

# SULLE CAUSE DEI MICROSISMI

G. D'HENRY - C. MORELLI

1. *Premessa.* — Nello studio sui microsismi pubblicato da uno di noi nel vol. I, pag. 621-652 di questa Rivista, era stata messa in evidenza la dipendenza dei microsismi dai centri di perturbazione atmosferica; ed in particolare per i microsismi di lontana origine questa dipendenza era stata trovata *con il centro dei cicloni*. Per i microsismi di origine mediterranea, alcuni esempi avevano però mostrato chiaramente che i microsismi possono essere originati anche dal *fronte freddo*, quando attraversa il mare, specialmente se questo è profondo.

Abbiamo perciò cercato di precisare meglio questa dipendenza, allo scopo soprattutto di portare un ulteriore elemento utile alla comprensione della genesi dei microsismi. A tal fine, abbiamo sottoposto ad un esame comparativo i microsismi registrati all'Osserv. Geofisico di Trieste, e la situazione barica interessante l'Europa, con particolare riguardo alla posizione e natura dell'area depressionaria e alla dislocazione del fronte freddo e dell'occlusione o fronte occluso. Questi elementi sono stati ricavati dalle carte sinottiche giornaliere del tempo per l'Europa e l'Atlantico pubblicate dallo Schweizer. Meteorolog. Zentralanstalt, al cui Direttore prof. Jean Lugeon esprimiamo i nostri ringraziamenti per il cortese invio. Poiché gli anni che comprendono il periodo bellico hanno solo dati frammentari ed incompleti, la ricerca è stata compiuta per il triennio 1946-1948.

Dopo aver scartato tutti i casi che presentavano qualche ambiguità, o il cui carattere non era probatorio, sono risultati disponibili 43 esempi, che sono sufficienti per le considerazioni che ora esponiamo.

2. *Microsismi di origine atlantica.* — Risultano originati soprattutto in prossimità del minimo della depressione (che per brevità chiameremo talvolta anche «centro del ciclone»).

Gli esempi già riportati nel lavoro sopracitato provano in maniera evidente che quando il centro del ciclone è sul mare, ed è sufficientemente intenso, nella stagione invernale esso dà sempre origine a microsismi, di ampiezza spesso notevole.

Qui possiamo aggiungere che *microsismi vengono generati anche quando, la zona di minimo della depressione essendo sul mare, il fronte freddo e l'occlusione sono sulla terra ferma.*

#### E S E M P I

Nei seguenti casi sono stati registrati infatti a Trieste microsismi di origine atlantica:

- 2 febbraio 1946. — Una depressione con area di minimo piuttosto ristretta, profonda (965 mb), con forte gradiente di pressione è situata sull'Atlantico fra l'Inghilterra e l'Islanda. Il fronte freddo s'estende sulla Spagna e la Francia, e un fronte occluso sulla Germania, Polonia, Mar Baltico per un breve tratto e poi Scandinavia.
- 21 febbraio 1947. — Il minimo della depressione è localizzato a N del Golfo di Biscaglia, con un ulteriore minimo a W della Spagna. Il fronte freddo si estende dalla Spagna, attraverso il golfo di Biscaglia alla Francia sett. Un fronte occluso s'estende sulla Francia.
- 18 marzo 1947. — La depressione è situata a W dell'Inghilterra. Il fronte freddo s'estende attraverso l'Europa centrale, si congiunge col fronte caldo presso la costa orientale inglese, interessando per un piccolo tratto il Mare del Nord; il fronte occluso sovrasta l'Inghilterra e l'Irlanda.
- 24 novembre 1947. — La depressione è situata a NW della Penisola Scandinava. Il fronte freddo si estende attraverso l'Europa centrale dalla Francia alla Polonia.
- 8 gennaio 1948. — Una depressione è situata a SW dell'Islanda. Il fronte freddo si estende attraverso l'Europa nord-occid. e si incontra col centro di una seconda depressione che è localizzata a W della Danimarca.
- 17 marzo 1948. — Una depressione è sul Mar Baltico ed una più profonda a N dell'Islanda. Il fronte freddo s'estende dall'Inghilterra alla Germania sett., mentre il fronte occluso sovrasta Croazia, Ungheria e Polonia.

