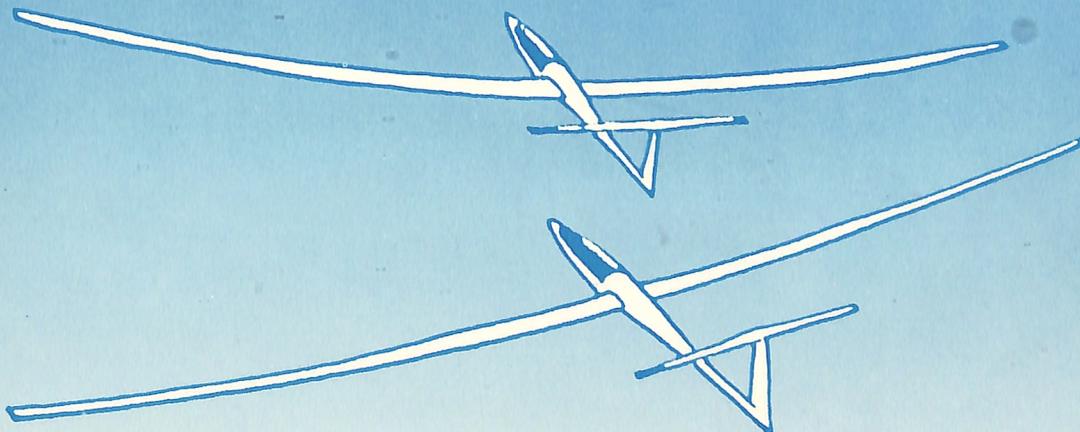




I QUADERNI DI

VOLO
A
VELA †

GUIDA ALL'ANALISI DELLE IMMAGINI TRASMESSE DAI SATELLITI METEOROLOGICI



(a cura di Adriano Sandri)



I QUADERNI DI

**VOLO
A
VELA** †

GUIDA ALL'ANALISI DELLE IMMAGINI TRASMESSE DAI SATELLITI METEOROLOGICI

(a cura di Adriano Sandri)

Centro Studi del Volo a Vela Alpino
Varese, maggio 1984

Sommario

- 7 - OSSERVAZIONI INTRODUTTIVE
- 8 - SATELLITI E RADIOMETRI
 - Satelliti polari
 - Satelliti geostazionari
 - Bande spettrali e radiometri
 - Scansione
 - Risoluzione
- 11 - PRINCIPI DI INTERPRETAZIONE
 - Immagini al visibile
 - Immagini all'infrarosso
 - Immagini del vapor d'acqua
- 15 - ANALISI DELLE IMMAGINI
 - Analisi statica e dinamica
- 15 - CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI
 - Nubi alte
 - Nubi medie
 - Nubi basse
 - Nubi a sviluppo verticale
 - Nubi d'onda
- 26 - ORGANIZZAZIONE DEI SISTEMI NUVOLOSI
 - Vortex frontali
 - Cellule aperte e cellule chiuse
- 32 - PREVISIONI DI CONVEZIONE
- 32 - VENTI E FRONTI DI BREZZA
 - Stima dei venti in quota
 - Il föhn
 - Le brezze
- 34 - BIBLIOGRAFIA
- 34 - NOTA CONCLUSIVA

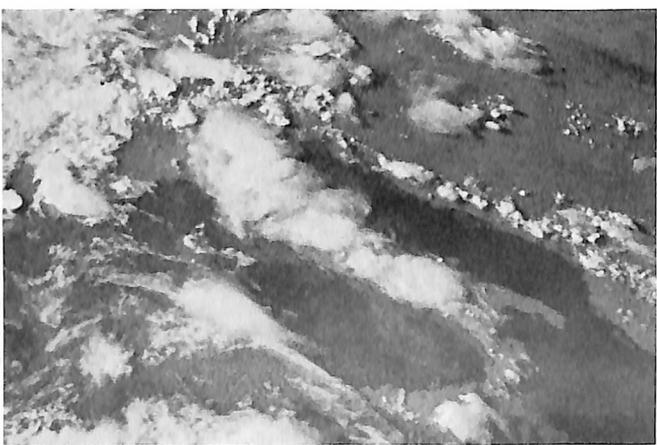
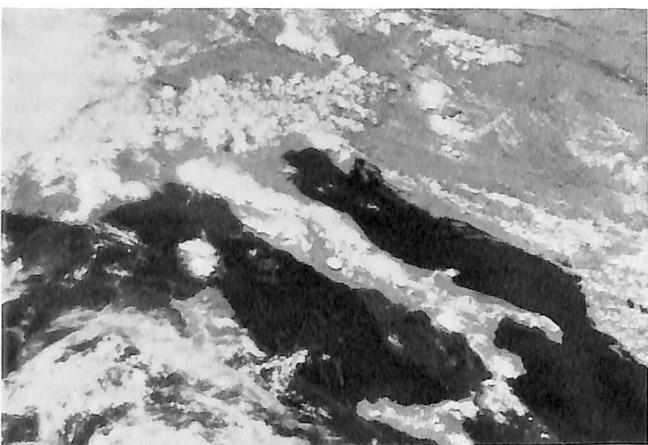
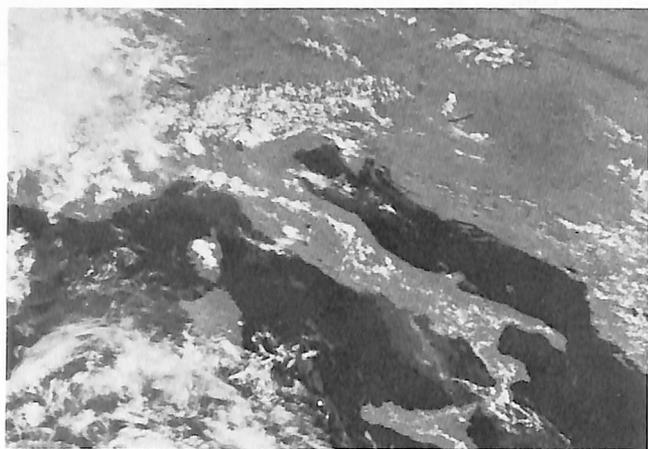


Fig. 1

Questa sequenza di immagini mostra uno spettacolare sviluppo dell'attività convettiva sulla nostra penisola. Non è difficile rendersi conto del notevole effetto di animazione che si ottiene rivedendo sequenzialmente le oltre venti immagini a disposizione. (Il Meteosat riprende la medesima zona ogni mezz'ora).

Sono ormai numerosi i centri di volo a vela dotati di apparati che permettono di ricevere le fotografie trasmesse dai satelliti meteorologici.

Fin dalle prime osservazioni ci si rende conto che queste immagini non presentano grandi difficoltà di lettura, tuttavia, se si desidera sfruttare meglio le informazioni che esse contengono, è utile conoscere qualcosa di più sulle tecniche di rilevamento e di interpretazione. Scopo del presente «quaderno» è di esporre in forma semplice queste conoscenze di base.

La prima parte tratta dei principi generali di interpretazione delle immagini al visibile, all'infrarosso e al vapor d'acqua; sono premessi anche cenni sulle orbite dei satelliti e sui radiometri di bordo.

La seconda parte dà suggerimenti sulle informazioni che il volovelista può cercare di ottenere analizzando e confrontando questi dati: le deduzioni che si possono trarre sono più numerose di quanto si pensi.

Un'analisi comparata di queste immagini permette infatti di determinare natura e genere delle nubi mentre la loro distribuzione può fornire utili indicazioni sui movimenti convettivi. È possibile studiare la struttura dei grandi sistemi nuvolosi, osservare la disposizione dei fronti di brezza e delle nubi d'onda;

Utilizzando le nubi come traccianti si possono proporre stime sulla direzione e intensità dei venti alle diverse quote.

L'esame di fotografie successive della medesima zona, soprattutto se animate mediante una riproduzione sequenziale, permette di seguire l'evoluzione dei sistemi nuvolosi con possibilità di estrapolazioni utili alle previsioni (fig. 1).

Queste note si limitano a suggerire alcuni spunti; chi fosse interessato ad approfondire gli argomenti trattati può far riferimento alle opere citate in bibliografia.

È bene precisare subito che questo straordinario mezzo d'indagine può utilmente integrare ma non sostituire i classici canali di informazione utilizzati per la previsione finalizzata al volo a vela. Attualmente una delle limitazioni maggiori consiste nell'impossibilità di osservare dettagli che, dal punto di vista volovelistico, sono molto significativi; questo a causa della risoluzione dell'immagine, già modesta in origine e non completamente sfruttabile dai sistemi di riproduzione di cui normalmente disponiamo.

In futuro, migliorando la possibilità di ingrandire i particolari e di valutare più accuratamente le differenze termiche al suolo, avremo a disposizione un mezzo di notevole efficacia per lo studio e la previsione della convettività.

In ogni caso, il semplice fatto di poter correlare le immagini dei satelliti all'evoluzione del tempo locale è estremamente istruttivo e stimolante e può contribuire ad avvicinarci maggiormente alla comprensione di quei fenomeni dai quali dipende la nostra appassionante attività.

SATELLITI E RADIOMETRI

I satelliti meteorologici possono essere divisi in due grandi categorie: satelliti a orbita polare e satelliti geostazionari.

I satelliti polari sorvolano la terra mantenendo un'altitudine compresa tra 600 e 1000 Km e percorrono orbite polari, che normalmente risultano anche eliosincrone.

Queste orbite sono dette polari perché passano in prossimità dei poli; eliosincrone perché, se il loro piano orbitale è opportunamente inclinato, risultano sincrone col Sole. Questo fa sì che il satellite attraversi il piano equatoriale e i paralleli sempre alla medesima ora locale.

Il tempo impiegato per compiere un intero giro attorno alla Terra è di circa 100 minuti e — a causa della rotazione del nostro pianeta — ogni orbita polare, quando attraversa il piano equatoriale, si trova spostata di circa 25° più a ovest nei confronti del passaggio precedente. In questo modo qualsiasi zona della superficie terrestre viene osservata, sotto diverse angolature, per due o tre orbite consecutive e questo si ripete due volte ogni 24 ore.

Uno dei vantaggi dell'eliosincronismo consiste nel fatto che diversi punti della Terra vengono sorvolati dal satellite alla medesima ora solare e quindi in condizioni di illuminazione comparabili (questa caratteristica era particolarmente importante quando non esistevano ancora i satelliti geostazionari).

Un altro vantaggio di questi satelliti è di offrire immagini ad elevata risoluzione (inferiore al Km per le immagini riprese sulla verticale). Tra essi annoveriamo attualmente i sovietici METEOR e gli statunitensi TIROS-N/NOAA.

I satelliti geostazionari (o geosincroni) restano stazionari nei confronti della Terra e sono perciò in grado di osservare costantemente la medesima parte della superficie del globo.

Per ottenere questo risultato è necessario posizionarli sulla verticale dell'equatore in modo che il piano della loro orbita coincida col piano equatoriale.

L'altra condizione è che il loro periodo di rivoluzione sia uguale a quello della rotazione terrestre, ossia l'orbita deve essere completata in 24 ore; questa seconda condizione richiede che il satellite voli a circa 35.900 Km, altitudine di molto superiore a quella dei satelliti orbitanti.

Un solo satellite geostazionario è in grado di mantenere sotto controllo una zona circolare pari a un quarto della superficie terrestre. Le deformazioni prospettiche legate alla sfericità della terra rendono però poco significative le immagini oltre i 60° di latitudine.

Il grande vantaggio offerto da questi satelliti è la possibilità di osservare con continuità l'evoluzione dei fenomeni su aree vastissime. Ad esempio il satellite europeo METEOSAT (lanciato a cura della Agenzia Spaziale Europea e posizionato a 0° di latitudine e 0° di longitudine) è in grado di osservare tutta l'Africa e l'Europa e buona parte dell'Atlantico.

Gli altri satelliti geostazionari sono i due GOES statunitensi, il GMS giapponese e il GOMS sovietico.

Questi cinque satelliti geostazionari sono più che sufficienti per assicurare l'osservazione continua dell'atmosfera su scala planetaria (ad eccezione delle zone oltre i circoli polari che però sono validamente controllate dai satelliti orbitanti) (fig. 2).

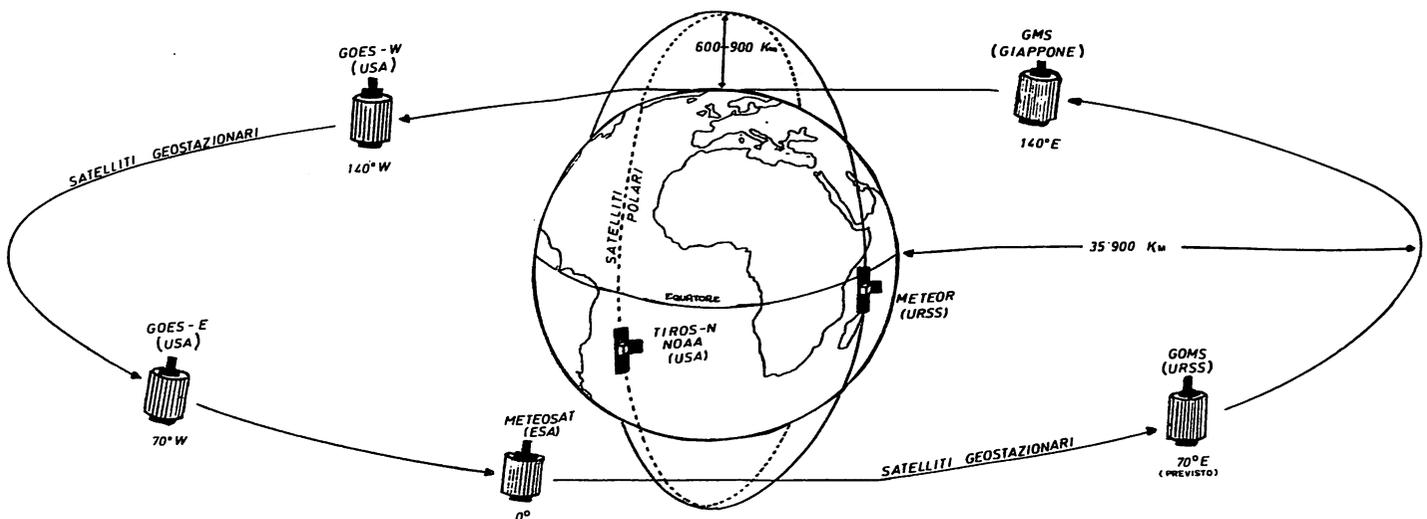


Fig. 2

IL sistema mondiale di satelliti meteorologici comprende 5 satelliti geostazionari in orbita equatoriale e vari satelliti in orbita polare.

BANDE SPETTRALI UTILIZZATE

I primi satelliti meteorologici erano equipaggiati con telecamere che trasmettevano fotografie delle superfici illuminate del nostro pianeta. In seguito le telecamere sono state sostituite con **radiometri** in grado di discriminare i diversi tipi di radiazioni provenienti dalla terra.

In questo modo è possibile misurare non solo le radiazioni luminose riflesse ma anche forme invisibili di irraggiamento caratterizzate da differenti lunghezze d'onda.

Le bande spettrali che vengono usate per fornire immagini utili ai meteorologi sono tre:

- canale visibile 0,5- 0,7 micron (VIS)
- canale infrarosso «termico» 10,5-12,5 micron (IR)
- canale del vapor d'acqua 5,5- 7,1 micron (WV)

Le misure nel visibile (VIS) ci forniscono l'immagine della superficie terrestre come ci apparirebbe se noi stessi fossimo a bordo del satellite.

