potendosi parlare con sicurezza della presenza di cordoni litorali paralleli, constatiamo in ogni caso ~~ad~~ un notevole aumento in estensione, quindi una sovrabondanza di materiali detritici. Nella zona centrale del lido invece assistiamo al fenomeno opposto. Lungo tutto il litorale di Pellestrina si può dire che le sabbie sono con insufficienti, che non è possibile nemmeno la formazione di una spiaggia.

937 Questo fatto trova la propria spiegazione nelle leggi di distribuzione dei materiali clastici lungo il Lido.

Litorale di
Pellestrina.

Distribuzione dei
materiali nel Lido.

Rispetto alla distribuzione dei materiali secondo la provenienza, il lido si può dividere in tre zone: nella prima, che dall'estremità settentrionale si spinge fino al P.^{to} di Malamocco abbiamo il predominio delle sabbie di Piave, nella seconda che arriva fino a Sottomarina la sabbia giunge in piccola quantità, formandone presso la riva, per un'azione selettiva operata dai frangenti, solo depositi di frammenti di conchiglie, nella terza abbiamo il predominio delle sabbie dell'Adige e della Brenta. Contemporaneamente osserviamo che la larghezza del lido è molto più grande alle due estremità che non nella parte centrale. Questi due fatti sono certamente legati tra loro: consideriamo infatti come avviene la distribuzione dei materiali. Anticamente, gli idraulici della Veneta Repubblica ricorsero spesso e volentieri, onde spiegare gli insabbiamenti di alcune regioni del Lido, all'azione di trasporto esercitata dalla corrente litoranea. Intorno alla natura di questa corrente, che dovrebbe percorrere il litorale veneto

da N a S, molto si è scritto e discusso ⁽¹⁾.
 Recentemente però, in base a nuove osser-
 vazioni e misure si è venuti alla conclu-
 sione che la corrente litorale ha un'azio-
 ne di trasporto minimo ⁽²⁾, ma per la sua
 scarsa velocità, ma perchè fluisce a una
 distanza sempre rilevante dalla costa (da
 8 a 10 Km). Ora i fenomeni di cui noi si
 parla avvengono proprio in immediata
 vicinanza della spiaggia; dobbiamo quin-
 di ammettere che il trasporto di materia-
 li è esercitato o dalle onde infrante, con
 un movimento a zig-zag lungo la linea
 di battigia, o dai flutti di fondo, o infine
 da vere correnti effimere di deriva, mosse
 dai venti più impetuosi. Tutti questi
 movimenti variano di direzione secondo
 il variare del vento: rimane così spiegato

(1). O. Marinelli e Platania G. - Sulla corrente lito-
 rale del Mediterraneo. Mem. Geogr. A. 5. 1908

(2) Rühl A. B. z. Kennt. d. morphologischen Wirksamkeit
 der Meeres Strömungen. - V. d. Institut f. Meereskunde 1906

Marinelli O. Sull'azione morfologica delle correnti
 litorali nel Mediterraneo. Riv. Geogr. 3. 1909.

il cammino di materiali d'Adige, avvenuto da S verso N e dei materiali di Piave, avvenuto nel senso opposto. Nel primo caso, possiamo ammettere che i venti dominanti sieno quelli del II quadrante, nel secondo caso, quelli del I. Possiamo quindi per ora concludere che lungo le rive del Lido si verificano dei movimenti d'acqua, ora da N a S, ora da S a N, secondo la direzione del vento dominante. Che realmente lungo di esso Lido non si abbia a che fare con una sola corrente, fu provato, già da lungo tempo dall'ing. Casoni.⁽¹⁾ Questi scoprì l'esistenza di una contro corrente, in prossimità della spiaggia, energica specialmente nei mesi caldi (nei quali predomina il vento di SE), la quale giunge dalle foci del Po fino a Malamocco. Probabilmente si tratta di un movimento di deriva dovuto appunto a quel vento, ma in ogni caso la sua presenza è un'ottima prova di quanto ho detto finora.

I materiali che per opera dei movimenti dell'acqua, vengono trasportati dalle foci dei fiumi, si depositano in prevalenza nelle vicinanze di queste: quindi nella zona centrale del Lido non giungono a sufficienza le alluvioni. Ecco dunque la ragione dell'inequale distribuzione di materiali, per la quale nelle due zone estreme si ebbe un eccesso di alluvione, nella zona

Credo che anche le correnti dei porti abbiano la loro parte nel determinare le zone di accumulazione di sabbie.

