

I pionieri italiani della geofisica (*)

P. CALOI

Ricevuto il 18 Maggio 1963

RIASSUNTO. — Vengono rapidamente passati in rassegna, seguendo l'ordine cronologico, gli studiosi di geofisica — intesa in senso lato — che, a partire dalla seconda metà del Settecento, ebbero ad interessarsi in Italia di elettricità atmosferica, magnetismo terrestre, idrografia, oceanografia fisica, sismologia e vulcanologia, con intenti pionieristici. Sono ricordati i principali risultati raggiunti da una trentina di ricercatori fra i quali spiccano, per la vastità del lavoro compiuto e per la novità dei risultati, Leopoldo Nobili e Macedonio Melloni. Ma, ciascuno nel suo campo, scoperte di rilievo fecero pure G. B. Beccaria, Luigi Palmieri, Carlo Matteucci, Timoteo Bertelli, Luigi De Marchi, Carlo Somigliana, Emilio Oddone, Alfonso Sella e Domenico Pacini. Alcuni vantano priorità di rilievo: scoperta della doppia oscillazione diurna del barometro (Chiminello, 1780); unicità sorgiva delle varie radiazioni dello spettro (M. Melloni); sismografo elettromagnetico a registrazione continua (Palmieri, 1855); microsismi (Bertelli, 1872); il paleomagnetismo (Oddone e Sella, 1891); la radiazione cosmica (Pacini, 1910); . . .

SUMMARY. — The paper briefly recalls, in chronological order, the scientists who, after the XVII century, took interest in geophysics — in a broad sense of the word — and especially in the sectors of atmospheric electricity, seismology and vulcanology, earth magnetism, hydrography, physical oceanography, acting as pioneers in these fields. The principal results achieved by some 30 research workers, among whom a particularly wide and new work was performed by Leopoldo Nobili and Macedonio Melloni, are recalled. Each in his own field, also G. B. Beccaria, Luigi Palmieri, Carlo Matteucci, Timoteo Bertelli, Luigi De Marchi Carlo Somigliana, Emilio Oddone, Alfonso Sella e Domenico Pacini achieved very remarkable discoveries.

(*) La traduzione in lingua inglese è apparsa nel volume VII - 2 dei « Cahiers d'Histoire Mondiale », pubblicati sotto gli auspici dell'UNESCO nel 1963.

A few boast important priorities: discovery of the double daily oscillation of barometres (Chiminello, 1780); sigle source of the various spectrum radiations (M. Melloni); continuous recording electromagnetic seismograph (Palmieri, 1855); microseism (Bertelli, 1872), paleomagnetism (Oddone and Sella, 1891); cosmic radiation (Pacini, 1910); etc.

1. — Il termine « pionieri » richiama alla mente quegli esploratori che, per primi, si inoltrarono in vaste regioni sconosciute o, comunque, poco note. Ed è un richiamo appropriato, che i due ordini di attività hanno parecchie caratteristiche comuni. Anelito alla conoscenza di cose nuove, entusiasmo che sopporta ogni forma di rinuncia, disinteresse per l'immediato sfruttamento ai fini materiali, senso del mistero che affascina e sgomenta ad un tempo.

Non è facile orientarsi in estese regioni sconosciute e non tutti i pionieri hanno ugualmente sviluppato il senso dell'orientamento. Inevitabili quindi squilibri di risultati, disparità di giudizi, precarietà di interpretazioni: cammini che sembravano all'inizio ricchi di prospettive, si rivelano improvvisamente vicoli ciechi; sentieri aridi e dirupati, che sfociano alla fine in zone caratterizzate da insospettata abbondanza di speranze e di certezze.

Caratteristica comune delle acquisizioni dei pionieri (in senso lato) è l'incertezza dei contorni: prospettive, spesso possenti, ma appena rozzaamente delineate, dai confini indecisi. D'altronde, l'esploratore che si apre a colpi d'accetta la via nella foresta, non può preoccuparsi di renderla agevole, comoda, ben definita: questo sarà compito di altri. Le rifiniture, le delimitazioni precise non è opera di pionieri.

Va ancora osservato che non sempre il pioniere è facilmente individuabile. Non è infrequente il caso di esploratori, le scoperte dei quali restano ignorate per secoli; o vengono attribuite ad altri. Questi sono casi estremi, è vero. Pur prescindendo da essi, sovente un ricercatore assume la figura del pioniere solo perchè ha espresso in forma più comprensibile, ed ha saputo abilmente diffondere in vasta cerchia, scoperte nettamente delineate nell'opera di un precedente ricercatore, al quale va soltanto la qualifica di pioniere.

Desidero accennare ad un altro aspetto del pionierismo: all'influsso cioè che, sulla notorietà di un pioniere, può determinare il chiamarsi in un modo anziché in un altro. Alighieri, Galilei, Volta, ... sono nomi troppo profondamente accaparrati, perchè ricercatori omonimi non restino diminuiti nella loro notorietà. Ciò vale, naturalmente, in senso generale, e quindi anche per i pionieri. A questo riguardo, con mia

sorpresa, ho trovato fra i pionieri della geofisica un Beccaria, un Garibaldi e un Sella. Devo confessare che, specie i primi due, mi risultavano del tutto nuovi come pionieri della geofisica. Il portare quei nomi già tanto celebri, in altre attività dello scibile, indipendentemente dai meriti, li ha indubbiamente molto svantaggiati.

Dopo questa premessa, sufficiente del resto a mostrare quanto sia arduo il compito di riuscire imparziali nella cernita e nella giusta valutazione dei pionieri, entro senz'altro nell'ampio, fiorito giardino e cerco di scernere fior da fiore.

2. - Ritengo superfluo risalire troppo addietro nel tempo in questa mia cernita. Nel XVIII secolo troviamo p. es. un monaco, certo BIRRA, che nel 1751 costruì un pendolo verticale, con penna scrivente. Ma sia questi, che il Conte DELLA TORRE (1795) ed altri dell'epoca, non portarono veri contributi scientifici, limitandosi a mere, grossolane osservazioni di terremoti, intraducibili in campo scientifico.