Le altre misure radiometriche ci permettono invece una visione «termica» della superficie terrestre, delle nubi (IR) e della ripartizione del vapor d'acqua nell'alta troposfera (WV).

Vi sono altre finestre spettrali che vengono utilizzate e che permettono di valutare ad esempio la temperatura della superficie del mare, i profili di temperatura e umidità dell'atmosfera in aria chiara (= sondaggi), la distribuzione dell'ozono ecc. Alcune di queste misure potrebbero essere molto utili alla previsione finalizzata al volo a vela, purtroppo questi e altri interessanti dati sono trasmessi in forma digitale ad alta velocità: una stazione in grado di ricevere ed elaborare queste informazioni è però molto complessa e costosa, dovendo tra l'altro disporre di un elaboratore opportunamente programmato.

I radiometri installati sui satelliti sono montati su un piccolo telescopio orientabile (fig. 3) e sono costruiti in modo tale da ricevere e misurare una radiazione proveniente da un'area molto piccola nei confronti della superficie di cui si vuole ottenere l'immagine. Mediante un appropriato meccanismo di scansione è possibile osservare in rapida successione un grandissimo numero di questi elementi: la quantità di irraggiamento ricevuta da ciascuno di essi viene convertita in livelli di «brillanza» e in questo modo è possibile ricostruire l'immagine.

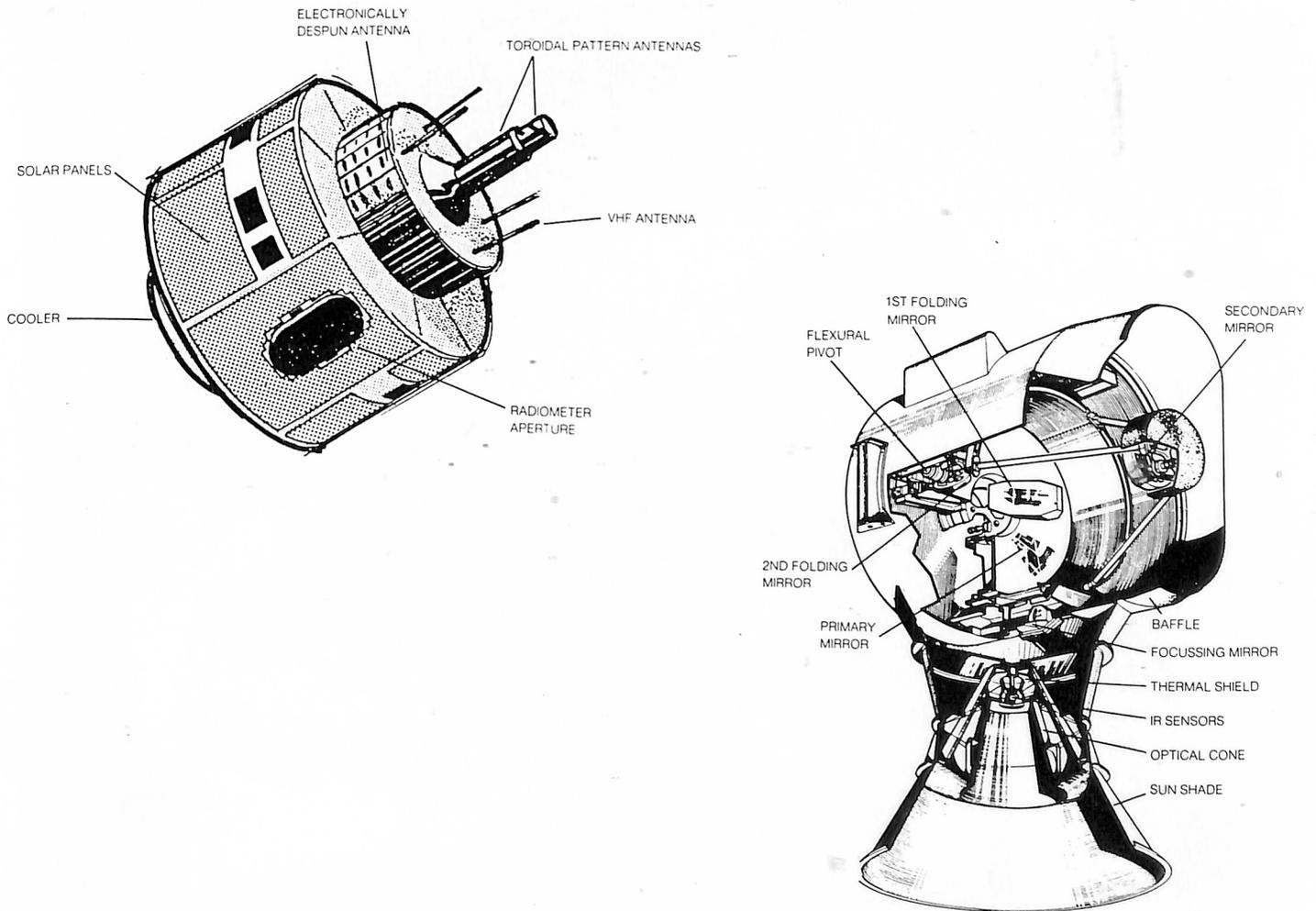


Fig. 3

Il satellite geostazionario Meteosat e il telescopio su cui sono montati i suoi radiometri.

Ogni punto elementare misurato dal radiometro può avere un valore di radiazione compreso tra 0 e 255, ciò significa che un'immagine può fornire 256 sfumature comprese tra il nero e il bianco. Siccome l'occhio umano non è in grado di apprezzare questa gamma così ampia, la restituzione fotografica viene fatta condensando i dati iniziali in 32 tonalità di grigio.

Per un'analisi accurata di campi termici ristretti (es. distribuzione delle temperature al suolo per previsioni di convettività) si può ricorrere a un monitor utilizzando la tecnica dei falsi colori: si tratta in pratica di convertire le sfumature di grigio in una scala cromatica convenzionale che l'occhio può discriminare molto più facilmente.

La dimensione reale dei punti elementari misurati dai radiometri determina la **risoluzione** dell'immagine e quindi le dimensioni minime che un corpo deve avere per essere osservabile. Questo valore varia da un satellite all'altro e da un canale all'altro: nel caso del satellite METEOSAT la risoluzione è di circa 2,5 Km nel visibile (VIS 1/2) e di 5 Km nell'infrarosso e nel vapor d'acqua.

Ciò significa che, nelle migliori condizioni e per le riprese sulla verticale, un corpo è rilevabile solo se le sue dimensioni sono superiori a quelle di un quadrato di circa 2,5 Km di lato.

I satelliti polari, volando a bassa quota e sulla verticale, hanno una risoluzione inferiore al Km (0,6 Km per taluni METEOR) ma il sistema di ricezione APT normalmente utilizzato dalle stazioni riceventi non professionali non permette di sfruttare a fondo la qualità di queste immagini (fig. 4).

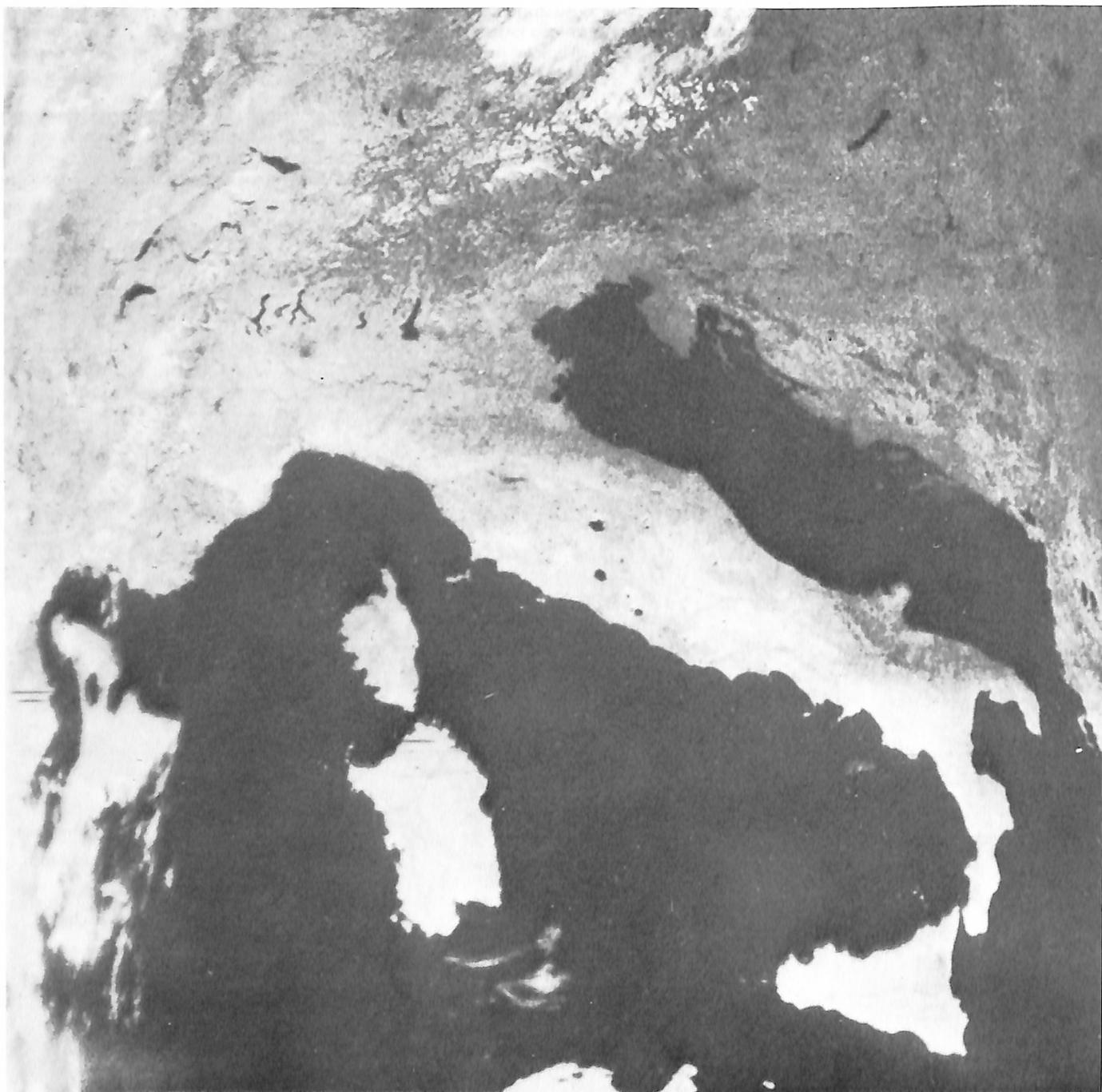


Fig. 4

Questa immagine, trasmessa dal satellite sovietico Meteor 1, è stata ripresa in estate (si noti il modesto innevamento dell'arco alpino). I bordi dell'immagine risultano deformati per mancanza di linearizzazione.

PRINCIPI DI INTERPRETAZIONE

IMMAGINI AL VISIBILE

Queste immagini si ottengono misurando la radiazione nel visibile (ossia la luce) e, come si è già detto, mostrano grosso modo quello che un osservatore potrebbe vedere se si trovasse sul satellite.

La luce ricevuta dal radiometro è la luce del sole riflessa dalle superfici sottostanti: l'immagine al visibile dipende quindi dall'incidenza che i raggi solari hanno in quel momento e dal potere di riflessione (albedo) dei corpi che vengono illuminati.

In questo tipo di immagine le superfici che appaiono più luminose sono quelle che riflettono più intensamente la luce del sole verso il satellite: si tratta in generale delle nubi, delle terre innevate, dei banchi di ghiaccio e dei deserti. La terraferma e i mari assorbono invece gran parte delle radiazioni e appaiono generalmente scuri. Il fenomeno è particolarmente accentuato nel caso delle grandi distese oceaniche. Tuttavia bisogna evitare eccessive generalizzazioni: se, ad esempio, le acque sono calme e il sole è basso sull'orizzonte, si può avere un «effetto specchio» che fa aumentare considerevolmente il potere riflettente delle distese d'acqua.

La riflessività media del sistema terra-atmosfera (albedo planetaria) è stimata attorno al 40%: ciò significa che circa i 4/10 della radiazione solare che giunge al nostro pianeta vengono direttamente riflessi verso lo spazio. La Tab. I fornisce l'albedo media di alcuni tipi di nubi e di zone terrestri come risulta dallo studio di un gran numero di fotografie inviate dai satelliti. Esaminando questi dati si può facilmente constatare che la maggior parte delle nubi è dotata di elevato potere riflettente; esse infatti ci appaiono generalmente bianche anche se l'inclinazione e la provenienza dei raggi solari possono creare zone di ombra più o meno accentuate, tali da offrire buoni effetti di rilievo, soprattutto con luce radente.

Il potere riflettente delle nubi dipende anzitutto dal loro spessore: evidentemente una velatura sottile avrà un'albedo trascurabile e, al limite, potrà lasciar vedere le nubi sottostanti mentre i grandi sistemi di nubi a sviluppo verticale avranno un elevatissimo potere riflettente. Inoltre l'immagine apparirà più brillante quanto più la superficie superiore sarà normale ai raggi solari: è per questo motivo che nebbie e nubi stratificate possono apparire molto luminose durante le ore centrali della giornata.

Anche la natura delle particelle che costituiscono le nubi (acqua o ghiaccio) e le loro dimensioni possono influire sulla riflettività: a parità di illuminazione e di spessore una nube di goccioline d'acqua sarà più brillante di una nube di ghiaccio.

Di solito la maggior parte delle nubi presenta un buon contrasto con le superfici sottostanti, vi sono però eccezioni da non trascurare:

- se la superficie è coperta da neve o da ghiaccio il suo contrasto con una qualsiasi nube si annulla;
- se una copertura semitrasparente di cirrostrati si trova sopra una superficie brillante (es. un deserto) il contrasto può essere insufficiente ad evidenziarla.

In questi casi, e in altri simili, è particolarmente utile la comparazione con la corrispondente immagine all'infrarosso e/o il confronto con le immagini precedenti e successive.

TAB. I
VALORI MEDI DELLA RIFLETTIVITÀ DELLE NUBI E DELLE SUPERFICI TERRESTRI
(Stime da satellite)

Cumulonemi (dimensioni notevoli)	92%
Cumulonemi (dimensioni modeste, top max » 6 Km)	86%
Cirrostrati (spessi e associati a nubi più basse)	74%
Cumuli e stratocumuli (oltre 6/8 sopra le terre)	68%
Strati (di spessore notevole)	64%
Sabbia dei deserti	60%
Masse di stratocumuli sopra gli oceani	60%
Neve (non recente su montagne e boschi)	59%
Strati (sottili sopra i mari)	42%
Cirri (isolati sopra le terre)	36%
Cumuli del bel tempo (oltre 6/8 sopra le terre)	29%
Sabbie miste a boscaglia	20%
Foreste di conifere	12%
Grandi distese lacustri	9%
Oceani	7%

IMMAGINI ALL'INFRAROSSO

Le immagini all'IR sono mappe termiche della superficie terrestre e della sommità delle nubi. Esse vengono elaborate misurando l'irraggiamento emesso sotto forma di calore dagli oggetti verso i quali il radiometro è diretto. Tutti i corpi, anche quelli «freddi», emettono radiazioni termiche, ma, in generale, quanto più l'oggetto è caldo tanto maggiore sarà l'intensità dell'irraggiamento.