(1) Casoni G. Sopra una contro corrente marina che si osserva lungo una parte dei lidi veneti. 1843.

centrale un difetto di materiali ha permesso che l'abrasione marina distrugga il litorale, tanto da render necessaria la costruzione dei "murazzi" -

938 Prima di vedere a quali conclusioni ci possa portare lo studio morfologico del lido intorno all'origine di questo, esaminiamo quali teorie sino state sostenute, onde spiegarne la formazione dei cordoni litorali. Alcune teorie sull'origine dei cordoni litorali.

Di speciale interesse, perche' considera appunto la nostra regione, e' la teoria di Reyer⁽¹⁾ la quale riassumerò colle stesse parole del suo autore:

"Una riga d'isole deve essersi formata già al tempo dei Romani; essa andava da Venezia, per Chioggia, fino a Comacino. Questa serie di isole formò, coll'andar del tempo un'anticosta ininterrotta, il cui antico decorso può esser seguito anche oggi sul terreno, attraverso il Delta padano..... Poi seguì l'interrimento di parti di mare e laguna che stavano in mezzo, e già nel 15° secolo furono alluvionate ampie regioni che si trovavano internamente all'antico lido. » -

(1). Reyer E. - Aenderungen der ven. und toskan. alluvialgebiete. - Zeit. der gesellsch. fur Erdkunde 1882.

La presente teoria non è sufficiente per spiega-
 re l'origine del Lido, anzi, per esser più pre-
 cisi, non la spiega affatto. Il Reyer sostitui-
 sce al problema della formazione del Lido
 quello della serie di isole: mi sembra che con
 questa supposizione il problema venga spo-
 stato e non risolto. Ciò non ostante in questa
 teoria restano altri punti oscuri. Se io ho
 ben compreso, l'autore ammette la formazio-
 ne originaria di una grande Laguna che
 decorreva dalle foci della Piave fino a Comac-
 chio e Ravenna. Ciò è in aperta contraddizio-
 ne con quanto affermo il nostro Lombardini,⁽¹⁾
 esser cioè la Laguna di Comacchio la trasfor-
 mazione idrografica di un antico delta
 padano e non esser punto paragonabile,
 per origine, alla Laguna di Venezia.
 Un'altra teoria, ben singolare, è quella esposta
 già da lungo tempo dal Cossigny.⁽²⁾
 Ecco, in breve, le idee di questo autore sull'origine

(1).- Lombardini L. - Studi idrologici e storici
 sopra il grande estuario adriatico. Milano 1868

(2).- Cossigny M. - Sur la corrélation qui existe
 entre les oscillations du sol et la configuration
 des côtes de la mer. Bull. Soc. Géol. France, 1875.

dei cordoni litorali:

Supponiamo che le onde, cariche di materiale in sospensione, si propaghino sopra un fondo insufficientemente profondo. A una certa distanza dalla riva dovrà avvenire il deposito dei materiali trasportati dalle onde, poiché, per la poca profondità queste hanno perduta buona parte della loro forza; si formerà quindi un banco il quale presto verrà ad emergere. Ora supponiamo che il suolo, per un movimento bradisismico, venga progressivamente alzandosi; evidentemente il punto dove avviene l'accumulo di materiali, si allontana sempre più dalla riva. In tal modo il banco viene a crescere per continui depositi dalla parte di mare e acquista in breve l'aspetto di un cordone litorale. Questa teoria, come del resto ha giustamente rilevato il Reyer, è in contraddizione col fatto, già da lungo tempo asserito, del generale sprofondamento delle pianure di origine alluvionale. Questo sprofondamento è la conseguenza dell'arrestamento dei materiali incoerenti che formano tali pianure, quantunque sia probabile che riprendano

e della coesione

parte anche cause d'indole tettonica; numerose prove rendono poi indiscusso che anche la pianura veneta non si sottrae dalla legge generale.

Secondo molti autori ⁽¹⁾, i cordoni litorali sono dei banchi i quali hanno raggiunto considerevoli dimensioni. Mi sembra però difficile ammettere questa ricostruzione così semplice, poiché questo banco dovrebbe essersi formato a decine di chilometri dalla costa primitiva. Certamente il lido si può considerare - dal lato morfologico - come un banco, ma la sua origine deve esser stata molto più complessa.

Il Cornish ⁽²⁾ attribuisce l'origine di estesi cordoni litorali, che si trovano nelle coste della Carolina, a un movimento vibratorio dell'acqua del mare presso la riva. Ho già parlato altrove di questa ipotesi (pag 92) nè mi sembra ora opportuno rinnovare la discussione: farò solo rilevare che, essendo

(1). Girard J. - L'évolution comparée des sables.