*Viceversa, non si hanno in generale microsismi quando la zona di minimo della depressione è su terra ed il fronte freddo e occluso sono sul mare, a distanze notevoli dalla Stazione registratrice (nel nostro caso, sull'Oceano Atlantico, sul Mare del Nord, ecc.).*

#### E S E M P I

Nei casi che seguono *non* sono stati registrati a Trieste microsismi di tipo atlantico:

- 2 gennaio 1946. — Il fronte freddo ed il fronte caldo s'incontrano in alto mare (sull'Oceano Atlantico a N dell'Islanda); il fronte occluso si estende per un certo tratto sul mare fino a coincidere col centro del ciclone, che giace invece per buona parte su terra (sulla Groenlandia).
- 3 gennaio 1946. — Il fronte freddo e il fronte caldo s'incontrano nell'Oceano Atlantico a W dell'Irlanda, il fronte occluso continua in mare per lungo tratto

fino a incontrare il centro del ciclone che si estende per buona parte su terra (Groenlandia).

- 18 gennaio 1946. — Il fronte freddo e quello caldo s'incontrano molto lontano dal minimo della depressione, a NW della Spagna; il fronte occluso estesissimo è sull'Oceano, e va a incontrare sulla Groenlandia il centro del ciclone, molto profondo (955 mb).
- 19 gennaio 1946. — I fronti freddo e caldo s'incontrano in mare presso l'Islanda, mentre il minimo della depressione è per buona parte su terra (Groenlandia).
- 20 gennaio 1946. — Il fronte caldo e il fronte freddo s'incontrano sull'Oceano Atlantico a WNW dell'Islanda, il fronte occluso continua sull'Oceano fino a incontrare il centro del ciclone, il quale si trova sulla Groenlandia. Solo verso le 12<sup>h</sup>, quando il centro del ciclone si sposta verso il mare, incominciano a venir registrati microsismi, che si accentuano il 21 e 22 gennaio.
- 7 marzo 1946. — Il fronte occluso si estende per ampio tratto sull'Oceano Atlantico a SW dell'Islanda, mentre il minimo della depressione si trova quasi completamente su terra (Groenlandia).
- 7 novembre 1946. — Il fronte freddo è quasi completamente su mare (Mare del Nord), mentre il minimo della depressione è su terra (Penisola Scandinava).
- 16 dicembre 1946. — Il fronte occluso si estende per ampio tratto sull'Oceano Atlantico nei pressi dell'Islanda, il fronte freddo si estende per quasi tutta la dorsale atlantica, alternandosi con quello caldo, mentre la zona di minimo della depressione si trova su terra, nell'America del Nord.
- 17 dicembre 1946. — Il fronte freddo s'incontra col fronte caldo sull'Islanda, il fronte occluso continua sul mare mentre la zona di minimo della depressione è su terra (America del Nord-Groenlandia).

Ciò non esclude però che anche il fronte freddo, ed in casi particolari ancor più il fronte occluso, abbiano influenza sulla genesi dei microsismi. Solo che per i microsismi di origine atlantica questa influenza è poco sensibile, e si manifesta generalmente con una *diminuzione dell'ampiezza dei microsismi quando i detti fronti si dirigono verso terra; viceversa, si riscontra un aumento dell'ampiezza dei microsismi quando il fronte freddo o il fronte occluso si dirigono verso il mare, o quando aumenta la loro estensione sul mare.*

#### E S E M P I

Un esempio tipico è offerto dalla situazione meteorologica del 27 gennaio - 1<sup>o</sup> febbraio 1948. In entrambe le giornate i cicloni hanno le stesse caratteristiche: stessa posizione (Atlantico-S dell'Islanda, ca 50° N 30° W), uguale minimo (940 mb) ed uguale estensione (ristretta) della zona di minimo, stesso gradiente di pressione (molto forte). Ma il 27 gennaio un fronte occluso estesissimo sovrasta l'Atlantico e il Mare del Nord dall'Islanda alla Germania, mentre il 1<sup>o</sup> febbraio il fronte freddo è sull'Europa centrale e quello occluso esteso, sull'Atlantico, presso il centro del ciclone. Il 27 gennaio si registrano a Trieste microsismi con periodo medio di

9 sec e ampiezza 1.3  $\mu$ , invece il 1° febbraio il periodo medio è di 8 sec e l'ampiezza di 0,8  $\mu$ .