L'elaborazione del segnale viene fatta in modo tale che una superficie appaia tanto più scura quanto più irraggia calore; ad esempio i deserti africani appariranno relativamente scuri, le nubi di ghiaccio bianchissime, mentre gli altri sistemi nuvolosi saranno più o meno chiari a seconda della loro temperatura.

Evidentemente le variazioni di temperatura tra il giorno e la notte e i cambiamenti di stagione e di latitudine influiscono sull'aspetto globale delle immagini all'infrarosso. Ad esempio durante la giornata le terre (più calde) appaiono più scure delle distese d'acqua (relativamente più fredde) (fig. 5). Di notte le temperature possono uguagliarsi o invertirsi, nel primo caso il contrasto può attenuarsi al punto da rendere impossibile distinguere la terra dal mare. I satelliti geostazionari eliminano le difficoltà di localizzazione perché le loro immagini vengono elaborate a terra e ritrasmesse con i contorni delle coste.

Le immagini all'infrarosso sono disponibili anche durante la notte e ci permettono di classificare, molto meglio che nel visibile, i diversi tipi di nubi. Queste infatti vengono solitamente distinte in nubi basse, medie, alte e a sviluppo verticale: è abbastanza agevole riconoscere queste categorie anche se non si devono pretendere informazioni certe sulla loro altezza; in genere:

- le nubi alte (cirri, cirrostrati...=nubi di ghiaccio) appaiono bianche perché molto fredde;
- le nubi medie (altocumuli, altostrati), meno fredde delle precedenti, saranno rappresentate da tonalità di grigio chiaro;
- le nubi basse (strati, stratocumuli, nembostrati) hanno la sommità relativamente più calda e quindi si mostreranno con tonalità di grigio medio o grigio scuro;
- le nubi a sviluppo verticale, riconoscibili anche per la caratteristica morfologia, appariranno tra il grigio scuro e il bianco a seconda dell'altezza raggiunta dalla loro sommità.

Può capitare che uno strato non venga rilevato (o lo sia troppo debolmente) in infrarosso. Questo avviene quando la sua temperatura è molto vicina a quella della superficie terrestre o marina adiacente. È il caso tipico delle nebbie spesso invisibili in IR, soprattutto quando ristagnano sul mare; nebbie e strati sono però ben evidenziati dalle immagini nel visibile.

Le informazioni provenienti dai sensori IR installati sui satelliti sono quindi particolarmente utili per la valutazione dei campi termici esistenti ai diversi livelli. Queste discriminazioni risultano molto più agevoli se l'apparecchiatura di ricezione prevede il trattamento dell'immagine con l'ampliamento della scala dei grigi, i falsi colori, l'ingrandimento dei dettagli.

La localizzazione in altezza di queste misure resta sempre un grosso problema: infatti è possibile stabilire correttamente la relazione radiazione/temperatura ma non lo è altrettanto la determinazione verticale del punto di misura. (Spesso si è costretti a utilizzare una legge di diminuzione di temperatura con la quota che non può essere che statistica). Bisogna perciò evitare di fare comparazioni altimetriche troppo strette: ad es. nubi di ghiaccio con la stessa temperatura (e quindi con la medesima tonalità di bianco) possono trovarsi a 12000 m in zona equatoriale e a 5000 m in zona subpolare.

Resta comunque vero che quanto più la sommità di un sistema nuvoloso è calda tanto più sarà bassa. Quindi si può ritenere che un sistema nuvoloso di tinta scura si trovi a modesta altitudine e sia costituito perciò da strati, stratocumuli...

MISURE DEL VAPOR D'ACQUA

Queste immagini danno informazioni sull'umidità media che esiste nell'alta atmosfera (5-10 Km al di sopra della superficie terrestre e quindi nella fascia compresa tra 500 e 300 mb).

Le zone secche appaiono molto scure mentre le zone umide sono relativamente più chiare. Chiazze di bianco vivido rappresentano la sommità di nubi molto sviluppate in altezza.

Le immagini del vapor d'acqua spesso evidenziano in maniera vistosa l'enorme rimescolamento in cui sono coinvolte le correnti atmosferiche che si producono attorno al globo e che non possono essere evidenziate con nessun'altra tecnica.

Per ottenere queste informazioni si utilizzano bande spettrali infrarosse entro le quali l'irraggiamento terrestre è assorbito dal vapor d'acqua presente nell'atmosfera. L'interpretazione approfondita di questi dati è molto complessa; i principi generali possono venir così riepilogati:

– nero o grigio scuro:	secco a tutti i livelli (o umido solamente al livello inferiore)
– grigio medio o chiaro:	mediamente umido nella troposfera media e superiore
– bianco puro:	umido a tutti i livelli o nubi dense in quota

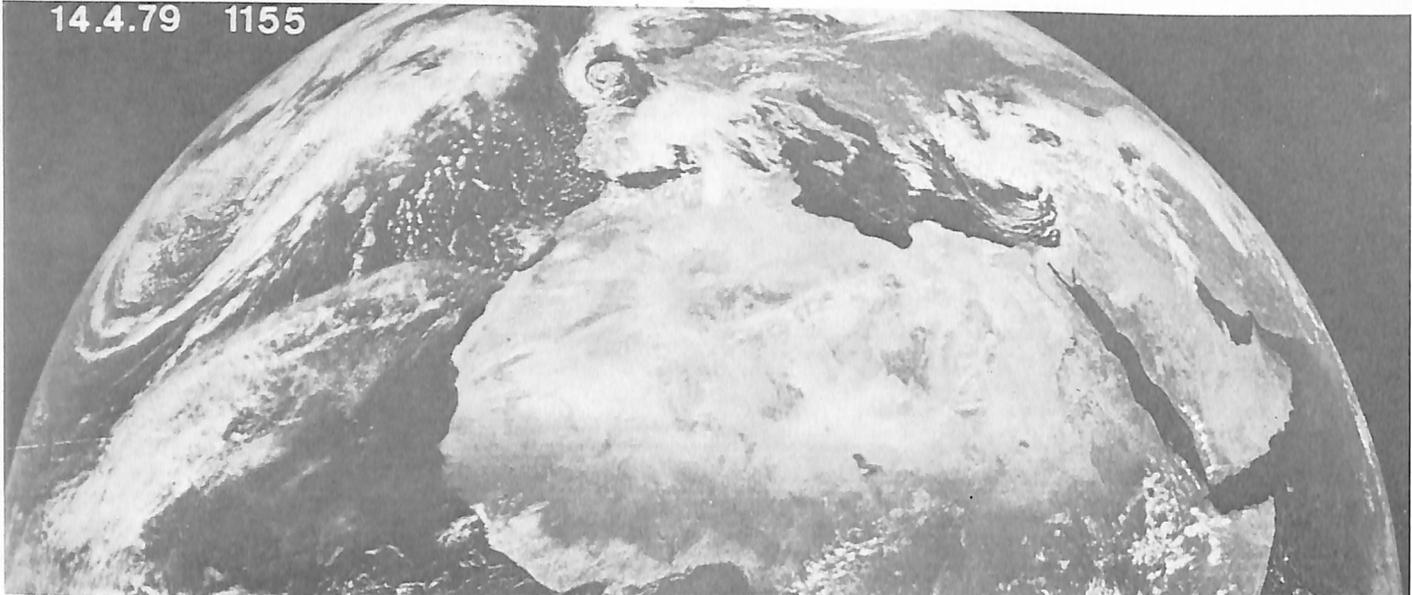
Le informazioni che provengono dalle diverse finestre spettrali si integrano a vicenda e quindi è consigliabile esaminarle contemporaneamente (fig. 6).



Fig. 5
 Immagini al visibile e all'infrarosso trasmesse dal satellite polare NOAA-7. Le fotografie, riprese sulla verticale del Mediterraneo, non presentano le accentuate deformazioni prospettiche, inevitabili con i satelliti a orbita equatoriale.
 Le due immagini VIS/IR vengono trasmesse a terra già abbinata e permettono di riconoscere con una certa sicurezza i vari tipi di nubi (nella seconda parte analizzeremo più dettagliatamente queste possibilità).
 Si noti come l'immagine IR evidenzia il forte contrasto di temperatura tra le terre e i mari.

visibile

14.4.79 1155



infrarosso

14.4.79 1155



vapor d'acqua

14.4.79 1155



Fig. 6

Questa tripla immagine trasmessa dal Meteosat mostra come un'identica situazione venga diversamente rilevata dai radiometri del satellite.

Vediamo ora quali sono le informazioni che il volovelista può ottenere analizzando e confrontando queste immagini.

È importante ribadire che le misure derivanti dall'impiego dei diversi canali spettrali sono tra loro complementari e quindi, almeno le immagini al visibile e all'infrarosso, dovrebbero essere esaminate contemporaneamente (ecco perché è raccomandabile disporre di un riproduttore fac-simile o di altri sistemi di memorizzazione).

L'analisi va condotta sia da un punto di vista statico sia da un punto di vista dinamico: sarà così possibile riconoscere le diverse nubi, studiare l'organizzazione dei sistemi nuvolosi, osservare la disposizione delle nubi d'onda o dei fronti di brezza, avviare previsioni sulla convettività (analisi statica).

Disponendo di mezzi per memorizzare e rivedere sequenzialmente le immagini, potremo farci un'idea sull'evoluzione delle perturbazioni e sull'intensità dei venti (analisi dinamica).

Esaminiamo più in dettaglio queste possibilità.

CLASSIFICAZIONE DELLE NUBI

È necessariamente molto più semplificata di quella che può essere fatta da un osservatore al suolo: il satellite non può distinguere dettagli o nubi di dimensione inferiore alla risoluzione dell'immagine e una copertura superiore maschera i corpi nuvolosi sottostanti. Prima di addentrarci nei particolari è utile richiamare il tipo di informazione caratteristico dei singoli canali spettrali:

- Il visibile è adatto per evidenziare la **struttura** delle nubi, grazie all'effetto di rilievo creato dal contrasto tra le zone di luce e le zone d'ombra. Talvolta queste immagini sono in grado di fornire indicazioni anche sullo **spessore** delle nubi (in generale più le nubi appaiono brillanti più sono spesse) e sulla loro **composizione** (a parità di condizioni di illuminazione e di spessore le nubi acquose appaiono più brillanti di quelle ghiacciate).
- L'infrarosso è in grado di dare informazioni anche durante la notte e permette di classificare — molto meglio che nel visibile — le diverse categorie di nubi.

Nubi alte

Sono composte da particelle di ghiaccio: si tratta quindi di nubi molto fredde che appariranno sempre bianche in IR. (Reciprocamente si può dire che tutte le nubi che si evidenziano con chiazze bianco puro in IR sono nubi di ghiaccio). Nel VIS la tonalità di queste nubi varia dal bianco al grigio in funzione della densità dei cristalli di ghiaccio, dello spessore della nube, dell'incidenza dei raggi solari e della presenza o assenza di nubi inferiori.

- **I cirri** sono abbastanza facili da identificare grazie ai criteri appena ricordati; con un po' di esperienza e osservando il modo con cui queste nubi sono distribuite, è possibile distinguere le sottospecie «fibratus» e «spissatus»; quest'ultima presenta spesso elementi nuvolosi globulari che nel VIS creano effetti di rilievo tali da far pensare a un campo di cumulonembi. Nel caso dei cirri però, queste ombre hanno sempre la medesima intensità da un elemento all'altro, mentre nei cumulonembi le ombre sono più o meno accentuate in relazione al loro sviluppo verticale.

- **I cirrostrati** sono nubi di grandi dimensioni, hanno aspetto stratiforme e la loro superficie è piuttosto liscia e regolare. Una variabilità di tinte nel VIS indica variazioni di spessore. Un sottile velo di cirrostrati rifletterà poco i raggi solari, sarà perciò grigio o traslucido nel visibile (permettendo di osservare gli strati sottostanti o la superficie) ma apparirà bianco in IR, a meno che il suo spessore sia veramente esiguo (fig. 7).

- **I cirrocumuli**, già di per sé rari, sono costituiti da elementi troppo piccoli per essere rilevati dai satelliti.

Nubi medie

Sono nubi comprese tra i 2000 e i 6000 m; un modo sicuro per identificarle è ricorrere all'infrarosso: se rileveremo nubi con una tonalità di grigio intermedia tra il bianco delle nubi di ghiaccio e il grigio scuro delle nubi basse, avremo accertato la loro presenza.

- **Gli altostrati** appaiono al visibile come una distesa piatta di tinta uniforme piuttosto chiara. Non è sempre facile individuarli perché spesso sono accompagnati da cirri e cirrostrati che li mascherano.

- **Gli altocumuli** hanno solitamente dimensioni inferiori al limite di risoluzione del radiometro: è perciò difficile vederli separati tra loro e distinguerli dagli altostrati coi quali si trovano frequentemente associati. Essendo nubi di instabilità e di turbolenza, la loro presenza può conferire al VIS un'immagine leggermente tormentata (soprattutto se si tratta di *Alto cumulus castellanus*).

Nubi basse

Questo raggruppamento comprende diversi tipi di nubi stratiformi (nembostrati, stratocumuli, strati, nebbie) la cui struttura è rivelatrice di un raffreddamento molto esteso in ambiente stabile. Queste nubi hanno una temperatura relativamente elevata e quindi in IR appariranno con gradazioni di grigio piuttosto carico.

In realtà nubi dello stesso tipo possono presentarsi in IR con tinte diverse al variare della latitudine: le nubi basse delle regioni polari sono evidentemente meno scure di quelle delle regioni tropicali. Per una valutazione più sicura del valore relativo dei toni di grigio è necessario far riferimento a nubi situate alla medesima latitudine.

In ogni caso il canale infrarosso non è di grande aiuto per osservare queste formazioni nuvolose: infatti la differenza di temperatura tra la parte superiore delle nubi e le zone circostanti è assai modesta e tende a ridursi ancor di più durante le ore notturne.

In compenso queste nubi vengono ben evidenziate nel visibile anche se non è sempre facile distinguere gli strati dalle nebbie perché entrambi appaiono uniformi e privi di rilievo; la tinta varia dal grigio chiaro al bianco a seconda della densità delle goccioline e dell'angolo di incidenza dei raggi solari (fig. 8).

Le nebbie sono più riflettenti e possono apparire addirittura brillanti; i loro bordi sono più sfilacciati sugli oceani, mentre sui continenti sono più netti e seguono le isopse contornando i rilievi e insinuandosi nelle vallate.

Se si verifica una marcata inversione termica, le immagini all'infrarosso la possono evidenziare; in questo caso le nebbie o gli strati appaiono più scuri delle zone circostanti (nebbie nere).