La prima personalità spiccata che, nell'ambito degli studi geofisici, troviamo nel XVIII secolo è G. B. BECCARIA (Mondovì 1716 - Torino 1781). Si interessò particolarmente di meteorologia, elettricità atmosferica e magnetismo terrestre. Usò, fra i primi, barometri scriventi. Si propose la determinazione delle leggi delle variazioni regolari dell'elettricità atmosferica durante il giorno, le sue relazioni con i fenomeni meteorici, ecc. Determinò l'esistenza di scariche convettive fra la terra e l'atmosfera. Introdusse in Piemonte l'uso del parafulmine, cercando di perfezionarlo. Si avvide per primo dell'elettrolisi. Dalle sue esperienze fu condotto ad affermare che la causa del magnetismo terrestre è una circolazione regolare e costante di elettricità da nord a sud. Nelle sue « Lettere sull'elettricismo », adottò l'opinione dell'astronomo ed idraulico PAOLO FRISI (1727-1814), essere *l'aurora boreale dovuta a scariche elettriche prodotte nelle regioni elevate dell'atmosfera*, affermazione veramente notevole per l'epoca. Fondamento di questa ipotesi erano: le *apparenze luminose* che, per primo, egli aveva osservato nel vuoto al passaggio dell'elettricità; il fatto che l'aria diviene di più in più rarefatta a mano a mano che aumenta la quota; le osservazioni di Halley, che collegò l'aurora boreale al magnetismo terrestre; il concetto enunciato dallo stesso Beccaria circa l'identità fra i fenomeni magnetici e quelli elettrici.

Del settecento possiamo citare ancora GIUSEPPE TOALDO (1719-1798) e VINCENZO CHIMINELLO (1741-1815) che iniziarono, a Padova, regolari registrazioni di osservazioni barometriche. Con essi, per la prima volta, si tenta di rintracciare delle periodicità nell'andamento della pressione atmosferica. Così, mentre Toaldo credette di scoprire, nei fenomeni

meteorologici, una periodicità di 18 mesi (ciclo toaldino), Chiminello (1780) ritenne di aver constatata l'esistenza di due massimi e di due minimi barometrici diurni, il che costituisce un'autentica priorità.

Nel primo ottocento merita menzione FRANCESCO CARLINI (1783-1862), che si interessò di meteorologia e, in particolare, delle variazioni della pressione. Egli però va ricordato sopra tutto per aver ideato un sistema di determinazione della densità della Terra, basato sul numero delle oscillazioni che un pendolo compie separatamente sulla cima di una montagna e in pianura. Carlini applicò (1824) tale metodo sul Montenisio ed ottenne per la densità della Terra il valore 4,84, che si discosta per difetto di 0,7 circa da quello oggi accettato.

La prima metà del XIX secolo è però dominata nel campo della fisica e, in parte, della geofisica, da due nomi celebri: Leopoldo Nobili e Macedonio Melloni.

L. NOBILI (1784-1835) patriota modenese, fisico illustre. Della sua opera vasta, accenneremo solo a quella parte che può avere attinenza con la geofisica.

Com'è noto, Ampère provò che il magnetismo può essere considerato come conseguenza di fenomeni elettrici. Nella teoria di Ampère, le molecole di una calamita sono percorse da tenui correnti circolari, tutte dirette nello stesso senso, perpendicolarmente all'asse del magnete. Ampère aveva applicato la sua teoria al *magnetismo terrestre*, ritenendo quest'ultimo come conseguenza delle correnti elettriche, da cui la Terra, considerata come sfera conduttrice, è percorsa sensibilmente in direzione da est a ovest. Leopoldo Nobili realizzò sperimentalmente l'ipotesi di Ampère, stendendo lungo i paralleli di una sfera di legno un filo continuo di rame isolato: facendolo percorrere da una corrente, egli riprodusse in dettaglio le caratteristiche dell'azione della supposta Terra sull'ago magnetico. Tale esperienza è impropriamente attribuita al fisico inglese Barlow che riprodusse a Londra lo stesso apparecchio due anni dopo Nobili.

Ma il Nobili merita di essere citato come l'ideatore di apparecchi, atti a rivelare le minime correnti elettriche. Dopo la scoperta di Oersted, spetta a Schweigger la costruzione di uno strumento, detto allora *moltiplicatore*, col quale avvolgendo ripetutamente un filo percorso da corrente intorno ad un ago magnetico, fu possibile scoprire l'esistenza di correnti debolissime moltiplicandone, per così dire, l'azione; correnti tanto deboli da influenzare in modo insufficiente l'ago magnetico nella semplice esperienza di Oersted. Nel 1835, Nobili ebbe il merito di perfezionare tale apparecchio, applicandovi il sistema astatico e, successivamente,

sospendendo il sistema ad un filo di bozzolo, tutto opportunamente protetto da una campana di vetro. Di qui ebbe origine il *galvanometro*, strumento preziosissimo in molte branche della Geofisica. Originariamente, nel galvanometro di Nobili, allo scopo di sottrarre lo strumento all'azione del campo magnetico terrestre, due aghi astatici paralleli, perfettamente uguali in dimensione e in forza magnetica, venivano immessi nello stesso filo, in direzione contrarie. Con tale strumento, Nobili studiò numerosi fenomeni fisiologici, in precedenza ignorati, e scoprì le correnti idro-elettriche.

La multiforme attività di Nobili si rese benemerita anche in altri campi della fisica. Ai primordi dell'Ottocento iniziarono gli studi sul calore raggianti, soprattutto per merito di Rumford e di Leslie; studi che condussero poi al concetto di *potere emissivo*. Già il Leslie e il Rumford avevano ideato dei termometri differenziali, atti allo studio di questi fenomeni. Spettò però a Nobili il conseguimento di un decisivo progresso nell'efficacia di questi apparecchi: nel 1829, egli infatti costruì il termo-moltiplicatore, che doveva servire con vantaggio in tutte le successive ricerche relative al calore raggianti. Di esso si valse efficacemente anche Macedonio Melloni.

Il termo-moltiplicatore di Nobili è una versione notevolmente perfezionata dell'apparecchio di Seebeck: egli moltiplica gli elementi bismuto ed antimonio, li unisce fra loro alternativamente ad angolo sempre più acuto, formando, in tal moto — per evidente analogia con la pila voltaica — una vera e propria *pila termo-elettrica*, opportunamente raccolta in forma di cilindro metallico, allo scopo di raccogliere le minime quantità di raggi calorifici, provenienti dai corpi circostanti.

Insieme con VINCENZO ANTINORI (1792-1865), Nobili ottenne, fra l'altro, le correnti indotte dal magnetismo terrestre in una spirale mossa nel meridiano magnetico.