Altro es. si ha il 9 febbraio 1947. Il fronte occluso si estende attraverso l'Europa e dopo un piccolo tratto in mare s'incontra col centro del ciclone completamente in mare (a NW della Spagna); il fronte freddo sovrasta la Spagna e la Francia. Si registrano microsismi, con ampiezza però leggermente minore rispetto ai giorni precedenti, in cui il fronte freddo era sul mare (Oceanico Atlantico, a W del Portogallo e nel Golfo di Biscaglia).

3. *Microsismi di origine mediterranea.* — Anche in questo caso si hanno microsismi quando la zona di minimo della depressione è sul mare e il fronte freddo o occluso è su terra; e ciò conferma l'importanza del centro del ciclone nella genesi dei microsismi.

#### E S E M P I

Oltre alla maggior parte dei casi riportati nel lavoro sopracitato, anche i seguenti, nei quali sono stati registrati a Trieste microsismi di tipo mediterraneo:

- 7 novembre 1946. — Il fronte occluso è quasi completamente su terra (Italia merid.) mentre la zona di minimo della depressione è sul Mare Tirreno.
- 6 dicembre 1946. — Una zona di minimo depressionaria è localizzata nell'Adriatico sett., una sullo Jonio ed un'altra nel Tirreno merid. Nessun fronte freddo o occluso si estende nella zona mediterranea.
- 10 dicembre 1946. — Il fronte freddo è su terra (Balcani) ed incontra il fronte caldo su terra, mentre la zona di minimo della depressione è parte su terra, parte su mare (Adriatico).
- 13 dicembre 1946. — Il fronte freddo si estende attraverso la Spagna, e solo per piccola parte sul mare fino ad incontrare il fronte caldo nel centro del ciclone che è sul mare (fra le Baleari e la Sardegna).
- 29 dicembre 1946. — Una zona di minimo depressionaria è localizzata sullo Jonio. Non è presente nel Mediterraneo alcun fronte freddo o occluso.
- 12 novembre 1948. — Debole depressione sullo Jonio merid., fronte freddo su terra (Cecoslovacchia).

Ora però vale chiaramente anche il caso contrario: *i microsismi sono cioè generati anche dal passaggio del fronte freddo o occluso sul mare*, mentre il centro del ciclone è su terra, e quindi in condizione da non dare origine direttamente a microsismi.

#### E S E M P I

- Nei seguenti casi sono stati registrati a Trieste microsismi di tipo mediterraneo:
- 13 gennaio 1946. — Un fronte freddo si estende dall'Umbria all'Europa centro-orient., attraversando l'Adriatico sett. Non vi è alcuna depressione mediterranea.