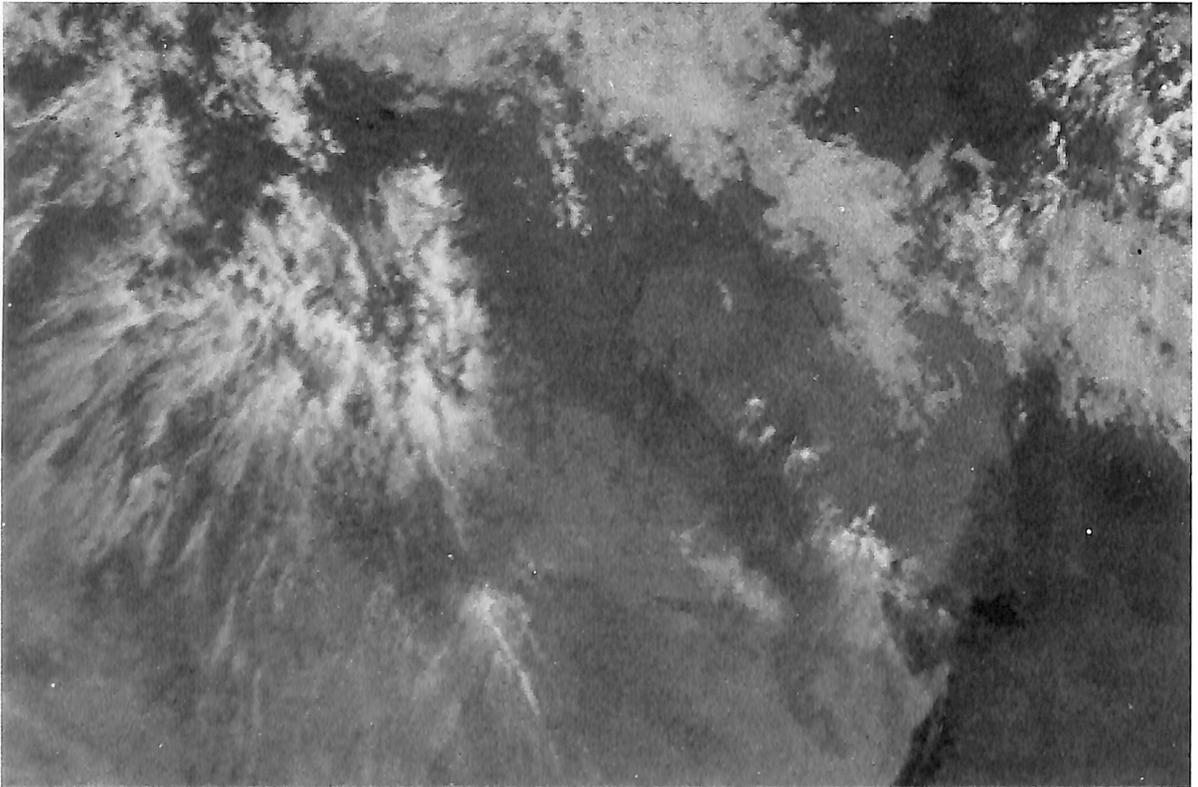
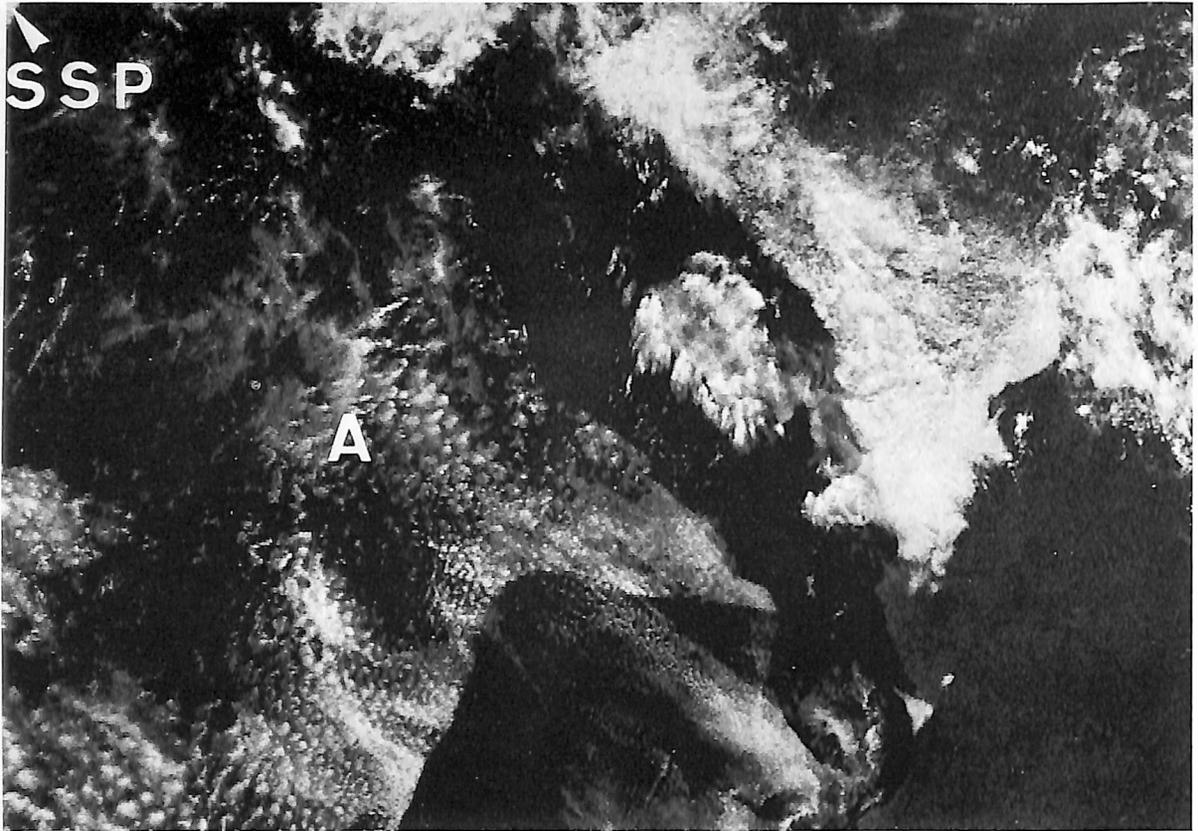


Fig. 7

Nella zona (A) dell'immagine al VIS si osserva un sottile velo di cirri (sp. fibratus) che permette di intravedere la sottostante coltre di stratocumuli.

L'immagine IR ci dà invece la reale dimensione e i dettagli di questa velatura di cirri.

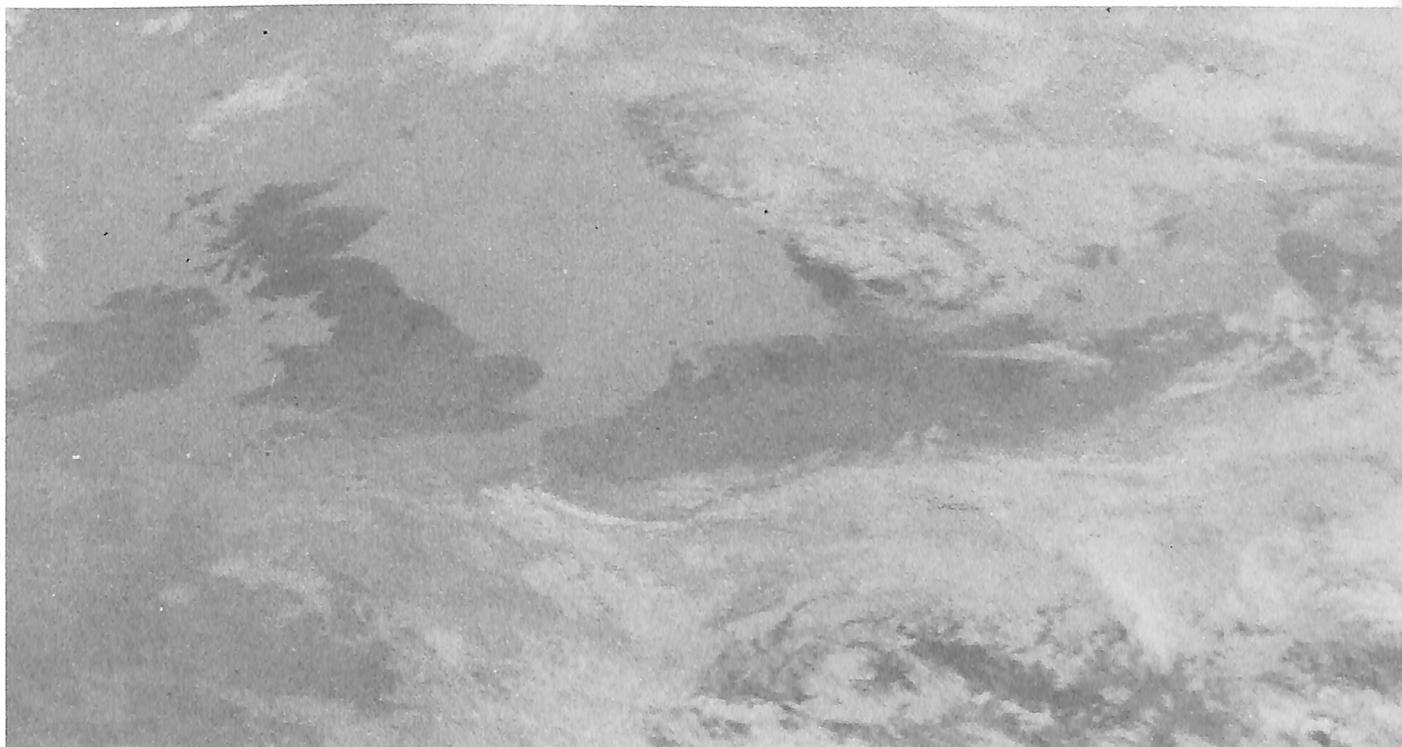
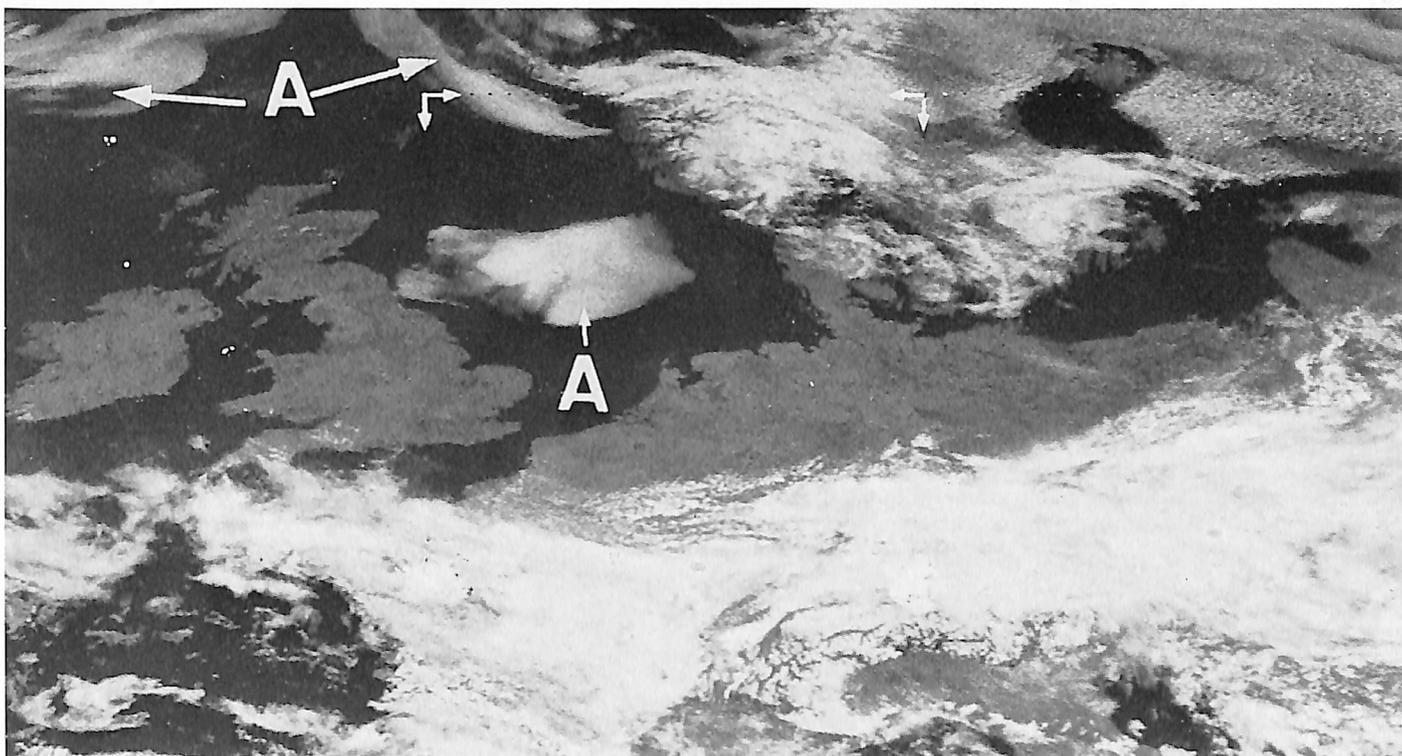


Fig. 8
Nelle zone (A) dell'immagine al VIS si notano nubi basse dall'aspetto regolare: si tratta di enormi banchi di nebbia le cui tinte variano dal bianco brillante al grigio medio a seconda dello spessore.
La corrispondente immagine IR non riesce a rilevarle perché il contrasto termico tra la superficie delle acque e la sommità degli strati è troppo modesto.

Nubi a sviluppo verticale

Comprendono nubi a rapida evoluzione (cumuli e cumulonembi) tipiche di atmosfera instabile e caratterizzate da dimensioni variabili a seconda dei diversi stadi di sviluppo.

L'esperienza insegna che raramente si presentano come fenomeni isolati in quanto le ascendenze si producono più o meno simultaneamente al di sopra di regioni relativamente estese.

È per questo motivo che si osservano sulle immagini raggruppamenti di nubi puntiformi spesso organizzati in cellule aperte o in bande.

- I **cumuli** del tipo «**humilis**» e «**mediocris**» hanno dimensioni troppo piccole per essere visti dal satellite tuttavia, se la loro densità è apprezzabile, l'area da essi occupata appare nel VIS più brillante rispetto alle zone circostanti libere da nubi.

Le strade di cumuli possono invece presentarsi come linee tracciate nella medesima direzione, queste linee appaiono saldate le una alle altre se gli intervalli che le separano sono inferiori alla capacità di risoluzione. (In genere la distanza tra strade adiacenti è il triplo dell'altezza della sommità dei cumuli).

- I **cumuli «congestus»**, più sviluppati in altezza e di maggiori dimensioni, producono nell'immagine al visibile un contrasto più marcato, soprattutto se il sole è basso. La parte superiore di queste nubi torreggianti è sufficientemente fredda per evidenziarsi con toni grigio chiari nell'immagine all'IR; invece le misure nel vapor d'acqua non permettono di rilevare la presenza di questi cumuli (fig. 9).

- I **cumulonembi** sono nubi temporalesche; raramente si presentano isolati e spesso sono caratterizzati da un'«incudine» di notevoli dimensioni che, vista dal satellite, è di forma ovoidale o subcircolare (fig. 10). Al VIS queste nubi mostrano nel complesso forte contrasto e notevoli effetti di rilievo; sono facilmente identificabili anche all'IR (termico e vapor d'acqua) ed è possibile distinguere i «capillatus» dai «calvus»: i primi appaiono come macchie di bianco brillante dai contorni ben definiti, i secondi hanno l'aspetto puntiforme. La sommità di queste nubi viene solitamente rilevata anche dalle immagini riprese nel canale di assorbimento del vapor d'acqua (WV).

Nubi d'onda

Le immagini inviate dai satelliti possono localizzare con chiarezza sistemi nuvolosi di natura ondulatoria e fornire informazioni tempestive sulla loro struttura (fig. 11 e 12).