L'altro eminente scienziato, di fama europea, che ha onorato l'Italia, nel campo che ci interessa, nella prima metà dell'Ottocento fu MACEDONIO MELLONI (1798-1854). Fisico illustre, uno dei massimi che l'Italia abbia avuto dopo Volta, nacque a Parma ed ebbe vita agitata, per le sue idee politiche, che lo portavano a combattere ogni forma di tirannide. Iniziò il suo insegnamento all'Università di Parma nel 1824. Nel 1830 dovette emigrare a Parigi, per avere apertamente lodato gli studenti parigini che presero parte alla rivoluzione del 1830. Dopo varie vicende, in seguito all'interessamento di Arago e di Humboldt, divenne professore a Napoli, dove morì di colera nel 1854, dopo aver perduto l'insegnamento per la seconda volta, a motivo delle sue idee liberali.

Molte delle sue ricerche hanno attinenza con la Geofisica.

Di particolare interesse sono quelle sul calore raggiante.

Cominciò col perfezionare il termo-moltiplicatore di Nobili: per la sua termo-pila si valse del bismuto e dell'antimonio (particolarmente sensibili all'eccitamento dell'azione termo-elettrica), ma ne rese gli elementi perfettamente identici alle due estremità, più sottili e più numerosi. La rese inoltre indipendente dalle variazioni della temperatura dell'aria e dalle perturbazioni legate al calore proprio dei corpi circostanti. Ne aumentò la prontezza e la rese di estrema sensibilità. Con questo apparecchio, Macedonio Melloni compì una lunga serie di ricerche, con risultati di eccezionale interesse. Con un prisma di salgemma dimostrò la rifrazione dei raggi calorifici più oscuri e con una lente di salgemma riuscì a concentrarli. Provò la polarizzazione dei raggi termici, la loro propagazione rettilinea, istantanea ed indipendente dalle fluttuazioni dell'aria. Dimostrò che l'intensità d'irraggiamento decresce con il quadrato della distanza. Trovò le leggi fondamentali della diffusione ed emissione calorifica; come si verifica l'abbassamento di temperatura per irraggiamento, spiegando compiutamente anche il fenomeno della *rugiada*. Dimostrò la varia rifrangibilità dei raggi termici e dei raggi chimici (attinici); il diverso potere selettivo dei corpi per gli uni e per gli altri, analogamente al comportamento dei mezzi trasparenti colorati, nei riguardi delle radiazioni luminose (*termocrosi*); pervenne all'analisi calorifica dello spettro solare. A questo proposito, egli riconobbe che la posizione del massimo di calore nello spettro dato da un prisma varia con la sostanza di cui il prisma è formato — perchè, le varie sostanze assorbono in modo diverso i raggi termici — e che un prisma di salgemma, diafano e limpido, dava lo spettro calorifico normale, perchè quasi non assorbe il calore (solo lo 0,08 del calore incidente, come egli determinò). Scoprì inoltre che l'aria secca è perfettamente trasparente ai raggi calorifici.

Ma uno dei massimi meriti di Melloni fu di aver dimostrato che i fenomeni luminosi e i fenomeni calorifici derivano da un'unica serie di radiazioni, di cui una parte agisce sull'organo della vista e l'altra si svela ai nostri sensi per il riscaldamento dei corpi. Provò, in altri termini, l'*unicità* sorgiva delle varie radiazioni dello spettro, chimiche, luminose, calorifiche, contro l'opinione di Leslie e della maggior parte dei fisici di allora. Dimostrò *non esservi luce senza calore*.

Per quanto afferisce strettamente alla geofisica, oltre ad alcune ricerche di meteorologia (variazioni della pressione atmosferica e venti ad essa collegati) va citata anche l'invenzione del *magnetoscopio*, con il

quale egli scoprì nuove verità, così da dare un nuovo indirizzo agli studi sul magnetismo terrestre. Fra l'altro, esaminò col nuovo strumento gran copia di minerali e provò che la doppia polarità magnetica — trovata dal prof. Scacchi per alcuni frammenti di lava rinvenuti sul Vulture — è comune a tutte le lave e a quasi tutte le rocce. Studiò, a questo riguardo, le lave del Vesuvio e i vari aspetti della bipolarità delle rocce.

Costruì infine un nuovo, sensibilissimo *elettroscopio*, con il quale si riprometteva lo studio dell'elettricità di tensione, proposito troncato dalla morte prematura.

Le sue esperienze furono in parte raccolte nell'opera « *La Thermo-chrose ou la coloration calorifique* », pubblicata nel 1850, quattro anni prima della sua morte.

Nella prima metà dell'Ottocento troviamo ancora LUIGI MAGRINI (1802-1868). Si laureò a Padova ingegnere architetto nel 1825. Dopo varie vicende, nel 1863 fu nominato professore di fisica all'Istituto superiore di perfezionamento di Firenze. Precedette Steinheil e Wheatstone nella realizzazione del telegrafo (1837). Si interessò molto di questioni relative alle correnti elettriche, con innegabili successi. Limitandoci al suo interesse per questioni geofisiche, diremo che volse i suoi studi soprattutto all'*elettricità atmosferica* e alla *meteorologia*. Sulla base degli effetti del fulmine, fu portato a studiare la costruzione dei parafulmini. Egli trovò che un conduttore, interrotto da condensatore munito di spinterometro a punte, aumenta il trasferimento dell'elettricità dalle nubi al suolo.

Insieme a Francesco Carlini, nel 1861, progettò la fondazione della Società Meteorologica italiana. Si interessò di correnti telluriche, studiò numerose trombe d'aria, elaborò le osservazioni meteorologiche fatte in Udine nel quarantennio 1803-1842 (1852), si occupò degli effetti prodotti dalle nubi temporalesche sulle linee telegrafiche (1852-1854), fece alcune indagini sulla formazione della grandine, sulla durata della striscia luminosa lungo il cammino percorso dal fulmine (1861); raccolse parte delle sue scoperte nella pubblicazione « *Sull'elettricità atmosferica* » (1863).

