

Meteorologia e previsione del tempo

Schede per gli studenti delle scuole medie

Supporto didattico e informazione documentaria

Meteorologia: informazioni generali

Il tempo sulla Terra è governato da leggi scientifiche che - bisogna ammetterlo - sono molto complesse e che non conosciamo ancora perfettamente. Per questa ragione è molto difficile prevedere il tempo che farà in un determinato luogo o per un lungo periodo con la precisione che generalmente associamo alle scienze esatte.

Sfruttando le informazioni provenienti da più di 6.000 stazioni meteorologiche sulla superficie del globo e da una rete di satelliti meteorologici che copre la totalità del pianeta, utilizzando la potenza di calcolo offertaci dalle tecnologie informatiche e tecniche matematiche molto elaborate, i meteorologi riescono comunque a definire previsioni molto precise a 24 ore (attendibili all'86%) e abbastanza precise a 3-7 giorni (attendibili all'80 % a 3 giorni). A più lunga scadenza, è praticamente impossibile ottenere un ragionevole grado di certezza.

I satelliti svolgono un ruolo importante nelle previsioni meteorologiche perché ci permettono di sorvegliare vaste regioni della Terra e di studiare le formazioni nuvolose, i fronti ad esse associati, le temperature, la composizione, etc. Grazie ad essi, possiamo per esempio osservare le bande nuvolose anche di notte e analizzare la distribuzione del vapore acqueo nell'atmosfera. I satelliti ci danno anche preziose informazioni sulla concentrazione dei gas allo stato di tracce (come l'ozono) e delle particelle di polvere in sospensione (aerosol), dei quali si sa che hanno un ruolo determinante nelle condizioni meteorologiche.

Tutti i fenomeni meteorologici, compresi i venti, le formazioni nuvolose, le temperature e le precipitazioni, traggono la loro origine dall'energia della radiazione solare. In assenza di questa radiazione, la Terra si raffredderebbe rapidamente fino a raggiungere la temperatura dello spazio extra-atmosferico e si trasformerebbe in un inerte blocco di pietra e di ghiaccio.

Il tasso di assorbimento dell'energia solare dalla superficie terrestre varia in base alla distanza dall'equatore. Nelle regioni polari, una stessa quantità di radiazione solare incidente copre una superficie molto più vasta che non all'equatore. Per questo motivo c'è molta più energia disponibile per unità di superficie sotto i tropici. L'inclinazione della Terra è un elemento altrettanto importante, all'origine delle stagioni.

La distribuzione ineguale di energia è il principale "motore" della circolazione dell'aria nell'atmosfera. L'energia solare assorbita è trasportata dalle regioni tropicali verso le più alte latitudini, generando sistemi di vento responsabili della circolazione globale.

Le basi della meteorologia

Quello che noi chiamiamo "il tempo" corrisponde a fenomeni che si verificano essenzialmente nel sottile strato composto dalla bassa atmosfera (troposfera e bassa stratosfera). È per la maggior parte condizionato da un piccolo numero di meccanismi fondamentali