Siccome le immagini all'infrarosso sono disponibili anche durante la notte, il satellite può rendere un prezioso servizio facendo guadagnare tempo e permettendo di pianificare i voli con un buon anticipo.

N.B. - Le fig. 13, 14, 15, 16 e 17 sono riepilogative delle situazioni finora esaminate.

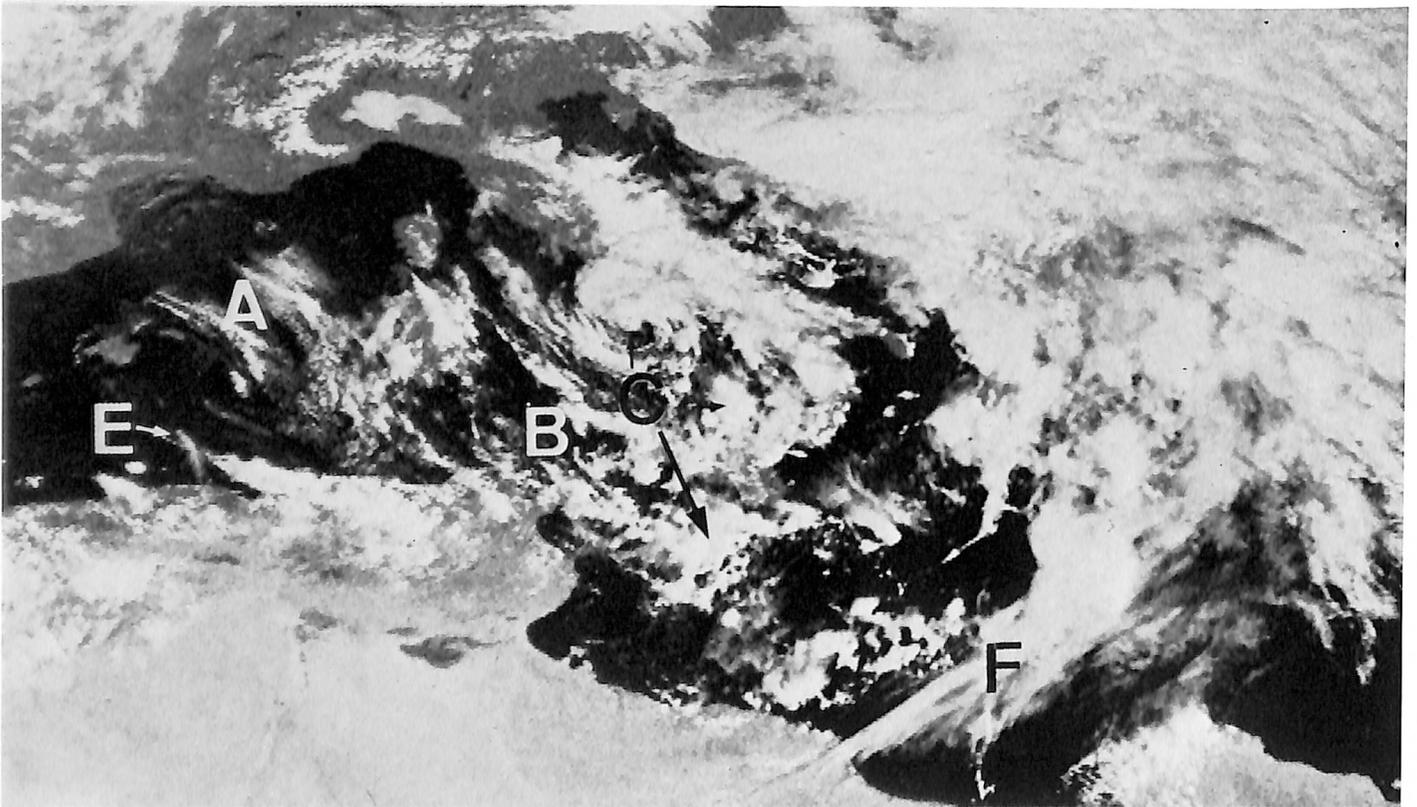


Fig. 9

Cumuli di diverse dimensioni sul Mediterraneo. La zona chiara in (A) testimonia la presenza di «cumulus humilis», mentre gli elementi in (B) sono cumuli congesti. Cumulonembi sono osservabili in (C) e la loro esistenza può essere provata in modo univoco dalle immagini al vapor d'acqua. In (E) e in (F) sono visibili formazioni di cirri. Nebbie sulla pianura padana.



Fig. 10

Questi imponenti cumulonembi sviluppatisi nella regione del fiume Congo, testimoniano gli effetti del riscaldamento diurno.

In (A) è visibile una sottile striscia di cirri e, nelle sue vicinanze, una nuova cellula convettiva in formazione (B).

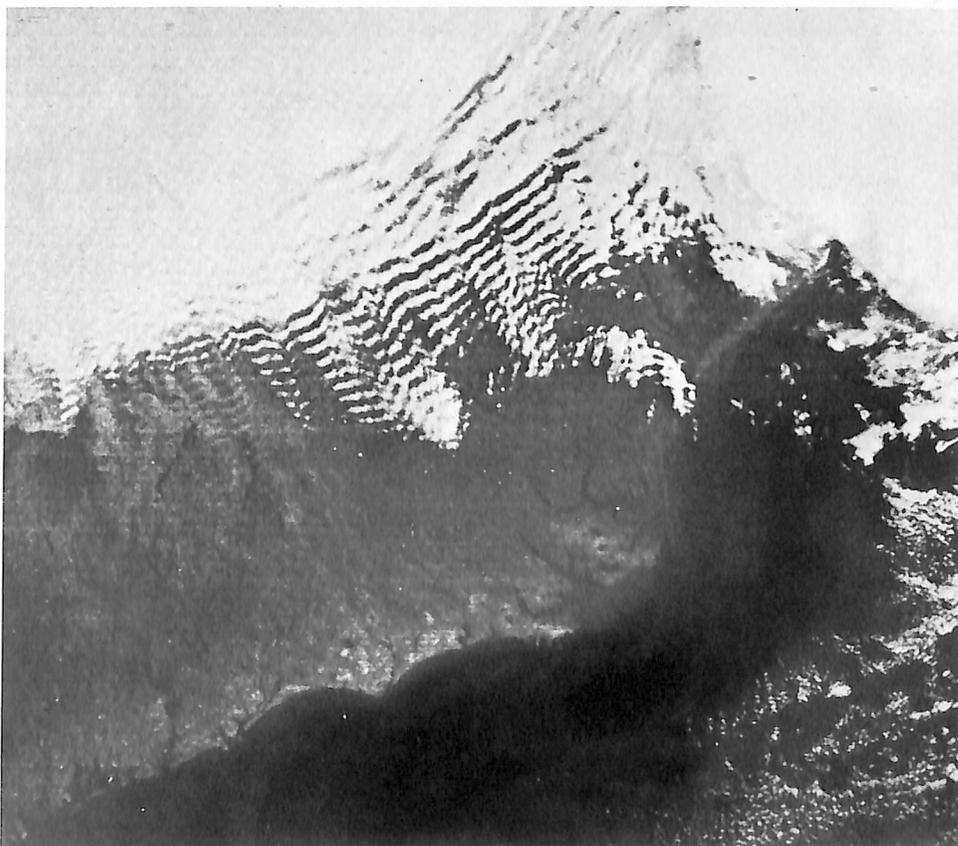


Fig. 11

Visione notturna (IR) di una situazione ondulatoria. Le immagini inviate dai satelliti hanno permesso di approfondire moltissimo la conoscenza di questi fenomeni.

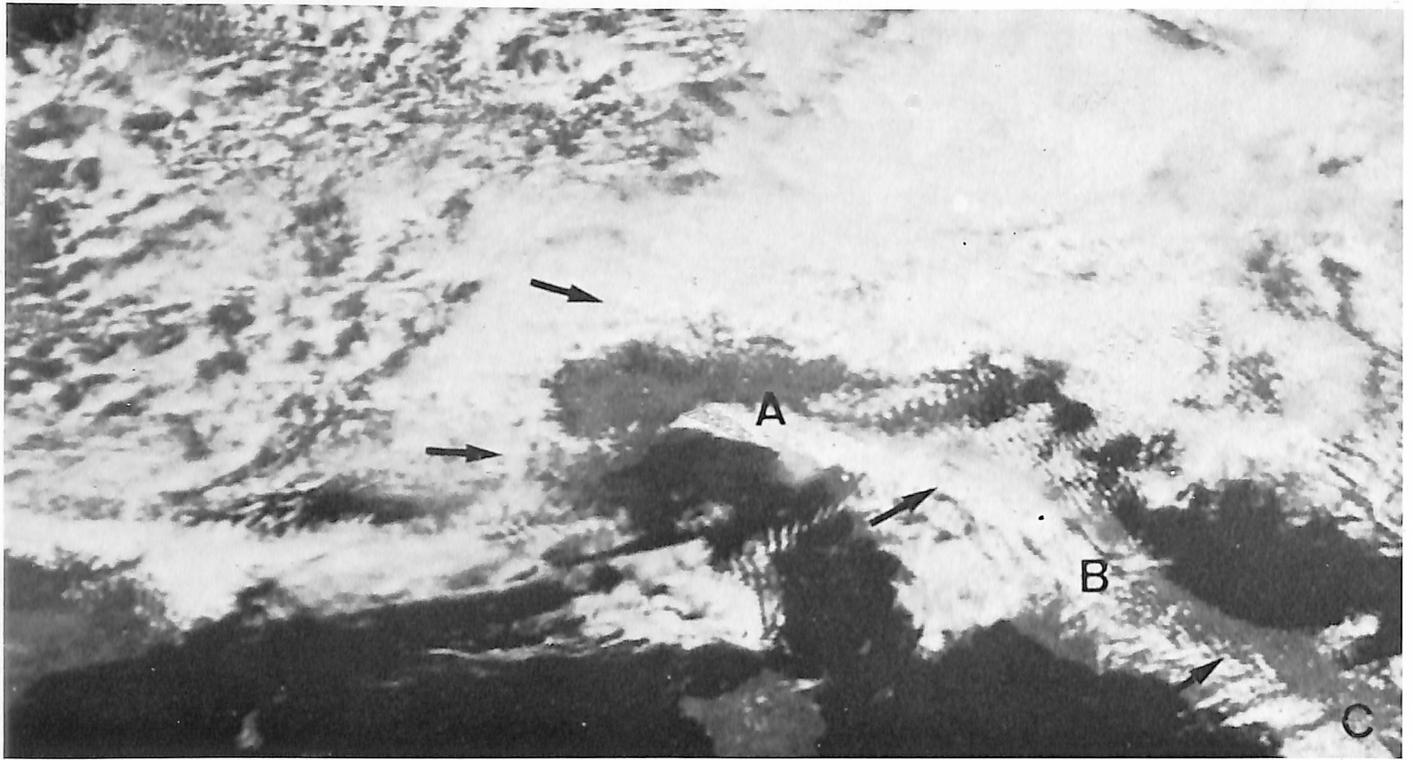


Fig. 12

Effetti orografici delle Alpi e degli Appennini.
La direzione dei venti è indicata dalle frecce.
La pianura padana è libera da nubi a causa del
föhn; sistemi ondulatori sono rilevabili sotto-
vento agli Appennini e a Est della Corsica.

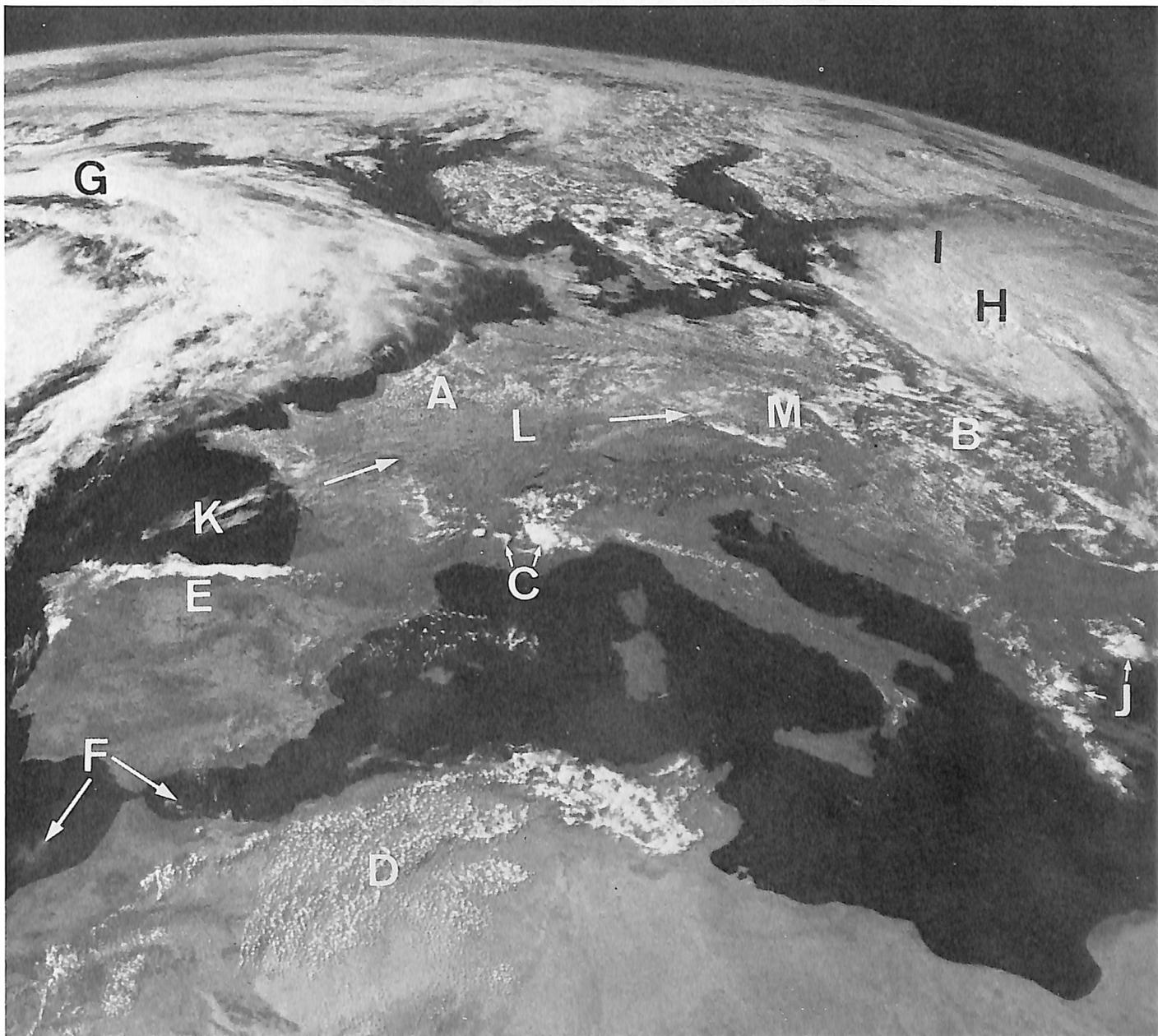


Fig. 13.

Immagine al visibile dell'Europa e del Nord-Africa.

Nella zona (A) i piccoli elementi nuvolosi sono cumuli del bel tempo, mentre gli elementi di grande taglia in (B) sono cumuli congesti. Nella zona Sud-Est della Francia si notano in (C) celle di cumulonembi, mentre in (D) si possono osservare degli altocumuli «castellanus», più instabili.