LUIGI PALMIERI (1807-1896). Nacque a Faicchio (Benevento) e morì a Napoli. Studiò matematica, fisica e filosofia. Nel 1847 sostituì Galluppi nell'insegnamento della filosofia nell'Università di Napoli. Nel 1856 divenne direttore dell'Osservatorio vesuviano. Nel 1860, ceduta la cattedra di filosofia a Bertrando Spaventa, passò a quella di fisica terrestre, espressamente istituita per lui. Come fisico, le sue ricerche si riferiscono quasi esclusivamente allo studio delle caratteristiche della Terra. Nel 1840

pubblicò una memoria dal titolo: « *Alcune esperienze del magnetismo terrestre ed invenzione di una batteria magneto-elettrica-tellurica* ». Questo lavoro è alla base di tutta una serie di ricerche di geofisica. È stato il primo ad ottenere la scintilla e la scossa delle correnti indotte direttamente dal magnetismo terrestre; inoltre, i suoi studi di *elettricità atmosferica* possono ritenersi iniziatori degli sviluppi di questo ramo della meteorologia. Con il suo *elettrometro bifilare* aprì la strada alla ricerca delle leggi e dell'origine dell'elettricità atmosferica. Investigò il comportamento dell'elettricità anche nel mezzo solido. Uno dei suoi ultimi lavori verte appunto su « Le correnti telluriche all'Osservatorio vesuviano osservate con fili inclinati all'orizzonte durante l'anno 1895 ».

Si interessò pure di sismologia e di vulcanologia. Nel 1852 descrive e ricerca le cause del terremoto avvenuto nella zona del Vulture.

Successivamente, descrive le eruzioni del Vesuvio avvenute nel 1861 e nel 1872. Ideò pure un sismografo elettromagnetico (1855), che può ritenersi il primo apparecchio sismico a registrazione continua. Sviluppò teorie — oggi naturalmente insostenibili — sulle maree della parte interna fluida della Terra e sulle loro relazioni col vulcanismo. Ottenne risultati notevoli nello studio delle fumarole e delle lave, condotto con metodi chimici e spettroscopici: scopri nelle sublimazioni vesuviane del litio, del talio, dell'antimonio, dell'acido borico, parecchi carbonati alcalini, e principalmente — per la prima volta — riconobbe in una sublimazione del 1881 la caratteristica riga spettrale dell'elio.

Publicò quattro volumi degli « Annali dell'Osservatorio Vesuviano », la « Geologia del Monte Vulture e terremoto quivi avvenuto il 14 Agosto 1851 », e, pochi mesi prima della morte, « Il Vesuvio dal 1875 al 1895 ».

Studio di scienze marittime fu ALESSANDRO CIALDI (Civitavecchia 1807 – Roma 1882). Studiò alla scuola navale di Genova, prese servizio nella marina sarda e, successivamente, fu comandante di quella pontificia. Viaggiò lungo il Nilo, fino alla sua prima cateratta; passò dall'Italia all'Inghilterra, attraverso fiumi e canali francesi. Fece pregevoli ricerche teoriche e pratiche su costruzioni e canalizzazioni marittime, esposte al moto ondoso e alle correnti. Tali ricerche egli applicò, fra l'altro, alla costruzione di Porto-Said.

Fra le sue opere vanno ricordate: « Sul moto ondoso del mare e sulle correnti di esso » (1865), tuttora citato nei trattati di oceanografia, e « Nozioni preliminari per un trattato nella costruzione dei porti nel Mediterraneo » (1874).

CARLO MATTEUCCI (1811-1868). Nacque a Forlì, seguì gli studi di matematica e fisica all'Università di Bologna, morì a Pisa. Si fece no-

tare non solo come valente cultore di scienze, ma anche come uomo politico; fu, fra l'altro, presidente della Società Italiana dei XL e ministro della pubblica istruzione nel ministero Rattazzi.

Non è mio compito parlare della sua opera di fisico, vasta e complessa. Egli si interessò sopra tutto di elettricità, con particolare riguardo alla elettricità animale e ai fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi. Parecchi dei suoi lavori hanno chiari riferimenti alla geofisica. A soli 16 anni, mentre frequentava il 2° anno di università, pubblicò una memoria dal titolo « Sulla influenza dell'elettricità nella formazione delle principali meteore acquee ». Più tardi, nel 1845, parallelamente ai suoi lavori di elettro-fisiologia, esegui numerose esperienze intese a verificare se la Terra poteva servire da conduttore della corrente. La sua attenzione fu a lungo attratta dal magnetismo di rotazione e dai sistemi di correnti indotte nel disco. Ma ritornò spesso su fenomeni prettamente geofisici. Fra l'altro, egli si occupò per primo delle perturbazioni elettriche eccitate dalle aurore boreali nei fili telegrafici (1859). Erano già state eseguite esperienze, intese a scoprire l'esistenza di correnti proprie della Terra. Matteucci fece, a questo riguardo, fondamentali indagini nella pianura di San Maurizio, con due fili conduttori lunghi 6 km e ben isolati dal suolo.

Egli trovò che, in assenza di temporali nelle vicinanze, e con aria tranquilla, nello stato normale ordinario, non si aveva corrente — oppure lievissima e variabile in direzione — sul filo normale al meridiano terrestre; mentre nell'altro filo, in direzione del meridiano del luogo, era sempre presente una corrente dal sud al nord, di intensità variabile e con due massimi in due diverse ore del giorno (1865). Non si esaurì in queste esperienze, l'interessamento di Carlo Matteucci per questioni di *elettricità atmosferica* e di *magnetismo terrestre*.

Un fisico singolare, GIOVANNI CANTONI (1818-1897), che si impegnò a fondo nel proposito di ricercare i rapporti fra fisica e filosofia, non trascurò di occuparsi, fino dagli anni giovanili, dello studio paziente della *meteorologia*, con particolare riguardo al fenomeno della rugiada, ai legami fra meteorologia e agraria, agli evaporimetri e alla temperatura dell'aria. Per l'originalità dei suoi studi in questo ramo della scienza, fu nominato direttore del servizio centrale di meteorologia, carica che tenne fino al 1878 e alla quale dedicò gran parte della sua attività.

ANGELO SECCHI (Reggio Emilia 1818 — Roma 1878) fu soprattutto astronomo. Ingegno versatile, si interessò altresì di meteorologia ed idrologia, fisica del mare e dell'atmosfera, climatologia e previsione del tempo. Costruì un meteorografo ed un attinometro.

Egli misurò la trasparenza dell'acqua basandosi sulla visione di un disco metallico immerso ed indicando la profondità alla quale detta visione cessa (*dischi Secchi*). Con tale mezzo egli compì accurate misure di trasparenza in un viaggio sul Tirreno, a bordo della nave « Immacolata concezione » (1865). In tali misure, oltre a fattori personali, influiscono sulla distanza della visione, la forma, le dimensioni e il colore del disco, nonchè le mutevoli condizioni del Sole, del cielo e della superficie dell'acqua. Ciò malgrado, Vercelli dimostrò che le indicazioni ottenute con il disco Secchi hanno valore scientifico maggiore di quanto, a prima vista, si potrebbe pensare. Negli ultimi decenni, l'uso del disco Secchi è stato via via sostituito da speciali fotometri per graduare la trasparenza degli strati interni, usando sorgenti di luce artificiale.