1. Gli scambi di aria si producono seguendo dei corridoi con orientamento, approssimativamente, nord-sud. Questo processo risulta dal fatto che l'aria si riscalda più velocemente all'**equatore**, dove la superficie terrestre riceve la massima quantità di radiazione solare (il sole non riscalda direttamente l'aria ma il suolo). L'aria, riscaldata dal suolo sottostante, sale a una quota di 15 o 20 km, dove si raffredda derivando lontano dall'equatore, prima di ridiscendere sotto forma di una massa d'aria notevolmente più fredda. Il processo di circolazione si completa con il riflusso di questa aria verso l'equatore a bassa quota. Vengono così a crearsi le cosiddette "celle di circolazione" (vedere più sotto e anche sul CD: equilibrio della pressione, zona di convergenza intertropicale ITCZ).
2. Il **ciclo idrologico** è la causa dei fenomeni atmosferici come la formazione delle nubi, i sistemi di fronti e le precipitazioni. Il vapore acqueo contenuto nell'atmosfera è il più importante dei gas a effetto serra. Senza di esso, la vita sulla Terra non sarebbe possibile. Quantità colossali di acqua evaporano in permanenza nelle regioni equatoriali. Dopo essere salite in quota per convezione, formano le nuvole. Le masse d'aria che si allontanano dall'equatore formano a loro volta delle nuvole.
Se il vapore acqueo si condensa, ricade sulla superficie della Terra sotto forma di **precipitazioni**. Finirà poi per ritornare all'equatore attraverso le correnti oceaniche, gonfiate dal ruscellamento pluviale che termina la sua corsa negli estuari marini. Nell'evaporazione e nella precipitazione vengono coinvolte gigantesche quantità di energia.
3. Su scala continentale, **le celle di riscaldamento e di raffreddamento** sono responsabili delle zone di alta e bassa pressione (vedi modello insulare, il sistema mare/terra). L'interazione delle masse d'aria che presentano caratteristiche diverse (di pressione, umidità, temperatura) genera fronti e sistemi atmosferici.
4. La rotazione della Terra, e le conseguenti leggi di Coriolis (vedere CD), fanno sì che i sistemi atmosferici si spostano diversamente nell'emisfero settentrionale e nell'emisfero meridionale. Nel nostro emisfero, "avanzano" da **ovest a est**.
5. La causa immediata della variazione delle condizioni atmosferiche sono gli **squilibri locali** nella distribuzione della temperatura, dell'umidità, etc. I processi che ne derivano, considerati nel loro insieme, formano quei fenomeni complessi che determinano le condizioni meteorologiche.

Il modello insulare / Sistema mare/terra (Scheda 2/10)

(Pro memoria: la pressione in un determinato punto è il peso della colonna atmosferica che lo sovrasta). Il modello insulare è un buon esempio dei meccanismi di spostamento verticale delle masse d'aria. Di mattina, l'aria situata sopra una massa terrestre si riscalda molto più presto dell'aria che si trova sopra una distesa d'acqua adiacente. L'aria si riscalda anche molto prima su un campo aperto che non su una foresta, sul versante sud di una collina che non sul suo versante nord, su terre aride che non su un suolo paludoso, etc.

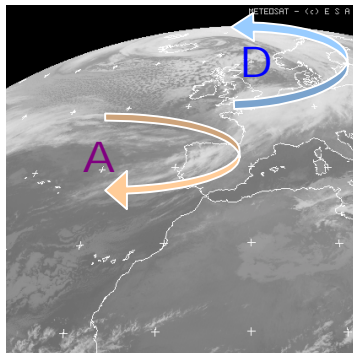
Nel corso della giornata, sopra le terre vengono a crearsi punti caldi locali che spingono l'aria a salire verticalmente, mentre l'aria che si trova sopra le zone vicine più fresche tende a prendere il suo posto, mantenendo così un equilibrio globale. Laddove le masse d'aria salgono, la pressione atmosferica diminuisce leggermente, (la densità è più bassa) mentre dove scendono (alta densità) la pressione sarà

leggermente più alta. È quello che spiega, per esempio, le brezze locali diurne sulle coste marine e ai bordi dei laghi, brezze la cui direzione si inverte di notte.

Inoltre, le caratteristiche più o meno uniformi di pressione, temperatura e umidità di una massa d'aria si modificano quando questa massa d'aria è in contatto prolungato con zone continentali od oceaniche. Correlato alle celle convettive su grande scala, questo fenomeno origina le depressioni e gli anticicloni dei quali ci parlano frequentemente i bollettini meteorologici, e che indicano:

1. un movimento geografico: il modo in cui l'aria si sposta (venti) fra le zone di alta pressione e bassa pressione,
2. un movimento orizzontale: quando la differenza di pressione (gradiente) è elevata,
3. un movimento verticale: moto ascendente rapido nelle depressioni ma poco significativo negli anticicloni, etc. , un fattore cruciale per capire l'evoluzione delle condizioni meteorologiche.