Paris 1903.

(2) Cornish V. On sea beaches *op. cit.*

fondata su principi d'indole molto teorica e di applicabilità pratica molto discussa, non può essere con successo presa in considerazione, onde spiegare la formazione del lido di Venezia.

639. Non è possibile, a mio avviso, poter dare Conclusioni. una teoria generale sull'origine dei cordoni litorali, poiché tali rilievi sono generati da un complesso di cause che variano da località a località: mi limiterò quindi a dedurre quelle poche conclusioni, che mi sembra risultino direttamente da quanto fu detto finora, sperando di giungere a qualche spiegazione plausibile.

Abbiamo visto che la distribuzione dei materiali alluvionali, che compongono il Lido, non è avvenuta con regolarità e omogeneità, ma anzi molto inegualmente da zona a zona. Ciò è spiegato dal fatto che detta distribuzione non si è compiuta per opera di una corrente unica d'intensità e di direzione costanti, ma di due movimenti, diretti in senso con-
trario, i quali, essendo in relazione coll'alter

narsi nel predominio, dei venti del I° e del II° quadrante, sono di carattere effimero.

Questa condizione di cose determinò un'accrescimento irregolare del Lido, che, mentre subì un considerevole aumento nella zona settentrionale e nella meridionale, rimase molto sottile nella centrale.

Abbiamo inoltre provato che alla formazione del Lido concorsero solo materiali provenienti da quei fiumi che sboccano direttamente in mare e non in Laguna: infatti l'Adige e la Piave sfociano in mare, e quanto alla Brenta, essa portò il proprio contributo di alluvioni solo dopo la sua disalveazione e immisione nella conca di Brondolo.

Il Lido quindi non è una barra. Questa rappresenta un deposito formatosi, a qualche distanza dalla foce di un fiume, in seguito all'urto della corrente fluviale con le correnti marine, o colle onde stesse; nel nostro caso invece i materiali alluvionali furono gettati dai fiumi in mare, dove vennero ben presto in balia delle correnti di deriva, seconda la direzione delle quali furono trasportati o verso N

o verso S. Ma a poco a poco si deposita-
 rono, sia per un diminuire di velocità
 del movimento dell'acqua, sia per la na-
 turale precipitazione dei materiali disgre-
 gati, che nell'acqua salata si compie più
 velocemente che nella dolce. Da questo
 fatto dovette risultare la formazione di
 due lingue di terra, parallelamente alla
 costa, prima sommerse e poi emerse, una
 di esse, composta di materiali di Adige
 l'altra da materiali di Piave. Questo è
 il concetto che io mi sono fatto sull'origine del
 Lido. I fiumi Piave e Adige, protendendo
 sempre le loro alluvioni, formarono due
 delta, pur lanciando in mare grande quan-
 tità di sabbie. Queste vennero in potere
 del movimento di deriva dominante il quale,
 unitamente ai flutti di fondo, provocò la
 formazione di due punte sabbiose, l'una,
 proveniente dal delta della Piave, diretta
 da NE a SW, l'altra, proveniente dal delta
 dell'Adige, diretta da S a N. Esse ben-
 presto crebbero in larghezza, per il conti-
 nuo sopravvenire di nuove alluvioni, e
 in lunghezza; vennero così ad unirsi, pur

Movimento
 ondoso che
 forma banchi

lasciando qua e là delle interruzioni, cioè delle comunicazioni tra l'aperto mare e quel bacino d'acqua che restò da esse racchiuso

Le varie parti del Lido non sarebbero quindi di formazione contemporanea, ma i depositi più antichi si avrebbero accanto alle foci dell'Adige e della Piave.

Questa ricostruzione obbedisce a un principio d'indole generale, che si può chiamare veramente una legge fondamentale della morfologia delle coste: il mare tende a regolarizzare le spiagge salbrose, a disporre i detriti in modo che ne risulti una linea di costa a curve dolcissime o quasi rettilinea. I fiumi invece hanno la tendenza opposta, cioè spingono continuamente le loro alluvioni verso mare, in modo da generare una linea di spiagge ad andamento irregolare. Dalla reazione che il mare ha opposto all'opera dei fiumi, è derivato il lido. Tra le foci della Piave e dell'Adige si deve esser formata, in tempi remoti, un'insenatura la quale, per il continuo avanzarsi del delta,

andò sempre più accentuandosi fino a che il mare non generò una nuova linea di costa e cioè il Lido. Non per questo però cessò l'aumento del delta dei fiumi, quindi, in prossimità delle loro foci, il Lido crebbe molto presto, per eccesso di alluvioni, formandosi o cordoni litorali paralleli o estesi depositi sabbiosi; nella parte centrale invece, per la distanza dalle foci stesse, i materiali disaggregati giunsero in troppo piccole quantità e ivi il Lido crebbe con grande lentezza o venne addirittura eroso dall'impeto delle mareggiate.