Fra le opere di Padre Secchi, ritengo degno di menzione il poderoso lavoro « L'unità delle forze fisiche — Saggio di filosofia naturale » (1864), specie di *summa* sulle cognizioni fisico-matematiche dell'epoca, ricco di geniali divinazioni e di una appassionata fiducia nell'avvenire della scienza.

Un altro fisico che si occupò di questioni di geofisica fu ALESSANDRO SERPIERI (1823-1885); trattò argomenti di meteorologia, astronomia, sismologia e fisica terrestre. Fondò l'osservatorio meteorologico di Urbino, presso la cui Università fu professore di fisica.

Una citazione speciale merita PIER MARIA GARIBALDI (Chiavari 1823 - Genova 1902). Laureatosi nel 1850 in medicina, si dedicò ben presto agli studi sperimentali, collaborando con M. A. Bancalari, professore di fisica all'Università di Genova, in molte ricerche sull'elettromagnetismo. In modo particolare, si interessò del diamagnetismo dei gas.

Accanto alle sue ricerche prettamente fisiche, condusse cospicui lavori nel campo della fisica terrestre. Contribuì validamente alla conoscenza della *climatologia* ligure, di Genova in particolare, determinando i valori normali degli elementi climatologici, tratti da un periodo di 60 anni di diligenti osservazioni (1895).

La maggiore attenzione egli riservò ai problemi di *magnetismo terrestre*. A conclusione di una lunga serie di osservazioni e di studi, nel 1884 egli poté stabilire che « le perturbazioni o burrasche magnetiche sono regolate dalla stessa legge fisica, che governa le variazioni dell'ago magnetico e che, come queste, hanno la loro misura nel numero e nell'ampiezza delle macchie solari, e che si svolgono in egual periodo ».

Egli studiò le relazioni fra le macchie solari e il magnetismo terrestre durante l'ultimo trentennio del secolo XIX.

Nel 1870 fu nominato direttore dell'Osservatorio meteorologico di Genova.

Nel campo dei micromovimenti della crosta terrestre TIMOTEO BERTELLI (1826-1905) è pioniere indiscusso. Entrò nel 1844 nell'ordine dei Barnabiti. Passò in diverse case di questo ordine (Moncalieri, Napoli, ecc.), finchè giunse al Collegio alle Querce (Firenze) nel 1868. Fu qui che egli poté studiare i piccoli spontanei movimenti del pendolo. Dopo alcuni anni di pazienti osservazioni (basti ricordare che — almeno per i primi tre anni — egli osservava con una lente i movimenti dell'estremità di un appendice di una massa pendolare, sospesa ad un robusto braccio infisso in una parete) egli poté suggerire quattro cause per i movimenti pendolari: l'azione del vento, le correnti convettive nella custodia dello strumento, le vibrazioni legate al passaggio dei veicoli, le espansioni e contrazioni dell'edificio sotto i cambiamenti di temperatura. Il merito eccezionale delle ricerche di Bertelli sta però nell'aver indicato, nel Novembre 1872, fra le cause di perturbazione pendolari il passaggio delle depressioni barometriche. Con ciò egli scopriva la causa principale a cui sono legati i così detti *microsismi*. Esatta si dimostrava anche l'altra sua conclusione: rivelare cioè i microsismi un massimo invernale ed un minimo estivo.

Nell'ambito della scienza idrografica non può essere ignorato il nome di GIOVANNI BATTISTA MAGNAGHI, ammiraglio idrografo (Lomello 1839 — Roma 1902). A lui si deve l'organizzazione e il rapido sviluppo dell'Ufficio idrografico della R. Marina, istituito a Genova nel 1872. Diede potente impulso al rilievo idrografico delle coste italiane e delle colonie, affrancando l'Italia dal ricorso a carte straniere. Favorì la talassografia e organizzò numerose campagne di rilevamento e di scandaglio.

GIUSEPPE BASSO (Chivasso 1842 — Torino 1895) fu fisico molto noto: si interessò di questioni di magnetismo, di acustica e, in modo preminente, di ottica fisica. Solo sporadicamente la sua attenzione fu attirata da fenomeni geofisici. Ricorderemo, a questo proposito, un suo lavoro «Sulla polarizzazione della luce diffusa del cielo», pubblicato sull'«Annuario meteorologico», a cura del Comitato direttivo della Società meteorologica italiana (Anno IV. 1889).

GIUSEPPE PISATI (Pavia 1842 — Roma 1901), fu instancabile ricercatore, di una onestà professionale e di uno scrupolo eccezionali, forse eccessivi. Nel 1872 fu nominato professore di fisica sperimentale nella Università di Palermo e nel 1878 fu chiamato all'insegnamento della fisica tecnica nella Scuola d'ingegneria di Roma. Esula dal nostro compito l'accennare alle sue accuratissime ricerche di chimica-fisica, di fisica

tecnica, dell'elasticità e della tenacità dei metalli a diverse temperature, ecc. Non possiamo non accennare però al poderoso lavoro, intrapreso assieme a Pucci sullo studio della *gravità* e sulla determinazione del valore di *g*, condotto con tanta varietà di metodo e di condizioni, con tanto acume e precisione, da potersi ben citare come esempio, non facilmente superabile, di perseveranza illuminata e di serietà d'intenti. Per quanto concerne la geofisica, possiamo ricordare la sua partecipazione alle *campagne talassografiche* promosse nel 1883 e nel 1884 dall'Ufficio idrografico della Marina; una nel Mediterraneo occidentale, l'altra nel Mediterraneo orientale. Studiò con impegno l'abbondante materiale raccolto. Con particolare riferimento alla densità dell'acqua marina, egli ideò e realizzò apprezzabili innovazioni nei metodi e negli strumenti di misura, sopra tutto allo scopo di conciliare la precisione — alla quale egli somamente aspirava — con la speditezza delle misure e con le difficili condizioni della navigazione.