Per quanto riguarda l'emisfero settentrionale (al quale si limitano le spiegazioni che seguono), le forze di Coriolis fanno sì che i venti delle zone depressionarie circolano sempre in **senso antiorario** mentre nelle zone anticicloniche spirano in senso **orario** (nell'emisfero meridionale accade il contrario).



Le alte pressioni e le basse pressioni sono facilmente individuabili. Sull'immagine satellitare, le spirali nuvolose sono perfettamente visibili e, confrontando diverse immagini successive, è facile vedere in quale senso girano. Se girano in senso orario, si tratta di un anticiclone, nel caso contrario siamo in presenza di una depressione. Il centro di un anticiclone è senza nuvole.

< Immagine Meteosat che mostra nuvole e fronti nel visibile

Correnti ascendenti, convezione e origine delle nuvole (Scheda 3/10)

L'acqua è presente ovunque nell'atmosfera sotto forma di vapore: goccioline d'acqua e minuscoli cristalli di ghiaccio in sospensione nell'aria. È nella bassa atmosfera che la sua concentrazione è più alta. Infatti, più l'aria è calda, più può contenere vapore acqueo. In alcune condizioni, il vapore si condensa a bassa quota, dando luogo alla nebbia.

Le masse d'aria ascendenti si raffreddano progressivamente – di circa 1°C per 100 metri di altitudine nella troposfera. Quando la temperatura si avvicina alla soglia detta "punto di rugiada", il vapore acqueo incomincia a condensarsi in modo visibile. Questo processo si accelera in presenza di aerosol, ossia di minuscole particelle di polvere alle quali possono aderire le particelle d'acqua.

Quando il moto ascendente è dovuto ad un riscaldamento dell'aria al suolo, si parla di convezione. Se gli scambi d'aria e di calore con l'atmosfera circostante sono

trascurabili, si dice allora che l'ascensione è "adiabatica". I fenomeni di convezione su grande scala sono all'origine delle bufere, dei tornadi, etc.

L'aria può anche sollevarsi per altre ragioni. In un'ascensione "orografica", le masse d'aria che si spostano orizzontalmente incontrano un ostacolo (una catena montuosa, per esempio) che le costringe a salire. Si può allora vedere una fascia nuvolosa che si forma contro la catena, con le nuvole situate tutte alla stessa quota. Lo stesso accade quando s'incontrano due diverse masse d'aria (fronti).

Una massa d'aria molto secca non può formare nuvole, salendo in quota, se non contiene sufficientemente vapore.

Nuvole e pioggia (Scheda 4/10)

Le nuvole sono delle zone dell'atmosfera cariche di goccioline d'acqua e di cristalli di ghiaccio in sospensione. Quando si forma una nuvola in seguito ad una corrente d'aria ascendente, le particelle più piccole si alzano insieme all'aria, mentre le più grandi, più pesanti, cadono. Se queste gocce raggiungono la superficie della Terra, piove. Accade tuttavia che queste gocce evaporano prima di toccare il suolo o che si congelano formando dei fiocchi. I cristalli di ghiaccio che cadono da una nuvola diventano talvolta talmente grossi da formare la grandine.

Le nuvole che accompagnano i fronti caldi e i fronti freddi non sono dello stesso tipo, per via delle diverse condizioni che provocano il movimento ascendente delle masse d'aria. Spesso le nuvole si classificano in base all'altezza alla quale si trova la loro base.

Nuvole caratteristiche di un fronte **freddo**: Cumulo-nembi, Cumuli

Nuvole caratteristiche di un fronte **caldo**: Cirro-strati, Cirri, Alto-strati, Nembo-strati