Una distesa di stratocumuli (E) nasconde la costa settentrionale della Spagna, mentre più in basso si intravedono banchi di strati (F). Altostrati e nembostrati, accompagnati da sistemi frontali si notano in (G) e (H).

Nubi cirriformi e una copertura di cirrostrati si possono riconoscere in (I) e sulle Isole Britanniche; una banda di cirri segue la linea KLM. Si noti in (J) l'incudine di un grande cumulonembo.

CANALE VISIBILE

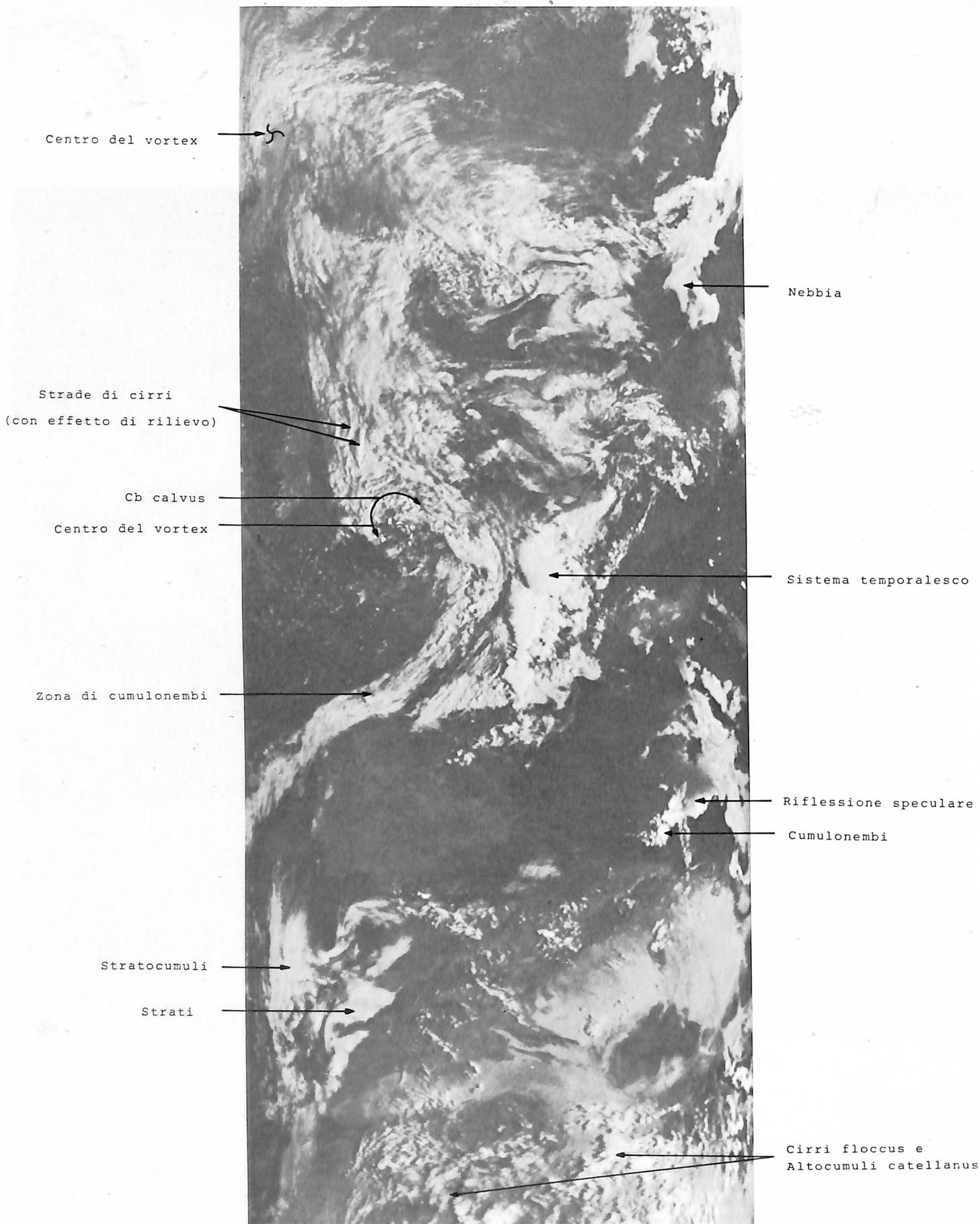


Fig. 14

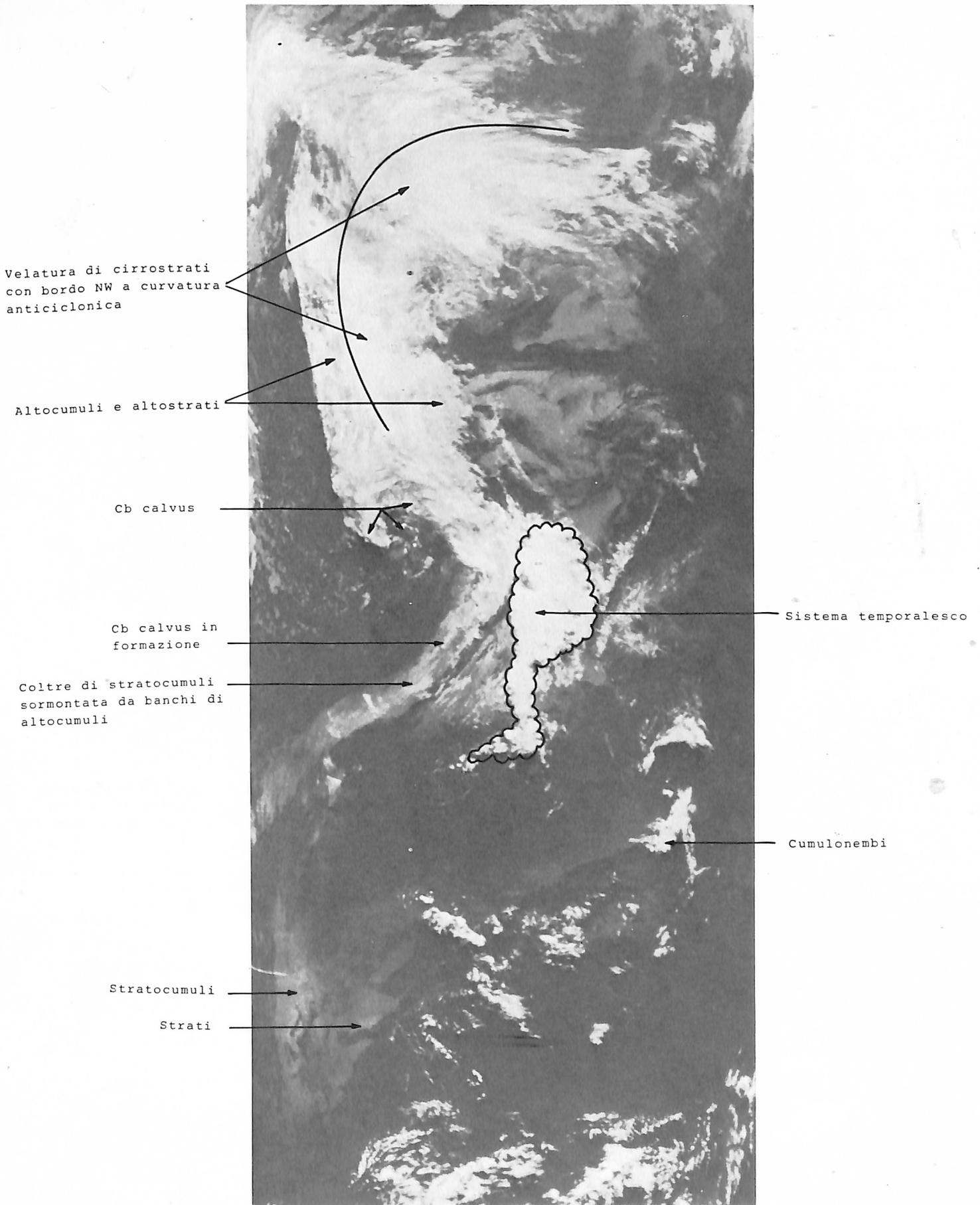


Fig. 15

CANALE VISIBILE

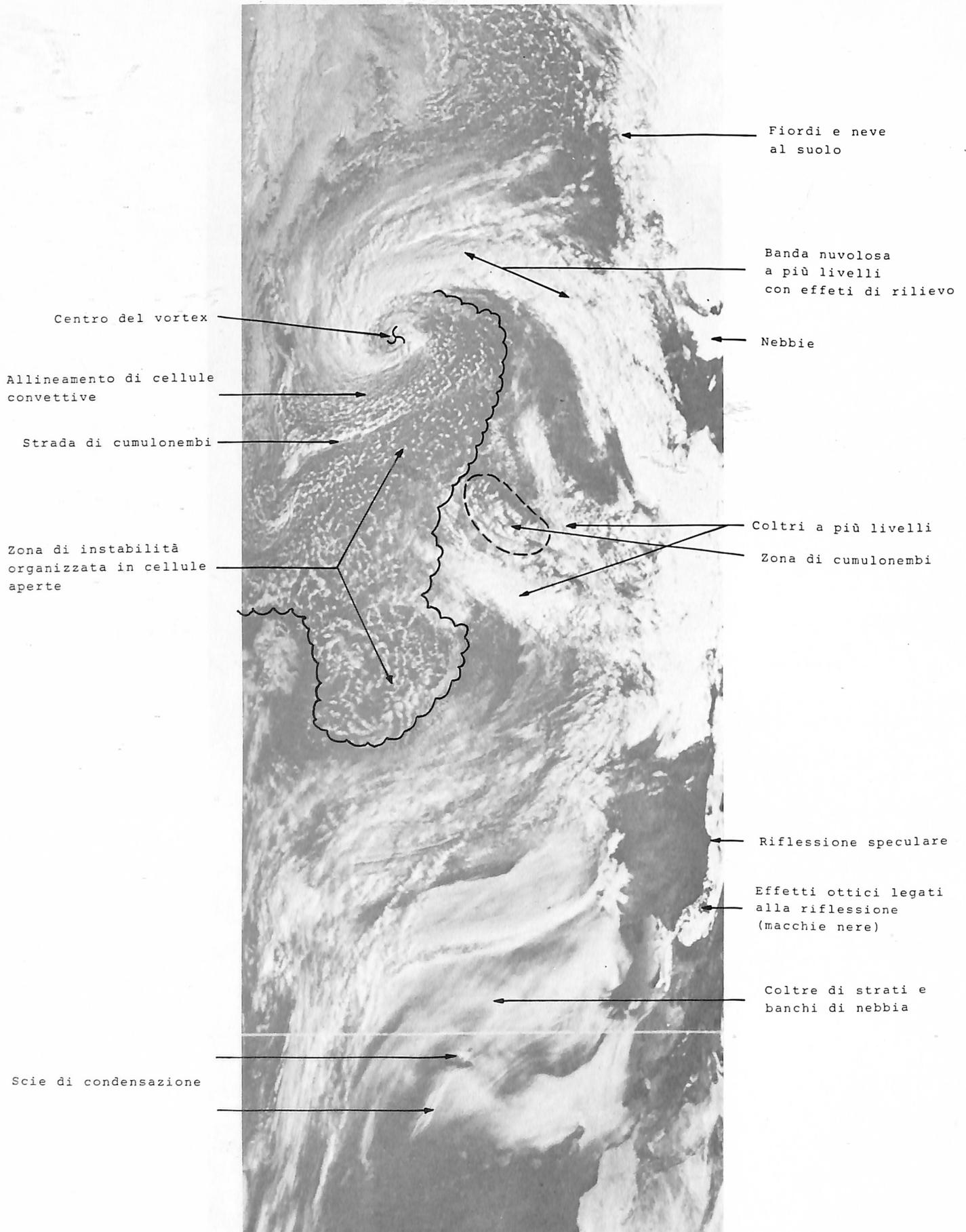


Fig. 16



Fig. 17

ORGANIZZAZIONE DEI SISTEMI NUVOLOSI

Capita spesso di osservare immagini di sistemi nuvolosi imponenti, caratterizzati da nubi avvolte a spirale attorno a un centro di rotazione. Queste strutture vengono chiamate in generale VORTEX. Le loro dimensioni sono molto variabili e la diversa origine delle nubi che li compongono rende necessaria una classificazione più dettagliata: avremo così vortex frontali, di convezione, vortex orografici, cicloni tropicali...

Lo studio di questi sistemi, possibile grazie ai satelliti, è di fondamentale importanza per la comprensione e l'analisi dei fenomeni meteorologici su scala sinottica.

La spirale formata da queste nubi può raggiungere e superare i 3000 Km di diametro; normalmente queste strutture, la cui vita media non supera i sei giorni, sono associate a zone di basse pressioni ma non vi è necessariamente correlazione stretta tra il minimo barico e il centro del vortex.

Le figg. 18 e 19 mostrano la disposizione che nel nostro emisfero assumono gli elementi caratteristici di un vortex frontale allo stadio di maturità. La struttura tipica è costituita dalla striscia nuvolosa CBAD (a tratteggio fitto nello schema) che può essere lunga alcune migliaia di Km. In essa distinguiamo:

- una parte centrale **A** larga fino a 1000 Km e costituita da un velo di cirrostrati che permettono di intravedere una denza coltre di nubi di media altezza (altostrati, altocumuli).
Il bordo nord dei cirrostrati è ben distinguibile e assume curvatura anticiclonica. Le nubi basse sono molto abbondanti come confermano le osservazioni al suolo;
- una parte **B** più a Nord formata da cirri abbondanti ma discontinui e/o placche isolate di cirrostrati; sotto vi sono ancora altostrati e altocumuli.
Il bordo interno è talvolta marcato dalla presenza di cumulonembi;
- una parte **C** che si assottiglia progressivamente verso il centro del vortex; vi si nota la scomparsa delle nubi alte e il frazionamento di quelle medie. Sono invece abbondanti le nubi basse e quelle a sviluppo verticale; il massimo di instabilità viene segnalato dai cumulonembi presenti generalmente nella parte anteriore;
- l'altra estremità della banda **D** è in genere costituita da nubi basse e si restringe progressivamente risolvendosi spesso in una sottile linea di stratocumuli.