- 3 febbraio 1946. — Il fronte freddo si estende dalla Spagna alla penisola Scandinava attraversando il Mediterraneo occid., il Tirreno, l'Italia centr. e l'alto Adriatico. Non è segnalata alcuna depressione.
- 3 febbraio 1947. — Il fronte occluso attraversa il Tirreno, mentre nel Mediterraneo non ci sono depressioni.
- 11 marzo 1947. — Un lungo fronte freddo si estende dall'Algeria fino ad Amburgo attraversando il Mediterraneo a W della Corsica e della Sardegna. Non esistono depressioni sul Mediterraneo. I sismogrammi segnalano microsismi non molto ampi, ma che aumentano verso le 23<sup>h</sup> in coincidenza con un temporale locale; questo segnala il passaggio del fronte freddo su Trieste nel suo procedere verso oriente.
- 15 marzo 1947. — Il fronte freddo s'è spostato nell'Adriatico centrale e settentr., poi verso le 3<sup>h</sup> torna a spostarsi verso W attraversando la Sardegna, il Tirreno, l'Italia centr., l'Adriatico e la Jugoslavia. Microsismi piuttosto irregolari e non costanti.
- 20 marzo 1947. — Un fronte freddo si estende sul Mediterraneo centr. a SE della Sicilia, sulle Puglie, sull'Adriatico merid., sulla Jugoslavia e sull'Ungheria, dove si incontra con il fronte caldo e genera un fronte occluso, che si estende verso N e NW fino sull'Inghilterra sett. La zona di minimo della depressione è sull'Ungheria.
- 29 marzo 1947. — Un fronte freddo attraversa il Mediterraneo occid., mentre la zona di minimo della depressione è sulla Francia sett.
- 30 marzo 1947. — Il fronte freddo al mattino è sul Mediterraneo, verso le 13<sup>h</sup> è sul Tirreno, mentre la sera torna a spostarsi verso W in direzione della costa spagnola. La zona di minimo della depressione è sull'Inghilterra. Microsismi molto incostanti.
- 31 marzo 1947. — Il fronte freddo permane sul Mediterraneo occid. La zona di minimo depressionaria è sempre sull'Inghilterra.
- 28 novembre 1947. — Alle 1<sup>h</sup> un fronte freddo proveniente dall'Atlantico e del quale una parte passa per il Mediterraneo occid. s'incontra col fronte caldo sui Pirenei; in corrispondenza si ha il minimo della depressione sul confine fra Francia e Spagna. Alle ore 7.30 il ramo mediterraneo del fronte freddo si è spostato leggermente verso E incontrando il fronte caldo nei pressi di Marsiglia. Il centro dell'area depressionaria si è spostato pure verso E (Francia sud-occid). Forte vento sulla costa marsigliese.
- 29 novembre 1947. — Alle 1<sup>h</sup>, mentre il minimo dell'area depressionaria si è spostato sulla Francia centrale, il fronte freddo si estende dalla Tunisia, attraverso il Tirreno, fino al Golfo di Genova, dove incontra il fronte caldo e trasformandosi in occluso attraversa la Francia per ritornare poi sul Mediterraneo occid. (Tolosa, Ovest Sardegna, Gibilterra). Alle 8<sup>h</sup> il centro del ciclone s'è portato sul mare. Però i microsismi vengono registrati già prima, quando ancora il minimo della depressione era su terra, dimostrando così la loro origine anche dal fronte freddo; e la loro ampiezza (0.3<sub>10</sub>) non aumenta sensibilmente quando la zona di minimo dell'area depressionaria arriva sul mare.
- 28 ottobre 1948. — Minimo leggero sul Piemonte e Lombardia. Il fronte freddo si estende dalla Tunisia alla Lombardia, passando per l'Italia merid., Adriatico e Pianura Padana. In Lombardia incontra il fronte caldo che attraverso le Alpi

si estende fino alla Polonia merid. Il fronte freddo passando per l'Adriatico provoca perturbazioni microsismiche.

*L'ampiezza dei microsismi causati dai fronti è però generalmente minore di quella dei microsismi generati nel centro della depressione.*

#### E S E M P I O

19 gennaio 1946. — Il fronte freddo che il 18 gennaio si trovava sul Tirreno, si porta quasi interamente su terra (Italia centr. e merid.), mentre il centro del ciclone, che il 18 gennaio era sui Pirenei, si approfondisce e si porta quasi interamente sul mare (a W della Corsica). In corrispondenza a quest'ultimo spostamento, i microsismi aumentano in ampiezza e frequenza.