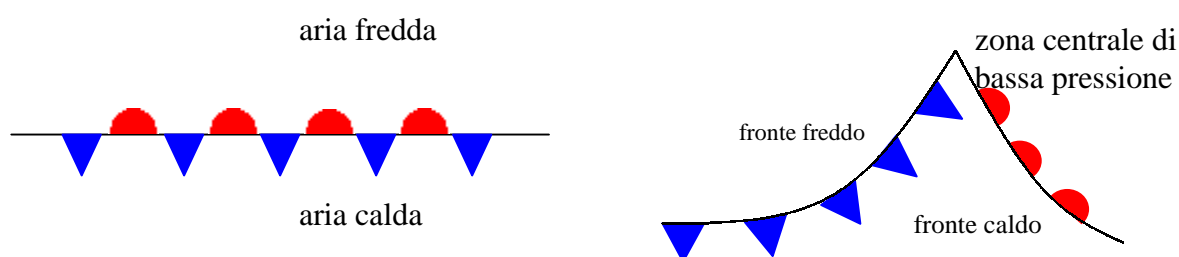
Alte e basse pressioni

Nelle regioni situate nelle latitudini medie, i venti dominanti sono venti d'ovest che, trasportando con loro una serie di sistemi depressionari e di anticicloni, causano l'instabilità del tempo caratteristica delle nostre regioni. I sistemi di alte e basse pressioni sono in sostanza grandi masse d'aria in rotazione. Le **basse pressioni** sono anche dette "depressioni" o "cicloni", e le **alte pressioni** "anticicloni".

Vita e morte di una depressione nelle latitudini medie (Scheda 5/10)

I cicloni, o depressioni, si sviluppano di regola nelle latitudini intermedie nelle zone dove le masse d'aria tropicale o subtropicale incontrano le masse d'aria polare fredda. Le depressioni che abbiamo in Europa sono abitualmente originarie dell'Oceano Atlantico. Il fronte polare è per lo più stazionario, ed è caratterizzato da un forte gradiente di temperatura da nord a sud.

Nell'emisfero settentrionale si presenta normalmente la situazione seguente:

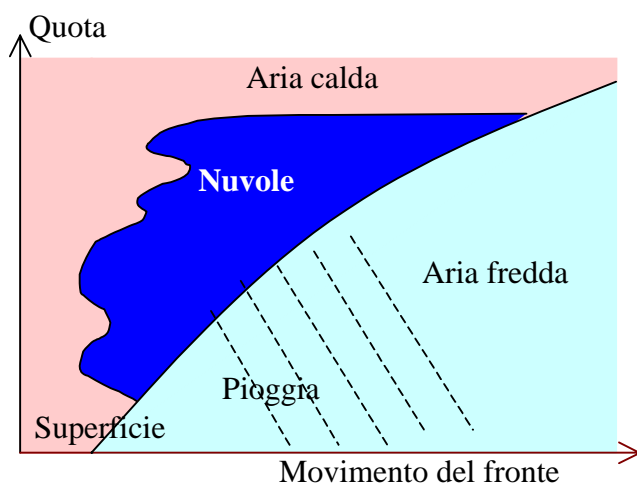


In questo esempio, si è verificata un'incursione d'aria fredda in direzione del sud e di aria calda in direzione del nord, il che ha creato nel fronte una perturbazione simile ad un'onda (immagine a destra). Localmente instabile, questa perturbazione cresce rapidamente in termini di dimensioni ed intensità sino a formare una vera e propria depressione organizzata, secondo il modello classico, con un **fronte caldo** ed un **fronte freddo**.

Quando un fronte caldo si sposta, se ne avverte l'effetto al suolo: l'aria fredda viene progressivamente sostituita dall'aria calda. Nel caso dello spostamento di un fronte freddo, avviene il contrario.

Fronte caldo

Dal lato "caldo" del fronte, l'aria è meno densa di quella che si trova dall'altro lato, sicché fluisce e tende a salire. Una sezione trasversale dell'immagine mostra che la parte anteriore del fronte è inclinata e che la massa d'aria calda sale man mano che la massa d'aria fredda avanza. Questo processo determina la caratteristica formazione di nuvole che l'immagine del satellite permette di individuare facilmente.