Un altro valente cultore di geofisica dell'Ottocento fu GIULIO GRABLOVITZ (Trieste 1846 – Casamicciola 1928). Egli fondò l'Osservatorio geofisico di Ischia (Grande Sentinella) nel 1886, e lo dotò di apparecchi sismici di sua ideazione. Fra i vari accorgimenti introdotti da Grablovitz nella registrazione dei fenomeni sismici, merita particolare menzione il sistema d'astatizzazione della componente verticale del movimento (1889). La molla a spirale, che ad un estremo regge la massa stazionaria, è inclinata di 45° sulla verticale ed è connessa a detto estremo con un'asta, ad essa ortogonale, ruotante attorno ad un fulcro. Il principio d'astatizzazione è il seguente: le dimensioni del sistema oscillante possono essere scelte in modo che, quando la massa si innalza o si abbassa, con l'accorciamento o l'allungamento della molla, la diminuzione o l'aumento del momento della forza della molla vengono sempre compensati, in prima approssimazione dalla diminuzione o dall'aumento del momento del peso. Tale principio di astatizzazione è ancora oggi adottato dalle migliori fabbriche di sismografi.

Si interessò di altre questioni di geofisica, con speciale riguardo allo studio fisico delle acque termali, delle fumarole, sabbie calde ed emanazioni in genere, alla meteorologia e all'astronomia. La mareografia attrasse costantemente la sua attenzione. Fu tra i primi ad interessarsi delle maree del Mediterraneo, di cui studiò le isorachie (1891). Altri lavori riguardano le maree d'Ischia (1890), le maree dell'Adriatico (1892), un nuovo modello di mareografo (1900), ecc.

Pioniere di larga notorietà nelle ricerche sismologiche e vulcanologiche fu GIUSEPPE MERCALLI (Milano 1850 – Napoli 1914). Dopo la laurea

in scienze naturali (1874), si interessò dello studio dei terreni glaciali della Lombardia. La sua attenzione fu successivamente attratta dai fenomeni sismici e vulcanici, ai quali dedicò intera la sua attività. Pubblicò memorie sui terremoti di Casamicciola (1883), isole Pontine (1892), di Messina (1908), ecc. Tracciò la prima carta sismica d'Italia. Il suo nome è sopra tutto legato ad una scala sismica empirica, ancora universalmente accettata — sia pure con modificazioni — per la valutazione approssimativa dell'intensità di un terremoto.

Lasciò pure apprezzate pubblicazioni sui vulcani spenti ed attivi, con particolare riguardo a quelli italiani. Di esse ricorderemo «I vulcani attivi della Terra», «Osservazioni petrografiche e geologiche sui vulcani» (1889).

ADOLFO BARTOLI (Firenze 1851 – Pavia 1896), insegnò fisica e fisica matematica in diverse università italiane (Sassari, Firenze, Catania, Pavia). Compì ricerche in diversi rami della fisica e della chimica-fisica, con particolare riguardo all'irraggiamento, all'ottica, all'elettrochimica e alla calorimetria. Gli ultimi anni della sua vita li dedicò alla misura del *calore solare*. Tale lavoro fu infatti da lui iniziato nel 1885 e continuato senza interruzione fino al 1896. Bartoli, in diverse località, raccolse migliaia di osservazioni, allo scopo di studiare le leggi e le cause della variazione del calore solare nel tempo.

Si dedicò anche alla misura della *temperatura della lava* eruttata dall'Etna, in una grande eruzione di quell'epoca.

Nell'ambito degli studi sismologici, risulta di primaria importanza l'opera di ADOLFO CANCANI (Roma 1856-1904). Lavorò presso l'Osservatorio geodinamico di Rocca di Papa e nel R. Ufficio centrale di meteorologia e geodinamica. Ideò numerosi apparecchi per la segnalazione e la registrazione dei terremoti. La teoria dell'elasticità prevede, come è noto, l'insorgere di due sistemi di onde — longitudinali e trasversali — in un corpo solido sollecitato: estendendo tali concetti alla Terra, Cancani sostenne che tali sistemi di onde dovevano venir provocati anche dai terremoti, avviando così a soluzione il problema fondamentale di poter risalire alla determinazione delle coordinate ipocentrali, sulla base della registrazione dei treni d'onda longitudinale e trasversale. Fra gli altri suoi meriti, ha quello di aver formulato per primo (1903) una relazione fra i gradi della scala empirica dell'intensità dei terremoti e le corrispondenti accelerazioni, dando così l'avvio ad una serie di ricerche sull'argomento, alla quale portò successivamente contributi anche Gutenberg.

In campi più vasti si estese l'impegno di un altro valoroso ricercatore, LUIGI DE MARCIH (Milano 1857 – Padova 1936), letterato, geografo e geofisico. Limiterò le mie considerazioni a questo suo ultimo aspetto.

Fece dapprima pregevoli indagini di meteorologia, considerata come un'estensione della dinamica dei fluidi (1890). I principi che regolano la distribuzione della temperatura sulla superficie terrestre sono esposti nell'opera sulle cause dell'era glaciale (1895), di cui diremo più avanti. Cospicui contributi portò pure negli studi mareografici, indagando sulla propagazione dell'onda di marea nella laguna veneta, considerata come rete di canali (1905), sulla distribuzione della salsedine e della temperatura in mare (1912), sulle onde interne e sulla propagazione di marea nell'alto Adriatico (1916), ecc. Si interessò pure di questioni inerenti alla teoria dell'elasticità.

Nel 1902 pubblicò il *Trattato di geografia fisica*, prima pregevole opera italiana in questa materia.

Ma Luigi De Marchi fu pioniere sopra tutto nel campo della glaciologia. Nel secolo scorso, una volta dimostrato che le grandi invasioni glaciali quaternarie non erano dovute a espansioni di una calotta glaciale polare, bensì ad estensioni di ghiacciai montani, parve naturale riferire tali espansioni ad aumento generale delle precipitazioni acquee, quindi delle nevi in montagna: in altri termini, il fenomeno glaciale (a quell'epoca, si parlava generalmente, di una sola glaciazione - « monoglacialismo »), doveva essere stato preparato da un periodo climatologico caldo-umido. Più accurate indagini provarono però che gli avanzamenti glaciali corrispondevano a gruppi d'anni freddo-umidi, mentre le contrazioni conseguivano a gruppi d'anni caldo-asciutti.