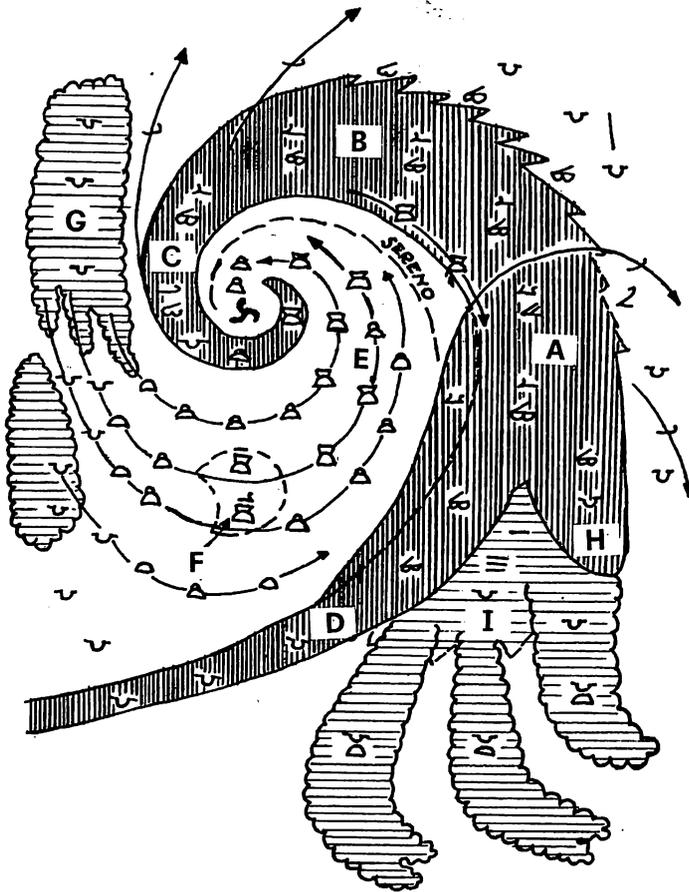


Fig. 18
Schema di un vortex frontale primario.
(Ridisegnato da J. Pério)

All'interno della spirale notiamo una zona serena e un'ampia area **E** caratterizzata da nubi di instabilità: cumuli congesti e cumulonembi, in cellule aperte, spesso disposte in linee convergenti verso il centro del vortex.

Il cielo è semicoperto e il massimo di instabilità è concentrato nella zona **F** dove si possono notare considerevoli ammassi di cumulonembi. Questa zona cumuliforme si prolunga senza soluzione di continuità verso nord-ovest (nel nostro emisfero) trasformandosi in coltre di strati e stratocumuli **G**.

Talvolta la parte centrale del sistema può estendersi lateralmente e dare origine a un vortex secondario localizzabile nella zona **H**, costituita da nubi basse abbondanti e/o da nubi medie discontinue; l'area **I** è invece caratterizzata da nebbie, strati e stratocumuli che possono prolungarsi di molto verso Sud.

Lo studio della formazione e dell'evoluzione di queste strutture è fondamentale per il previsore.

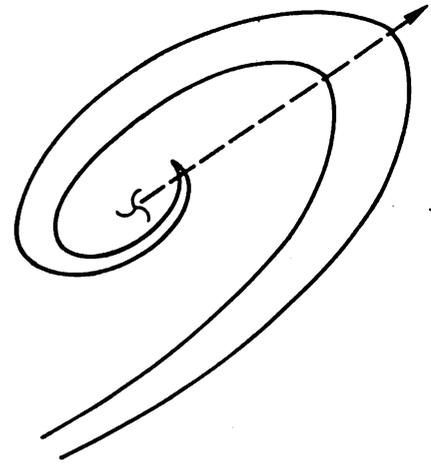
Data la complessità dell'argomento ci limitiamo alle considerazioni a carattere generale che accompagnano le fig. 20 e 21.



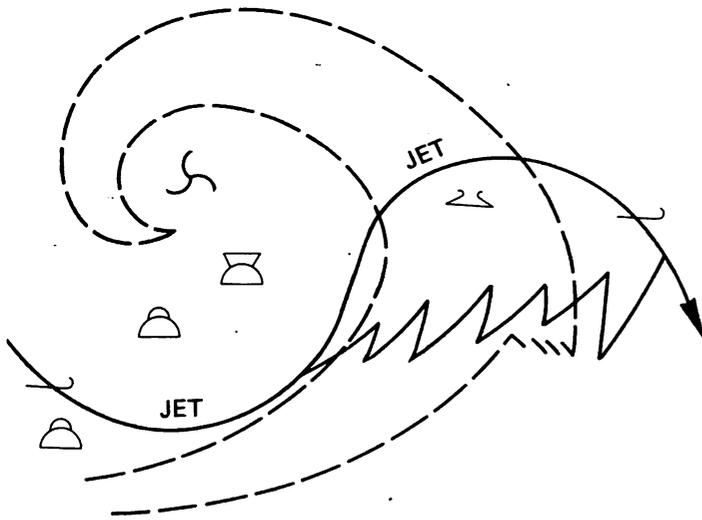
Fig. 19
Vortex a Nord-Ovest delle Isole Britanniche.



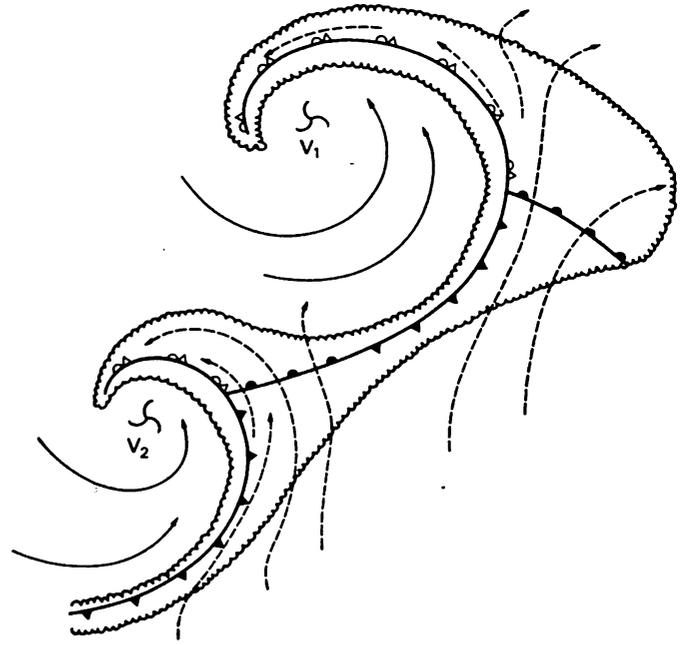
L'animazione cinematografica delle immagini permette di analizzare il caratteristico processo di dilatazione dei vortici. La figura indica le principali traiettorie delle particelle.



Lo spostamento orizzontale di un vortice può essere dedotto anche dall'osservazione di una sola immagine: esso avviene approssimativamente lungo la direzione indicata dall'asse congiungente il centro del vortice con il punto dove la curvatura della banda frontale è maggiormente accentuata.



Disposizione della corrente a getto nei confronti del vortice. A questi forti venti presenti nell'alta troposfera sono spesso associate formazioni nuvolose di cirri disposti in rotoli.



La figura rappresenta una ricorrente disposizione dei fronti in un tipico sistema di vortice. In un vortice frontale principale, il fronte freddo si situa normalmente nel quarto posteriore della banda nuvolosa.

Fig. 20
(da J. Péro ridis.)

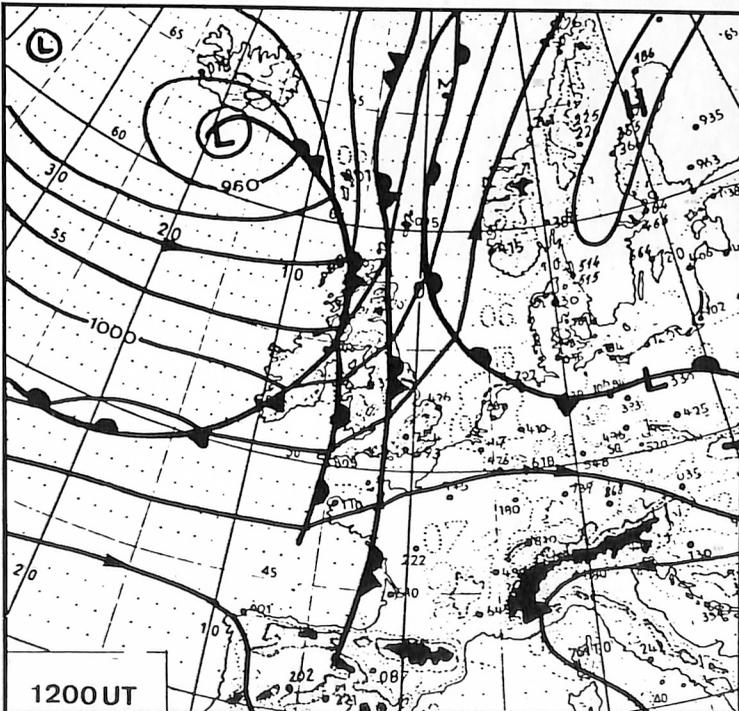
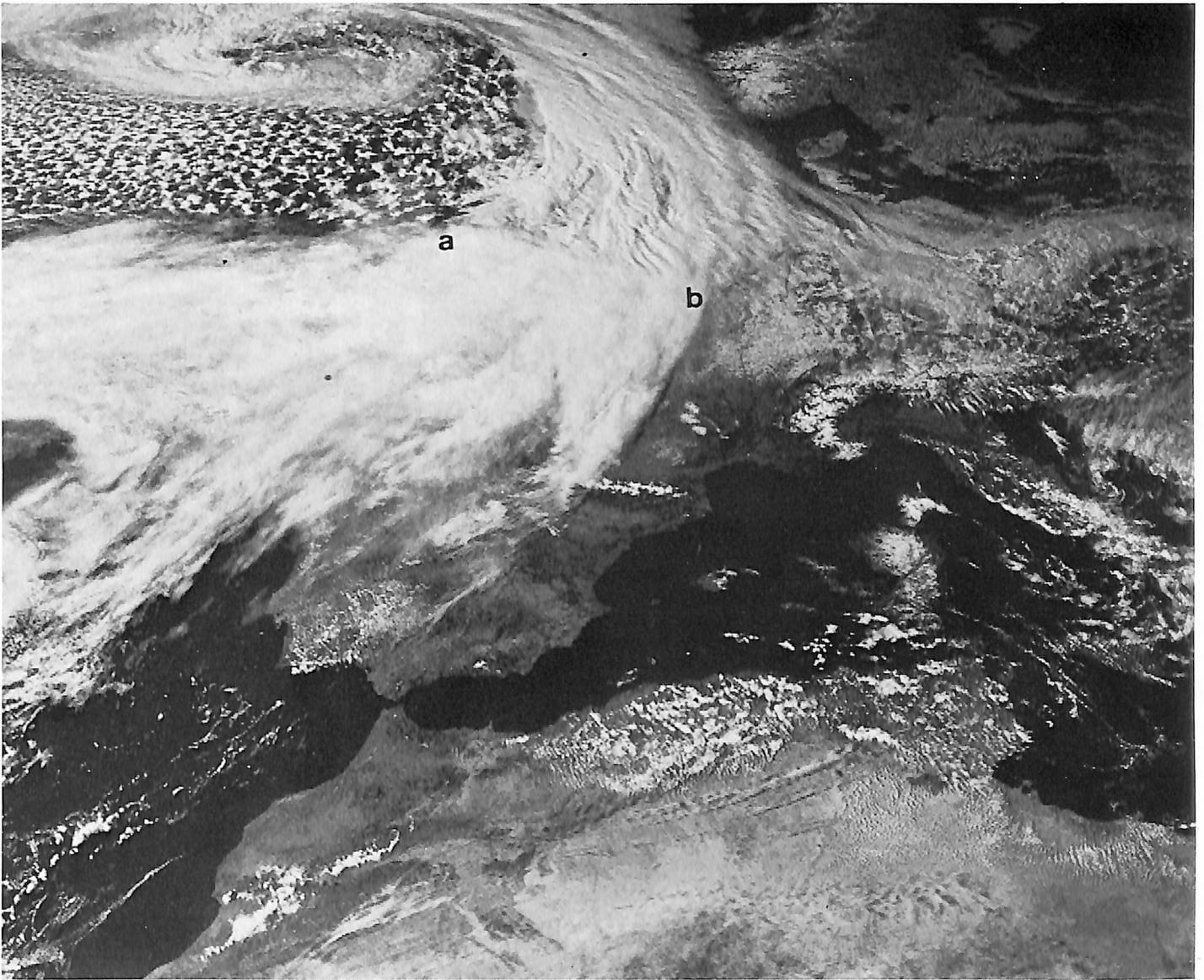


Fig. 21

Esempio di vortex frontale e corrispondente analisi al suolo. Il bordo netto sulle coltri dei cirrostrati segna il limite del sistema di occlusione a Sud (a-b).

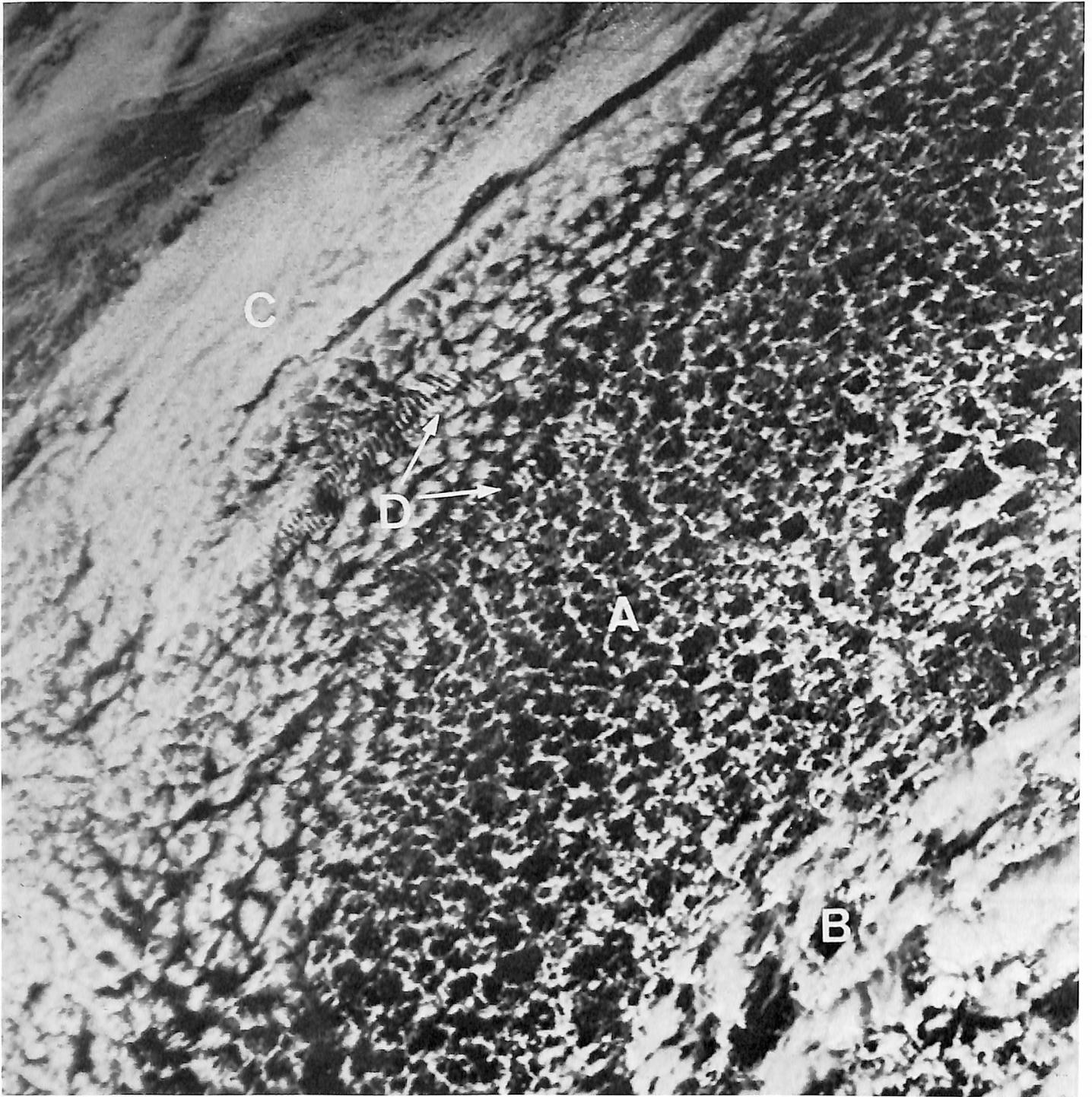


Fig. 22

In alto, a Ovest, sono riconoscibili cellule chiuse (C); il centro dell'immagine è occupato da un gran numero di cellule aperte (A). In (B) a causa di un'accentuata convettività abbiamo la formazione di cumulonembi. Le «impronte digitali» in (D) evidenziano la presenza di nubi orografiche, innescate dai rilievi montuosi delle Azzorre.