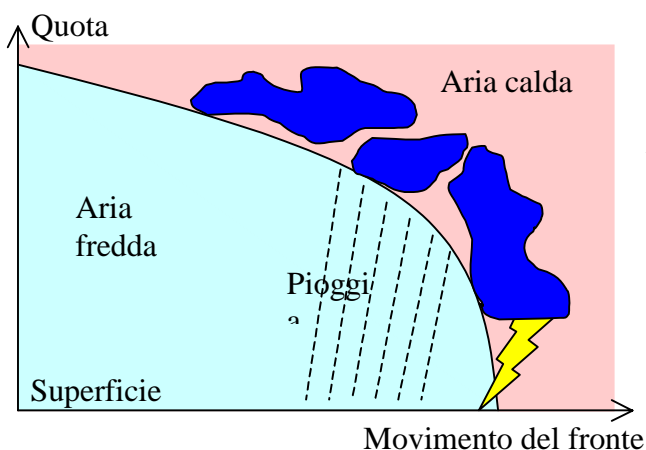


Quando la massa d'aria calda si alza, si formano nuvole a strati (stratiformi), associate a piogge o nevicite persistenti, ma poco intense.

Le nubi stratiformi tipiche di un fronte caldo possono essere di diversi tipi: nembo-strati, alto-strati, cirro-strati.

Fronte freddo

Un fronte freddo è una linea di demarcazione fra l'aria calda e l'aria fredda. Il risultato del passaggio di un fronte freddo è che l'aria calda è stata "scalzata via" dall'aria fredda.



L'aria fredda, densa, avanza spingendo verso l'alto l'aria calda, più leggera, in modo molto simile a quello che accade con un fronte caldo. Tuttavia, dal momento che i fronti freddi avanzano più velocemente dei fronti caldi, l'angolo (sezione trasversale) è molto più accentuato.

Sistema di bassa pressione estiva (Scheda 6/10)

Sistema di bassa pressione invernale (Scheda 7/10)

Esempi di condizioni meteorologiche classiche (Scheda 8/10)

In Europa, il tempo è caratterizzato da certi tipi di condizioni meteorologiche ricorrenti. Eccone tre esempi tra i più comuni.

- **Aprile:** incursione di aria fredda. Un sistema depressionario di grande entità situato nel nord dell'Europa, le cui masse d'aria circolano in senso antiorario, porta aria polare fredda in direzione del continente. Sopra l'Oceano Atlantico l'aria di mischia al vapore acqueo. Per l'Europa, questa combinazione è sinonimo di tempo fresco accompagnato ad abbondanti precipitazioni – i proverbiali acquazzoni di aprile.
- **Estate:** dorsale anticiclonica. Due anticicloni adiacenti si fondono insieme sopra la Scandinavia. La loro rotazione in senso orario porta verso il centro dell'Europa aria continentale secca venuta dal nord-est e dalla Russia. Passando sopra queste regioni continentali, l'aria si riscalda portando un tempo estivo caldo.
- **Autunno:** bassa pressione. Un potente sistema depressionario porta verso l'Europa un flusso d'aria umida relativamente calda venuta dall'Atlantico. Questa aria è molto instabile, il che spiega perché alla fine dell'autunno il tempo è variabile e turbolento. Da notare le isobare (linee della stessa pressione) molto ravvicinate, che indicano un rapido aumento della pressione e preannunciano venti forti.

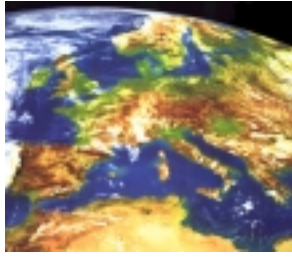
Dati meteorologici e previsioni del tempo (Scheda 9/10)

Da 250 anni, i dati meteorologici vengono sistematicamente archiviati e studiati. Le numerose stazioni meteorologiche installate al suolo garantiscono la copertura completa delle terre emerse ed alcune stazioni situate in mare misurano le condizioni di superficie delle distese marine. Queste ultime rappresentano il 71% della superficie della Terra. I sistemi depressionari e anticiclonici che determinano le condizioni meteorologiche che si trovano sul continente europeo si formano nell'oceano Atlantico, al largo delle sue coste.

Satelliti meteorologici



Il 1° aprile 1960, data del lancio del primo satellite di osservazione meteorologica, Tiros 1 (Television and Infrared Observational Satellite), si apre una nuova era della meteorologia. Per la prima volta, i meteorologi hanno una visione completa delle diverse condizioni meteorologiche che imperano sul pianeta.