Nel 1895 (« Sui climi terrestri durante l'era glaciale e quaternaria e sulla cause che hanno contribuito a modificarli ») De Marchi provò che il bilancio di un ghiacciaio è regolato più dall'*ablazione estiva che dalla precipitazione nevosa invernale*. Ne conseguiva che anche i grandi periodi del glaciale quaternario erano dovuti, come le oscillazioni secolari dei ghiacciai attuali, a lunghi periodi di clima freddo-umido, specialmente a estati fredde. L'espansione glaciale va quindi imputata a un abbassamento di temperatura più che ad un aumento di precipitazione. È noto che, fra le cause astronomiche delle glaciazioni, sono invocate le variazioni secolari di luminosità delle varie categorie di stelle, e in particolare le variazioni repentine e transitorie alle quali sarebbero soggette tutte le stelle, compreso il Sole. Secondo Zinner, repentini aumenti e successive variazioni della radiazione solare, darebbero come effetti postumi, le ere glaciali. Altri invocano, forse a maggior ragione, variazioni della radiazione solare come conseguenza di variazioni della eccentricità dell'orbita terrestre, combinata con la precessione degli equinozi e l'inclinazione dell'asse terrestre.

De Marchi dimostrò fin dal 1895 (*Le cause dell'Era Glaciale*) che le variazioni climatiche, connesse alle glaciazioni, possono spiegarsi anche con variazioni della trasparenza atmosferica. Secondo tale ipotesi, il fenomeno glaciale poteva attribuirsi ad un intorbidamento dell'atmosfera, comunque determinato: ad una diminuzione, anche non molto rilevante, del coefficiente di trasparenza, risponderebbe un abbassamento di parecchi gradi nella temperatura annua, ed una diminuzione dell'escursione annua, e quindi della temperatura estiva.

Tale ipotesi conserva, ancor oggi, piena attendibilità.

Fra i pionieri della sismologia, uno dei più laboriosi fu senza dubbio GIOVANNI AGAMENNONE (Rieti 1858 - Roma 1949). Si laureò in fisica a Roma (1884), fu assistente di sismologia all'Osservatorio di Ischia, prima, quindi presso l'Ufficio Centrale di meteorologia e geofisica di Roma, dove fece ritorno nel 1929 come direttore del servizio sismico, dopo aver diretto dal 1899 l'Osservatorio di Rocca di Papa. Nel biennio 1895-'97 fu chiamato in Turchia, ad organizzarvi il servizio sismico. Fu fra i membri fondatori della Società sismologica italiana (1895). Fra i vari riconoscimenti nazionali ed esteri, fu nominato professore onorario dell'Università di Atene.

Ideò diversi tipi di sismoscopi e di sismografi, che trovarono larga diffusione in Italia e all'estero. Pubblicò circa trecento lavori su argomenti vari di sismologia, con particolare riguardo alla sismografia, alle osservazioni macrosismiche e alla determinazione delle profondità ipocentrali, che egli riteneva di piccolo valore (15-20 km al massimo): fu infatti avversario irriducibile della possibilità di movimenti sismici profondi (successivamente provati fino a profondità di 750 km circa).

Sebbene GIUSEPPE VICENTINI (1860-1944), professore di fisica sperimentale nell'Università di Padova, abbia svolto la sua attività sopra tutto come fisico, egli può essere ritenuto uno dei più illustri pionieri nella sismologia strumentale. I sismografi a registrazione meccanica da lui ideati, verso la fine del secolo scorso, si diffusero rapidamente in tutto il mondo e furono — per circa un trentennio — fra i più apprezzati.

E veniamo ora ad uno dei massimi cultori di fisica-matematica che abbia avuto l'Italia nell'ultimo secolo: CARLO SOMIGLIANA (1860-1955). Insegnò dapprima nell'Università di Pavia (1892-1903); passò quindi a Torino, dove tenne la cattedra di fisica matematica fino al suo collocamento a riposo (1935).

Tra i pregevolissimi suoi lavori sulla teoria dell'elasticità, ci limiteremo a citare: « Sopra gli integrali delle equazioni della isotropia elastica » (in 'Nuovo cimento', 1885), in cui stabilisce alcune formule fon-

damentali, che vanno sotto il suo nome e che riducono il problema generale dell'equilibrio di un corpo elastico alla ricerca di soluzioni per particolari condizioni al contorno. Fra le ricerche di Somigliana nel campo della geodesia o della geofisica fondamentale è la sua « Teoria generale del campo gravitazionale dell'ellissoide di rotazione » (in Mem. della Soc. Astr. Ital., 1929).

In sismologia rivestono particolare importanza i suoi lavori « Sulla propagazione delle onde sismiche » (Rend. Lincei, 1907), in cui vengono ritrovate, per altra via, le onde superficiali di Rayleigh. Somigliana prova che tali onde possono nascere dall'accoppiamento di un'onda longitudinale e di un'onda trasversale piane, caratterizzate da identiche velocità di propagazione superficiali. Le condizioni a cui queste onde sovrapposte devono soddisfare in superficie, conducono Somigliana all'equazione

$$16 \left(1 - \frac{V_R^2}{v_1^2}\right) \left(1 - \frac{V_R^2}{v_2^2}\right) = \left(2 - \frac{V_R^2}{v_2^2}\right)^4,$$

[V_{R1} = velocità onde superficiali; v_1 = velocità onde longitudinali e v_2 = velocità onde trasversali].

che coincide con la classica equazione delle onde di Rayleigh. Dal punto di vista geofisico, esiste però una sostanziale differenza fra le due teorie. Nella classica teoria di Rayleigh, infatti, solo la radice minore dell'unità dell'equazione riportata ha significato fisico. Nella teoria di Somigliana non esiste tale limitazione: sicchè in essa tutte e tre le soluzioni dell'equazione di condizione soddisfano al problema. Pertanto, tre sistemi di onde, e non uno soltanto, possono nascere in superficie, quando le coppie di onde sovrapposte considerate soddisfano alle condizioni di partenza. Inoltre, mentre nell'originaria teoria di Rayleigh, il rapporto della componente verticale del movimento alla componente orizzontale nella direzione di propagazione, risulta ben determinato — e quindi espresso da un numero fisso, che generalmente non concorda con le osservazioni —, nella teoria di Somigliana tale rapporto può avere *qualsiasi* valore.

La teoria di Somigliana conduce quindi ad una generalizzazione della soluzione trovata da Rayleigh per la propagazione delle onde piane alla superficie di un mezzo piano, omogeneo, isotropo, illimitato.