Altre strutture caratteristiche, rilevabili dall'analisi delle immagini trasmesse dai satelliti, sono le cellule aperte e le cellule chiuse (fig 22):

- le **cellule aperte** (fig. 23) sono caratteristiche zone di instabilità; i cumuli e i cumulonembi che le costituiscono sono distribuiti lungo il perimetro di cellule poligonali oppure sono disposte a U attorno a zone chiare. La dimensione di una cellula aperta è dell'ordine di 50-100 Km. Queste strutture si formano prevalentemente al di sopra degli oceani;
- le **cellule chiuse** (fig. 24) sono una caratteristica organizzazione degli stratocumuli (quindi di nubi di subsidenza); non hanno una forma ben definita e non presentano squarci di sereno. Le dimensioni di queste cellule sono mediamente compresi tra 100 e 300 Km.

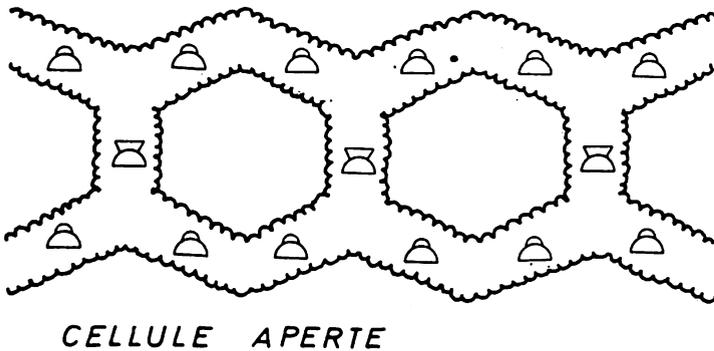


Fig. 23

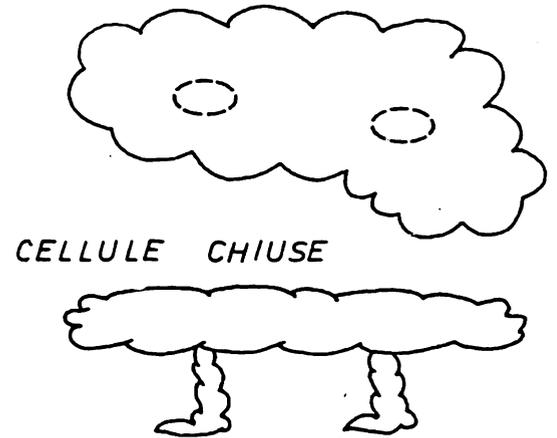


Fig. 24

PREVISIONI DI CONVEZIONE

Quando si è acquistata l'indispensabile esperienza con l'analisi e la memorizzazione di un buon numero di immagini, è possibile individuare situazioni-tipo e prevedere modelli di sviluppo dell'attività cumuliforme.

Disponendo di immagini all'infrarosso ad alta risoluzione è possibile talvolta prevedere le zone dove le ascendenze avranno maggiori probabilità di innescarsi.

Si può procedere in questo modo: partendo da immagini al visibile si localizzano le zone libere da nubi e, passando alle corrispondenti immagini IR, si osservano i contrasti di temperatura al suolo: la loro distribuzione può suggerire le traiettorie più favorevoli per il volo termico.

Queste «strade calde» hanno tracciati preferenziali legati soprattutto alle caratteristiche topografiche ma possono facilmente variare a causa di piogge recenti o cambiamenti nella direzione dei venti. Questa tecnica di previsione, particolarmente utile per il volo in pianura, è già stata utilizzata con frutto negli Stati Uniti; per noi sarà più promettente quando potremo disporre di immagini IR ad alta risoluzione.

Ecco qualche altra osservazione suggerita dai previsori: se al mattino si osserva una copertura di strati o stratocumuli, può essere importante — per scegliere un appropriato tema di volo — prevedere quale parte del sistema nuvoloso evolverà per primo in nubi convettive. Il satellite ci permetterà di individuare le zone dove gli strati sono più spessi e dove invece si trasformeranno più rapidamente in cumuli.

Un'altra considerazione abbastanza ovvia riguarda i temporali locali a evoluzione diurna: le zone dove questi hanno la maggior possibilità di svilupparsi sono quelle che al mattino risultavano serene. Questo perché le zone libere da nubi accumulano prima dell'altro energia sufficiente a innescare quei moti convettivi che, in determinate condizioni, possono dar luogo a temporali.

VENTI E FRONTI DI BREZZA

Le sequenze di immagini che i satelliti geostazionari inviano con regolarità cronometrica permettono di trarre informazioni anche sulle caratteristiche dei venti alle diverse quote.

Il principio su cui si basano queste stime è facilmente intuibile: le formazioni nuvolose vengono utilizzate come traccianti e, partendo dall'ipotesi che esse vengono trascinate dal vento, è possibile stimare la direzione e la velocità di quest'ultimo.

Purtroppo questo metodo presuppone la presenza di sistemi nuvolosi alle quote interessate e l'ipotesi che le nubi abbiano la stessa velocità del vento non è sempre esatta.

Vi sono infatti situazioni in cui nubi a ridosso delle catene montuose possono restare stazionarie anche se sono attraversate da forti venti (nubi orografiche) mentre, in altri casi, nubi che si accrescono o degenerano in aria calma possono dare illusione di movimento. L'altezza del vento nell'atmosfera è stimata tenendo conto della temperatura della sommità delle formazioni nuvolose: come sappiamo una determinazione di questo tipo va incontro a problemi di non facile soluzione.

Se ci accontentiamo di osservazioni qualitative potremo egualmente rilevare qualche interessante aspetto correlato ai movimenti delle masse d'aria.

La presenza di föhn è facilmente rilevabile al visibile grazie al netto confine tra il sereno delle zone sottovento e la fitta copertura di nubi sopravvento alle catene montuose (fig. 25).

Delle situazioni ondulatorie e dei sistemi ad esse associati si è già accennato a proposito delle nubi d'onda.

Le immagini trasmesse dai satelliti sono in grado di evidenziare il regime delle brezze quando queste influiscono sull'organizzazione delle nubi convettive; infatti la convettività può venir rinforzata da linee di convergenza a piccola scala quali sono appunto i fronti di brezza provenienti — durante la giornata — dal mare o dai laghi di una certa estensione.

Le immagini ci mostrano in quale misura questi sistemi penetrano all'interno delle terre e come le nubi si distribuiscono in funzione delle coste e della confluenza di brezze provenienti da diverse direzioni (fig. 26).

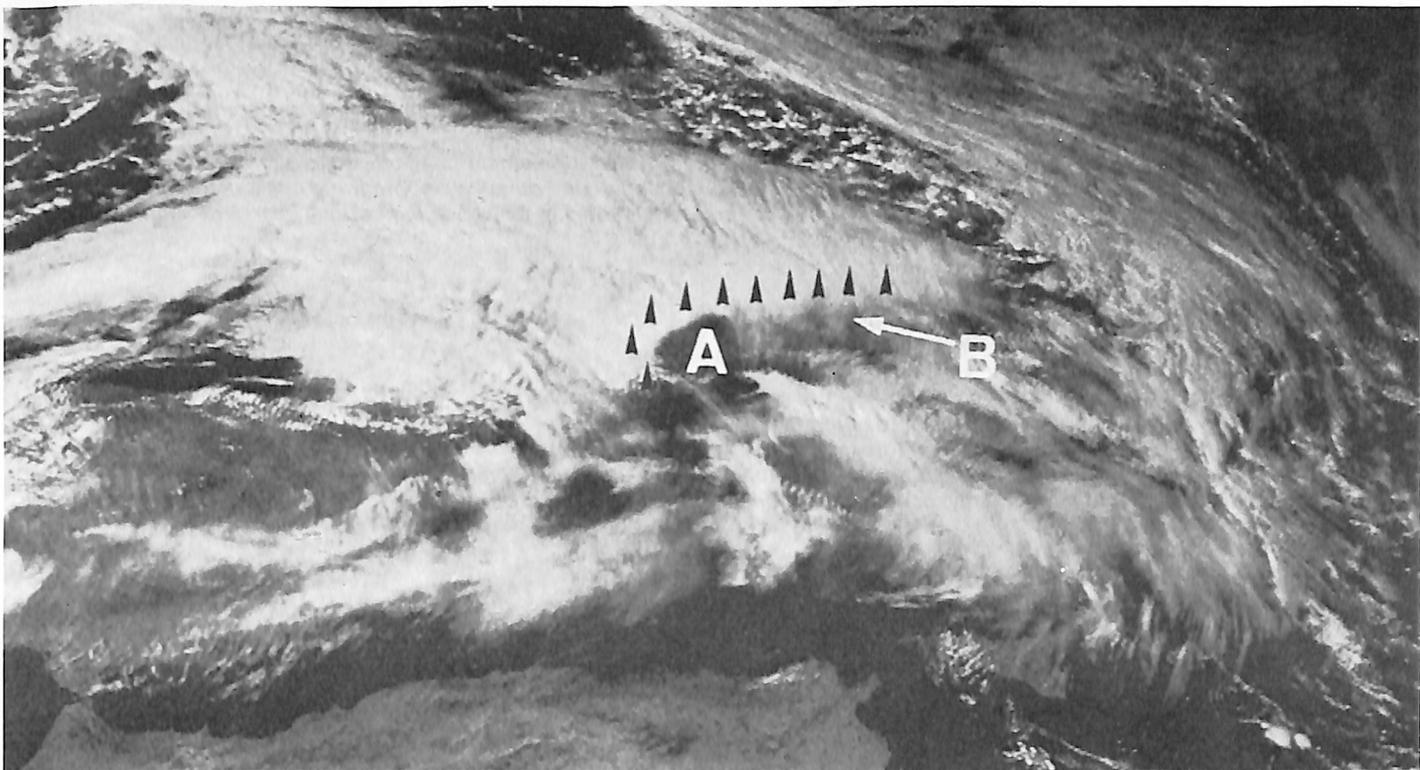


Fig. 25
 Il föhn che spira sull'Italia Settentrionale crea una zona di sereno molto netta (A). Più a Est una sottile coltre di nubi riesce a scavalcare la barriera montuosa (B).



Fig. 26
 Effetto dei fronti di brezza sulle coste del Mediterraneo e del Mar Nero: la distanza delle nubi dal mare indica il grado di penetrazione delle brezze. Nella parte alta dell'immagine si nota una struttura a cellule aperte che è piuttosto rara sui continenti.

BIBLIOGRAFIA

Queste note non hanno pretese di completezza e originalità; molte informazioni sono state desunte dalle opere citate in bibliografia: a queste conviene riferirsi per maggiori approfondimenti.

La fonte iconografica principale, utilizzata per questa piccola guida, è l'«Atlas of Meteosat Imagery» edito a cura dell'ESA. Le altre illustrazioni provengono da pubblicazioni tecniche dell'OMM e della Météo Nationale Française; le fotografie n. 4 e n. 5 sono apparse sulla «Guida alla ricezione dei satelliti meteorologici» di M. Righini che tratta dei problemi tecnici della ricezione ed è particolarmente ricca di informazioni sui satelliti polari.

Pubblicazioni a cura dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO - P.O. Box n. 5 - CH-1211 Genève - Svizzera)

- WMO n. 333 *The use of satellite pictures in weather analysis and forecasting.*
- WMO n. 413 *Applications of satellite data to aeronautical meteorology.*
- WMO n. 495 *Handbook of Meteorological forecasting for soaring flight.*
- WMO n. 531 *Quantitative meteorological data from satellites. (Edited by J.S. Winston).*
- WMO n. 585 *Satellites in meteorology, oceanography and hydrology.*

Pubblicazioni editate dall'Agenzia Spaziale Europea (ESOC 5, Robert Bosch Strasse - D-6100 Darmstadt (Germania Occ.))

- ESA SP-143 *Bizzarri B., 1979: Satellite data for weather analysis and forecasting.*
- ESA SP-159 *AA.VV., 1981: Satellite Meteorology of the Mediterranean.*
- ESA SP-1030 *Brimacombe C.A., 1981: Atlas of Meteosat Imagery.*
- ESA SP-1041 *Morgan J., 1981: Introduction to the Meteosat System.*

Altre pubblicazioni:

- Fourcy Ch., 1980: *The Water-vapour channel of Meteosat and its dark zones. Report of the Second Meteosat Scientific User Meeting, London. (ESA working document).*
- Gourka J.J., 1976: *Satellite and surface observation of strong wind zones accompanying thunderstorms. Monthly Weather Review 104, n. 12.*
- Pério J., 1982: *Météorologie Spatiale - Ministère des Transport, Paris.*
- Righini M., 1983: *Guida alla ricezione dei satelliti meteorologici. Associazione Radioamatori Italiani, Via Scarlatti 31, 20124 Milano.*
- Rovesti P., 1982: *Meteorologia per i piloti di volo a vela, pp. 355-365, Aeroclub d'Italia, 5ª edizione, Roma.*
- Ward N.R.: *The application of Meteosat pictures to forecasting and mid-latitude cyclogenesis. Report of the Second Meteosat Scientific User Meeting, London. (ESA working document).*

NOTA CONCLUSIVA

Le telecomunicazioni hanno sempre avuto un ruolo fondamentale per la previsione meteorologica.

I grandi progressi dell'elettronica integrata permettono oggi di dotarsi — con una spesa affrontabile anche dai piccoli clubs — di strumenti in grado di ricevere le informazioni che, con diverse modalità, vengono radiodiffuse dalla rete meteorologica mondiale. È quindi possibile avere a disposizione non solo le immagini dei satelliti, ma anche le mappe trasmesse in fac-simile e numerose serie di dati analitici. Questi ultimi, codificati nelle forme METAR, SYNOP, TEMP, ecc. e solitamente acquisibili con impianti di radiotelescrivente o telex, si possono oggi visualizzare collegando (per mezzo di un demodulatore) un qualsiasi ricevitore amatoriale ai più comuni home computer (Spectrum, Vic 20, Commodore 64 ...).

Quasi certamente tra i giovani piloti vi sono appassionati di informatica: potrebbero collaborare preparando programmi per selezionare, memorizzare e trattare le informazioni utili a chi si occupa della previsione locale per il volo a vela.

In questo modo — ad esempio — si possono acquisire e mantenere in memoria i radiosondaggi trasmessi in piena notte e, al limite, pensare di rendere automatico il lavoro normalmente eseguito sui diagrammi di Herlofson (cosa utile anche per i sondaggi in loco!).

VOLO A VELA è edita dal Centro Studi del Volo a Vela Alpino
Aeroporto «Paolo Contri» - Calcinate del Pesce - VARESE
Direttore Responsabile: Lorenzo Scavino
Stampa: Arti Grafiche Camagni - Como