Il primo satellite meteorologico, Meteosat, è stato messo in orbita nel 1977 dall'Agenzia Spaziale Europea. I 7 Meteosat costruiti fino ad oggi hanno trasformato radicalmente le previsioni meteorologiche che riguardano l'Europa grazie alla visione d'insieme che forniscono ogni 30 minuti.

I satelliti meteorologici sono di due tipi:

I satelliti in **orbita** polare la cui orbita, circolare, generalmente situata fra gli 800 e i 1500 km di quota, è orientata in modo tale che il satellite sorvola i due poli terrestri ad ogni sua rivoluzione. Poiché la Terra ruota simultaneamente attorno al suo asse, qualsiasi punto del globo finisce necessariamente per essere sorvolato in capo ad un certo numero di giorni. La frequenza del sorvolo dipende dalle caratteristiche dell'orbita.

I satelliti in **orbita geostazionaria** gravitano attorno alla Terra con una velocità angolare identica alla velocità alla quale il nostro pianeta gira attorno al suo asse. Visti dalla superficie terrestre, sembrano dunque fissi. Per far questo, vengono posizionati sopra l'equatore, a 36.000 km di quota. Meteosat ne è un esempio. È situato a 0°E 0°N, ossia sulla verticale dell'intersezione fra il meridiano di Greenwich e l'equatore, nel Golfo di Guinea, al largo delle coste africane. A partire da questo punto di osservazione, Meteosat vede quasi tutto il disco terrestre e particolarmente l'Europa, l'Africa, l'oceano Atlantico ed una parte del Golfo Persico.

L'attuale satellite Meteosat fornisce già dati di grande utilità per lo studio del clima, ma il lancio del satellite Meteosat di Seconda Generazione (MSG) permetterà all'Europa di compiere un importante passo in avanti. Offrendo una migliore risoluzione spaziale e temporale, l'MSG dovrebbe permettere di osservare fenomeni estremamente passeggeri o molto localizzati.

Capacità avanzate di MSG:

- Immagini multispettrali con una periodicità di 15 minuti – ossia il doppio dell'attuale frequenza – che permettono di fornire rapidamente informazioni su fenomeni locali.
- Risoluzione: nelle lunghezze d'onda del visibile, passerà da 2,5 X 2,5 km a 1 x 1 km, il che permetterà di osservare con una precisione molto maggiore i processi di formazione delle nuvole.
- Dodici canali spettrali (contro le attuali 3): lo spettro visibile sarà suddiviso in tre canali che saranno osservati separatamente e lo spettro infrarosso (compreso il vicino infrarosso) in nove canali. In questo modo, si potranno rilevare nell'atmosfera delle sostanze allo stato di tracce come l'ozono, la cui presenza ha una profonda incidenza sulla formazione e l'evoluzione dei sistemi meteorologici. I 9 canali di osservazione nell'infrarosso permetteranno di studiare processi climatici invisibili alla luce ordinaria.
- Trasmissione dei dati ad alta velocità. L'MSG svolgerà anche le funzioni di satellite di telecomunicazioni. I dati grezzi verranno trasmessi a Terra, dove verranno elaborati da Eumetsat (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), a Darmstadt, in Germania. I risultati verranno quindi

ritrasmessi all'MSG che li rinverrà verso le stazioni di ricevimento al suolo sparse in tutta l'Europa e l'Africa, a partire dalle quali saranno utilizzate da meteorologi, climatologi, etc. Con una velocità di dati superiore a 3 Mb/s, l'MSG sarà quasi venti volte più veloce del suo predecessore, l'attuale Meteosat.

L'MSG è stato progettato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e costruito da Alcatel Space (Francia), nell'ambito di un programma di cooperazione al quale hanno partecipato tredici paesi.

L'Agenzia Spaziale Europea ha lanciato il programma Meteosat negli anni '70. Si è incaricata della costruzione dei satelliti, della loro gestione e dell'elaborazione dei dati fino al 1994, data alla quale ha trasferito queste responsabilità a Eumetsat. L'ESA lavora attualmente sulle tecnologie di punta necessarie a nuovi satelliti, tra cui l'MSG. È prevista la costruzione di 3 o 4 satelliti MSG che saranno lanciati e gestiti da Eumetsat. La durata di vita operativa di un satellite MSG è di almeno sette anni.