In accordo col fatto che l'energia sviluppata dai fronti freddo e occluso è in generale minore di quella connessa con i centri dei cicloni, e quindi più esigua l'ampiezza dei microsismi generati da questi fronti, è anche l'osservazione che *spesso per i fronti freddo e occluso che attraversano il Mediterraneo occidentale non si registrano microsismi a Trieste oppure essi sono debolissimi.*

#### E S E M P I

5 marzo 1947. — Fronte freddo sul Mediterraneo occid. (tra la costa della Spagna e le Baleari). Nei pressi di Barcellona incontra un fronte caldo proveniente da Sud e l'occlusione formatasi dall'unione dei due fronti si estende verso N oltre i Pirenei e la Francia. Non vengono registrati microsismi.

11 marzo 1947. — Un fronte freddo si estende sul Mediterraneo occid., da Gibilterra al Golfo di Marsiglia, passando per le Baleari; nel Golfo di Marsiglia incontra un fronte caldo, diventando per breve tratto occluso. Ma non si registrano microsismi.

26 dicembre 1947. — Leggerissimo minimo sul Piemonte. Un fronte freddo si estende da Gibilterra attraverso il Mediterraneo occid. alle Alpi, alla Polonia e alla Finlandia. Tracce appena percettibili di microsismi.

4 dicembre 1948. — Nessuna depressione mediterranea; un fronte freddo si estende dalle Baleari alla Finlandia, attraverso il Mediterraneo fino alla Costa Azzurra: microsismi nulli.

31 dicembre 1948. — Nel Mediterraneo non ci sono depressioni; un fronte freddo si estende dall'Oceano Atlantico alla Penisola Scandinava, attraversando il Mediterraneo occid. e il Golfo di Marsiglia; si registrano microsismi del tipo mediterraneo piuttosto deboli (0.2 u.).

Ma soprattutto significativo è il fatto che *i microsismi aumentano in ampiezza quando il fronte freddo si avvicina alla Stazione registratrice (attraversando il mare), mentre l'ampiezza diminuisce quando esso si allontana.*

## E S E M P I

27 dicembre 1947. — Il minimo sul Piemonte del 26 dicembre si è colmato, mentre il fronte freddo del Mediterraneo occid. si è spostato sullo Jonio sett. I microsismi sono aumentati sensibilmente in ampiezza durante la notte, mentre questo fronte si spostava verso E. Successivamente, col dirigersi del fronte freddo verso terra l'ampiezza dei microsismi torna a diminuire.

6 novembre 1948. — Il fronte freddo si estende dai Pirenei all'Ungheria, attraverso la costa franco-italiana, la Pianura Padana, il golfo di Venezia. Non vi è alcuna depressione Mediterranea. I microsismi sono quindi da attribuirsi al fronte freddo: iniziano durante la notte, quando esso attraversa le Alpi, raggiungono il massimo (0,25  $\mu$ ; T=2 sec.) quando esso passa sopra la Stazione registratrice (6<sup>h</sup> ca) e si estinguono completamente poche ore dopo (12<sup>h</sup>).

4. *Microsismi di origine locale.* — Nella Nota precedente (di cui questa può considerarsi la continuazione) era stato messo in evidenza come cause di perturbazione *locali* possano dare origine a microsismi di carattere *locale*, cioè consistenti in vibrazioni sinusoidali smorzate degli strati superficialissimi terrestri, con periodi molto brevi (generalmente inferiori a 2 sec) e ampiezza esigua (dell'ordine di 0,1  $\mu$ ): queste oscillazioni si estinguono però molto rapidamente.

Cause *locali* connesse con la genesi di questo tipo di microsismi erano state individuate nei venti, nell'urto delle onde contro le coste o le dighe, e infine *nel passaggio di temporali al disopra della Stazione registratrice*: in questo caso anzi l'aspetto dei treni d'onde sinusoidali è molto regolare, e lo smorzamento trascurabile.

Ora, il passaggio di un temporale è spesso la manifestazione esterna più cospicua del passaggio di un fronte freddo. E questo è generalmente connesso con perturbazioni atmosferiche (*pulsazioni*) che i *microbarografi* mettono chiaramente in evidenza. Esse si propagano nell'aria anche a decine, e forse a centinaia, di km di distanza, e vengono registrate dai microbarografi a tali distanze anche quando in loco la quiete sembra assoluta. Quantunque i confronti fra microsismi e pulsazioni barometriche non abbiano portato ancora a risultati decisivi (e il motivo è probabilmente quello indicato nella Nota precedente, § 7), è molto probabile che entrambi siano effetti di una stessa causa, o di cause concomitanti.