Secondo me dunque si avrebbe avuto nel Lido, come fase iniziale, la formazione di due lingue di sabbia, dirette l'una contro l'altra, cioè, per chiamarle con un termine recentemente introdotto dal Le Martonne, due digues en épi. Secondo questo autore l'origine di tali dighe, che si staccano dalla costa, protendendosi verso mare, come

(1).. Le Martonne E. - Traité de Géographie physique.

Fac. IV pg 677. Colin. Paris. 1880

avviene per gli Haken del Baltico, si può spiegare nel modo seguente: i materiali solidi non possono più esser trasportati dalle correnti, quando queste vengono ad urtare contro un ostacolo, o devono girare attorno una punta; allora essi si depositano al fondo, secondo una linea presso a poco retta, formando una specie di banco, che presto emergerà sopra il livello marino. Nel nostro caso l'ostacolo è rappresentato appunto dal delta del fiume, e la corrente di deriva, passandovi accanto, deve necessariamente arricchirsi di materiali in sospensione, tanto che una diminuzione anche piccola di velocità della corrente stessa determina un accumulo sensibile ed immediato. Questo fatto, dell'accumulo cioè dei materiali, dovuto a una diminuzione di velocità delle correnti per la presenza di un ostacolo, venne per la prima volta messo in luce da Penck⁽¹⁾, onde spiegare l'origine degli Haken e delle Nehrung del Baltico, formazioni che

(1) Penck A. Morphologie der Erdoberfläche
2. t. Stuttgart 1894. pg 484

hanno tanta affinità morfologica col Lido della Laguna di Venezia. Secondo questo autore, dove la costa fa un angolo brusco, si forma dapprima un Haken, il quale poi, per progressivo aumento si unisce a un altro punto della costa, dando luogo a una *Nehrung*.

Il presente fenomeno si sarebbe verificato al Lido in due punti, e più precisamente accanto alle foci della Piave e dell'Adige.

Le due digues en épi vennero poi ad unirsi, analogamente a quanto avvenne nella classica località di *Jungeness* (Kent), illustrata da *Gulliver*⁽¹⁾. Questo autore dimostrò che in origine, dove ora si trova il promontorio alluvionale di *Jungeness*, doveva esistere una baia, la quale venne ricalmata dalle alluvioni in seguito alla formazione di due dighe, le quali si unirono per l'estremità libera.

Fatti consimili devono essersi però verificati anche in altre località, come nelle coste settentrionali del Mar Nero, e in quelle del Mar d'Azof. Per esempio nel "liman",

(1). *Gulliver* F.P. *Jungeness foreland*. Geogr. Journ. 5:1897.

(con vengono chiamate colà le lagune) del Injistr.⁽¹⁾ sembrano riprodotte le condizioni del lido, quali dovevano essere nel primo periodo di formazione. In obbedienza alle stesse leggi si sono probabilmente generati i tre tomboli dello Stagno di Orbetello⁽²⁾, due dei quali staccandosi dalla costa, vanno a collegarsi col Mte Argentario. Anche in questo caso i movimenti dell'acqua che hanno generato il tombolo settentrionale non possono esser stati diretti nello stesso senso di quelli che hanno generato il tombolo meridionale.

opportuno
riprodurre
la figura

Quantunque l'ipotesi esposta sull'origine del lido sia fondata su un duplice ordine di argomenti: la provenienza dei materiali che lo compongono e il suo aspetto morfologico, e sia stata sostenuta per spiegare l'origine di rilievi molto simili al nostro, pure non posso insistervi ulteriormente. Solo da uno studio completo del lido - studio che per ora è iniziato - potranno derivare conclusioni più sicure

(1). Réclus E.

(2) Fr. Le Martonne E. op. cit. pg 680.

Allegato A. Misure di larghezza e altezza delle cresse.