Sotto certi aspetti, anche LUIGI PALAZZO (1861-1933) può essere citato fra i pionieri della geofisica in Italia, specie per ciò che si riferisce al magnetismo terrestre (costrui carte isodinamiche ed isocline per l'Italia e colonie) e per l'organizzazione della rete meteorologica italiana. Lo è senz'altro, particolarmente nei riguardi della sismologia, EMILIO

ODDONE (1864-1910). La sua attività si estese a parecchi rami della geofisica. Collaborò con Sella (v.) in alcune ricerche di magnetismo terrestre. Ma come si è detto, egli soprattutto si interessò di questioni di sismologia. Fra i molti lavori compiuti in questo campo (sulla determinazione delle profondità ipocentrali, sulla propagazione delle onde sismiche spaziali e superficiali, ecc.), merita particolare menzione un metodo originalissimo sulla determinazione del modulo di Young delle rocce (« Determinazione dinamiche del modulo di elasticità di Young delle rocce » — Annali dell'Uff. Centr. di Meteorologia e Geodin., XXXIII, 1911, Parte 1^a). Tale metodo si sintetizza nella formula

$$\frac{1}{E} + \frac{1}{E_1} = \frac{16a^5}{13,5 m 2g H R^2},$$

dove E è il modulo di Young dell'acciaio, di cui è composta una biglia di raggio R e di massa m ; H l'altezza da cui si lascia cadere la biglia ed a il raggio della traccia circolare che la biglia stessa lascia sulla superficie levigata, cosparsa di nerofumo, del campione di roccia, di cui si vuol determinare il modulo E_1 ; g è l'accelerazione di gravità.

Oddone pervenne a questa formula partendo dalla teoria matematica degli urti, sviluppata da Love e, più compiutamente, da Hertz.

Fu presidente dell'Associazione internazionale di sismologia per il triennio 1933-1936.

Citeremo ancora ALFONSO SELLA (Biella 1865 – Roma 1906), figlio del grande statista e mineralogista Quintino Sella. Insegnò fisica complementare all'Università di Roma.

Nel suo insegnamento propugnò la necessità di una buona cultura matematica nelle indagini fisiche. Le sue notevoli ricerche nel campo fisico sono tutte improntate alla riprova di questa necessità: l'algoritmo matematico come ausilio potente ed insostituibile nel conseguimento della realtà fisica. Esula dal mio assunto di riferire sui risultati di Alfonso Sella nelle sue ricerche di fisica, che vertono principalmente sui raggi X, sulla propagazione della luce nei cristalli magnetici, sulla reciprocità fra fenomeni ottico-magnetici e magneto-ottici, sui fenomeni di ionizzazione dei gas, ecc.

Sotto l'influenza del suo amico Prof. Keller, Sella dedicò parte della sua attività anche alla geofisica e specialmente al *magnetismo terrestre*. In collaborazione con Emilio Oddone studiò le rocce magnetiche delle Alpi centrali, trovando numerosi *punti distinti* (anomali) e accertando che la distribuzione del magnetismo non è in relazione alcuna con la direzione del campo terrestre.

Da quella serie di ricerche vennero altre notevoli deduzioni. Già Macedonio Melloni aveva provato che rocce, portate a intenso calore e poi fatte raffreddare lentamente, diventano magnetiche sotto l'azione del magnetismo terrestre. Sella e Oddone ne deducono che *una roccia eruttiva presenta quella distribuzione magnetica che le fu comunicata dal campo terrestre nell'atto del raffreddamento* (Rend. Acc. Lincei, 1891). Di qui la possibilità, dal punto di vista geologico, di dedurre dall'orientazione attuale della distribuzione piegamenti, sollevamenti, torsioni, ecc. avvenute nella roccia; e, dal punto di vista geofisico, di trarre nozioni sulla direzione del campo terrestre all'epoca del raffreddamento della roccia, là ove si possa ammettere che la roccia sia rimasta ferma in posto. Sono i primi passi del *paleomagnetismo*.

Nel 1891 il matematico tedesco Keller era impegnato in un esame critico dei metodi per determinazione della densità media della Terra. Dai colloqui avuti con Keller, maturò in Alfonso Sella il proposito di studiare la questione del corpo di massima attrazione su un punto o secondo una direzione. Tale proposito si concretò in due pregevolissimi lavori teorici, apparsi fra i Rendiconti dell'Accademia dei Lincei negli anni 1891 e 1893: essi si concretarono nella discussione sulla forma più opportuna da darsi al corpo attraente nella misura della densità media della Terra (1893). Sempre fra i Rendiconti dell'Accademia predetta, Sella pubblicò i risultati di una serie di misure relative della componente orizzontale del magnetismo terrestre sul Monte Rosa, a Biella e a Roma.

Va ancora ricordato che, occupandosi di *radioattività*, Sella scoprì per primo la presenza di emanazioni radioattive nelle acque potabili comuni (Rend. Acc. Lincei, 1902). Determinò inoltre (Rend. Acc. Lincei, 1904) la radioattività delle pozzolane dei dintorni di Roma, fissandola intorno alle 0,001 unità uraniche.

Parecchi altri uomini di scienza, nati nella seconda metà dell'Ottocento, hanno svolto, almeno in parte, attività pionieristiche nell'ambito della geofisica: ANTONINO LO SURDO (1880-1949), FRANCESCO VERCELLI (1883-1952), MARIO TENANI (1886-1955)... Prevale però in essi la veste di sistematori sulla traccia di sentieri preesistenti e già ben delineati. In ogni modo non posso chiudere senza citare DOMENICO PACINI (Marino 1878 - Roma 1934), scopritore della radiazione cosmica. Eseguì numerosi lavori di fisica terrestre; particolarmente importanti quelli sulla radiazione penetrante e quelli sull'azzurro del cielo. Lo studio sull'azzurro del cielo lo condusse ad un metodo per la verifica del numero di Avogadro, con conferma dei risultati ottenuti per altre vie. Il suo nome però è sopra tutto legato alle ricerche sull'energia penetrante, di cui dimostrò

l'origine cosmica con una serie di esperienze eseguite nel lago di Albano che, provocando l'attenuazione con la profondità, provavano l'origine extra terrestre della radiazione suddetta. Già nel 1910, dopo una serie di misure eseguite contemporaneamente su mare e su terra ferma, trovava che il numero di ioni dovuti alla radiazione penetrante sul mare era circa i 2/3 di quello osservato su terra ferma. Da una critica delle probabili cause di un così alto valore della ionizzazione della libera atmosfera alla superficie del mare, poteva concludere che « *una parte non piccola della radiazione penetrante presente nell'aria, e in modo particolare quella parte che è soggetta ad oscillazioni anche notevoli, ha origine indipendente dall'azione diretta delle sostanze attive contenute negli strati superiori della crosta terrestre* » (« La radiazione penetrante sul mare ». Ann. Uff. Centr. Met. e Geod., 1910).