Per cui, risulterebbe provato che *anche le perturbazioni atmosferiche con sviluppi limitati di energia producono microsismi, purché la loro distanza dalla Stazione registratrice sia sufficientemente pic-*

*cola*: quest'ultima limitazione dovendosi intendere, per ora (1), nel senso che i microsismi così originati sono assorbiti del tutto dopo (relativamente) pochi km di propagazione negli strati superficialissimi della crosta terrestre.

Quanto risultato è molto interessante, perché starebbe ad indicare anche che i microsismi non si producono *soltanto* in mare, ma possono essere generati pure in terra (come del resto era stato chiaramente dimostrato nella Nota precedente): soltanto che in questo secondo caso l'effetto combinato dell'assorbimento e della dispersione ne provoca, anche in considerazione dell'ordine di grandezza dei periodi con cui si manifestano (dell'ordine di 1-2 sec.), l'estinzione quasi completa dopo tragitti variabili, ma sempre molto limitati, di propagazione nello strato superiore della crosta terrestre.

Nel mezzo liquido invece è trascurabile l'assorbimento (2) e, nei casi particolari che qui intervengono, anche la dispersione, ed in più esistono gli effetti delle riflessioni totali e delle interferenze positive previste dalla teoria di Press ed Ewing (v. Nota precedente), per cui il fenomeno si può propagare a grandissime distanze.

5. *Conclusioni.* — Da quanto abbiamo sopra esposto sembra lecito trarre le seguenti conclusioni:

*Sia la zona di minimo della depressione, i fronti freddi e i fronti occlusi, come altre cause di perturbazioni atmosferiche (purché sufficientemente intense e ripetute), possono dare origine a microsismi. L'energia massima è sviluppata in prossimità dei centri dei cicloni, e quindi i microsismi così generati hanno le maggiori ampiezze e distanze di propagazione; i microsismi generati dai fronti occlusi e dai fronti freddi hanno generalmente ampiezze e distanze di propagazione minori.*

Per questo motivo i microsismi che si registrano a Trieste con origine atlantica (distanze maggiori di 1000 km) sono quasi esclusivamente generati in prossimità dei centri dei cicloni; invece anche i fronti freddi ed occlusi possono generare microsismi di origine mediterranea; e l'effetto dei fronti è tanto più cospicuo quanto più essi sono vicini alla Stazione registratrice.

In entrambi i casi, *l'effetto non ha però carattere « locale »* (cioè,

---

(1) Un giorno forse si proverà che anche le micropulsazioni bariche fino a distanze considerevoli dal centro di perturbazione possono essere la causa della genesi dei microsismi.

(2) Essendo molto piccoli i coefficienti di viscosità e di conduttività termica.

si propaga anche a centinaia e migliaia di km di distanza) *solo quando il centro di perturbazione si trova sul mare.*

Anche questo argomento, che nella Nota precedente era stato lasciato a parte per un più dettagliato esame, si può quindi considerare sufficientemente discusso.

*Istituto Naz. di Geofisica — Osserv. di Trieste — Dicembre 1943.*

### RIASSUNTO

*Viene analizzato il problema della dipendenza dei microsismi dal centro del ciclone o dal fronte freddo, sulla base di 43 situazioni meteorologiche tipiche nel triennio 1946-48, confrontate con i microsismi registrati a Trieste. Se ne conclude che ogni centro di perturbazione atmosferica, purché sufficientemente intenso e periodico, può dare origine a microsismi, ma l'effetto si mantiene « locale » se ciò non avviene sul mare. L'energia sviluppata in prossimità del centro dei cicloni è maggiore di quella dei fronti, e quindi i microsismi che dai primi hanno origine sono in generale più ampi e raggiungono distanze maggiori, rispetto ai microsismi generati dai fronti.*