	L	H	$\frac{L}{H}$	L	H	$\frac{L}{H}$	L	H	$\frac{L}{H}$	L	H	$\frac{L}{H}$	L	H	$\frac{L}{H}$	
mm	75	11	6.82	85	12	7.08	93	15	6.20	90	11	8.18	85	14	6.07	Serie I ^a 21.2.909 Ospizio Marino.
	80	10	8-	75	11	6.82	60	9	6.66	74	10	7.40	85	14	6.07	Media $\frac{L}{H} = 6.80$
	60	9	6.66	85	14	6.07	65	10	6.50	80	14	5.71	100	14	7.14	
	74	10	7.4	90	12	7.50	90	15	6.00	80	10	8.00	80	14	5.71	
mm	90	12	7.5	90	12	7.5	84	10	8.4	80	10	8-	90	10	9-	Serie II ^a 18.3.09. S. Elisabetta.
	95	13	7.31	85	11	7.73	80	11	7.27	78	11	7.09	90	9	10	Media $\frac{L}{H} = 8.16$
	95	13	7.31	85	10	8.5	85	10	8.5	90	10	9-	85	8	10.62	
	90	12	7.5	85	11	7.73	80	11	7.27	90	10	9-				
mm	87	12	7.25	85	11	7.73	90	13	6.92	90	13	6.92	95	12	7.92	Serie III ^a 8.4.09 Ospizio Marino
	90	11	8.18	83	12	6.92	90	13	6.92	90	11	8.18	90	12	7.5	Media $\frac{L}{H} = 7.48$
	90	11	8.18	87	13	6.69	90	11	8.18	85	13	7.31				
mm	55	10	5.5	75	12	6.25	78	12	6.5	78	13	6-	76	11	6.91	Serie IV ^a 10.4.09 S. Elisabetta.
	60	8	7.5	72	12	6-	75	10	7.5	78	12	6.5	70	11	6.36	Media $\frac{L}{H} = 6.51$
	60	10	6-	72	11	6.54	75	10	7.5	75	12	6.25	70	11	6.36	
	67	10	6.7	75	11	6.82	72	13	5.54	80	12	6.67	75	11	6.82	
mm	74	8	9.25	80	10	8-	75	10	7.5	76	10	7.6	78	9	8.67	Serie V ^a 16.5.09. S. Nicolo' - 7.9
	80	9	8.89	81	11	7.36	77	10	7.7	78	10	7.8	75	9	8.33	Media $\frac{L}{H} =$
	84	10	8.40	84	12	7-	78	11	7.09	78	10	7.8				
	82	11	7.46	65	9	7.22	76	11	6.92	88	12	7.33	85	12	7.08	Serie VI ^a 13.10.09 S. Elisabetta -
	93	12	7.75	76	10	7.60	81	12	6.75	76	12	6.33	80	11	7.27	Media $\frac{L}{H} = 7.06$
	75	10	7.50	81	11	7.37	84	12	7.00	80	9	8.88	80	11	7.27	
	73	9	8.11	75	10	7.50	86	12	7.15	75	12	6.25	80	10	8.00	
	59	6	9.83	58	6	9.66	58	6	9.66	61	7	8.71	61	7	8.71	Serie VII ^a 31.12.0 S. Elisabetta.
	57	6	9.5	60	7	8.57	60	7	8.57	60	7	8.57	67	7	9.57	Media $\frac{L}{H} = 9.17$
	57	6	9.5	59	6	9.83	62	7	8.85	60	6	10-				

Allegato B. Alcune misure di larghezza e altezza di onde di sabbia

cm.	72-1 ; 73-1 ; 70-0,9 ; 67-0,9 ; 61-0,6 ; 68-1 ; 70-1 ; -	S. I	} 2.3.09 S. Elisabetta
cm.	70-1,5 ; 70-1,2 ; 65-1,5 ; 72-1,3 ; 80-1,5 ; 75-1,5 ; 60-1,4 ; 68-1,2 ; 80-1.	S. II	

Spiegazione della Tavola I^a

- I. - S. Elisabetta. 13. 6. 09. ore 9-10 scala lunghi: $\frac{1}{100}$ alt: $\frac{1}{50}$.
- II. - S. Nicolò. 13. 6. 09 ore 8-9. " " "
- III. - S. Nicolò 23. 10. 09. ore 15-16 " " "
- IV. - S. Elisabetta. 26. 3. 910 ore 14-15 " " "
- V. - S. Elisabetta. 30. 5. 09. ore 10-11 " " "
- VI. - S. Nicolò. - 13. 6. 09. ore 9. " " "
- VII. - S. Nicolò - 23. 10. 09. ore 17. scala lunghi: $\frac{1}{40}$ alt: $\frac{1}{20}$.
- VIII. - Ospizio marino. 31. 12. 09 ore 16 scala lunghi: $\frac{1}{20}$ alt: $\frac{1}{10}$.

NB. Le linee rosse orizzontali segnano il livello del mare; le freccie
la direzione delle onde.