L'Agenzia Spaziale Europea (Scheda 10/10)

Fondata nel 1974, l'ESA è l'organizzazione che ha permesso all'Europa di salire al rango di potenza spaziale, accanto agli Stati Uniti ed alla Russia. L'ESA conta quindici stati membri: Germania, Austria, Belgio, Danimarca, Spagna, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Norvegia, Paesi Bassi, Portogallo, Regno Unito, Svezia e Svizzera. L'ESA è incaricata di condurre programmi spaziali nonché programmi di sviluppo di tecnologie di punta.

Le principali attività dell'ESA sono:

- **Scienza spaziale:** L'Agenzia partecipa all'esplorazione del sistema solare e dei pianeti costruendo sonde e telescopi spaziali mediante i quali studia anche le condizioni che regnavano nell'Universo primitivo. Le missioni spaziali dell'ESA assumono un ruolo di primo piano nel settore della ricerca fondamentale.
- **Telecomunicazioni e Navigazione:** La messa a punto di tecnologie spaziali e lo svolgimento di missioni spaziali a fini non commerciali hanno permesso all'industria europea di acquisire capacità di livello internazionale e di diventare competitiva.
- **Servizi di lancio:** L'ESA lavora su missioni migliorate del lanciatore Ariane nonché su un concept di piccolo lanciatore (Vega). Una società di diritto francese, Arianespace, è incaricata del lancio dei missili Ariane in ambito commerciale. Ariane ha conquistato quasi il 60% del mercato mondiale dei satelliti civili.
- **Volo spaziale abitato:** L'ESA ha progettato e realizzato importanti componenti della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) e, particolarmente, un sistema informatico centrale ed un braccio robotizzato. Nel 2004 l'Europa aggancerà all'ISS il laboratorio spaziale Columbus, nel quale tre astronauti potranno svolgere esperimenti in condizioni di microgravità.
- **Osservazione della Terra:** Le attività dell'ESA, puramente civili, hanno consentito all'Europa di compiere grandi progressi nel campo del monitoraggio dell'ambiente. Il nuovo satellite di osservazione della Terra, Envisat (successore dei satelliti ERS), raccoglie dati sull'ozono atmosferico, sui gas allo stato di tracce, sui gas ad effetto serra e, in particolare, sull'anidride carbonica. Envisat misura la temperatura delle terre e dei mari, il livello degli oceani, il ritiro della calotta glaciale artica, le emissioni di azoto delle industrie inquinanti, etc. Inoltre, procede

ad una moltitudine di misurazioni relative ai movimenti della crosta terrestre, alle eruzioni vulcaniche, ai terremoti, alle inondazioni e alle siccità, più una quantità di altre informazioni.

Questo supporto didattico è stato elaborato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA).
L'ESA è un'organizzazione europea che ha sede a Parigi, in Francia. Possiede centri a Noordwijk (Paesi Bassi), Colonia e Darmstadt (Germania) e Frascati (Italia).

Questa documentazione, gratuita, viene fornita per scopi educativi. Un CD-ROM, intitolato "The Weather Machine", fornisce maggiori informazioni. È disponibile in tre lingue (Inglese, Francese e Tedesco) e può essere anch'esso richiesto gratuitamente. È anche disponibile su richiesta una videocassetta VHS (PAL) sulla missione MSG.

Se siete interessati, contattate:

- Jocelyne Landeau-Constantin, ESA ESOC, tel.: +496151-902696
 - oppure visitate il sito dell' ESA: www.esa.int

Questa documentazione è stata elaborata da Ludwig Lenz, Jean Le Ber, Eva Oriol-Pibernat e Adam Majorosi sulla base di testi ed immagini tratti da diverse fonti, tra cui il CD-ROM "The Weather Machine" © 1997 ESA. Contenuto: ESA 2002

© ESA 2002