



I satelliti per l'osservazione della Terra sono diventati uno degli strumenti più importanti per monitorare lo stato del nostro pianeta. Tra i compiti dell'Agenzia Spaziale Europea, il telerilevamento satellitare è diventato un elemento chiave che fornisce alle società europee informazioni preziose sull'ambiente e sul suo sviluppo.

Con l'Atlante scolastico dell'ESA, eovision e l'ESA continuano una lunga storia di collaborazione, fornendo a insegnanti e studenti delle scuole secondarie materiale didattico aggiornato che introduce all'uso dei dati satellitari e utilizza l'enorme potenziale dell'osservazione della Terra per rispondere alle importanti sfide del nostro tempo.

L'Atlante scolastico dell'ESA è composto da questo atlante stampato e da un'ulteriore versione online che fornisce una grande quantità di casi di studio per una grande varietà di temi:



www.esa-schoolatlas.eu

ISBN 978-3-902834-35-5



9 783902 183435
www.eovision.at

La Terra vista dallo spazio

ATLANTE SCOLASTICO ESA

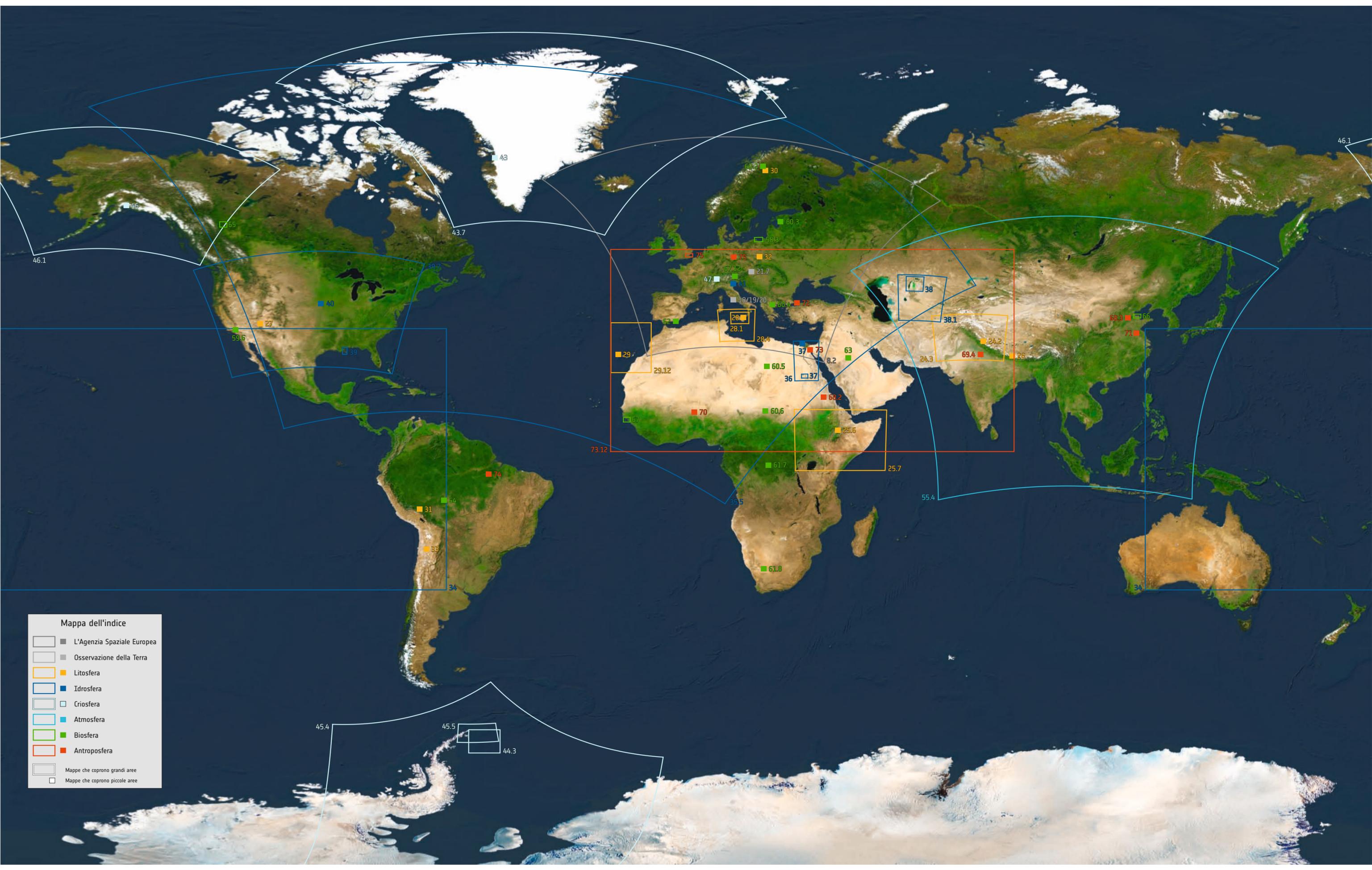
eovision
MEDIA

AGENZIA SPAZIALE EUROPEA

ATLANTE SCOLASTICO ESA

La Terra vista dallo spazio





Mappa dell'indice

- L'Agenzia Spaziale Europea
- Osservazione della Terra
- Litosfera
- Idrosfera
- Criosfera
- Atmosfera
- Biosfera
- Antroposfera
- Mappe che coprono grandi aree
- Mappe che coprono piccole aree

45.4 45.5 44.3

46.1 46 43.7 43 46.1

39.7 40 39 27 59.6

75 75 32 60.3 58.3

47 67.12 21.7 18/19/20 66.4 72

29 29.12 28.1 28.4 37 73 63 38.1 24.3 24.2 26

73.12 70 60.5 36 37 68.2 8.2

25.6 25.7

74 64 31 33 34

61.7 61.8

55.4 34 69.3 166 71

ATLANTE SCOLASTICO ESA

La Terra vista dallo spazio

ATLANTE SCOLASTICO ESA

La Terra vista dallo spazio

1. Edizione dell'atlante, 2024

© 2024 eoVision GmbH
Franz-Josef-Strasse 19
5020 Salisburgo, Austria
Tel.: +43 662 243217
office@eovision.at
www.eovision.at

Coordinamento

Markus Eisl

Editing di immagini

Markus Eisl, Gerald Mansberger

Idea e concetto

Markus Eisl, Gerald Mansberger

Editore

Markus Eisl

Layout

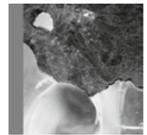
eoVision, Salisburgo

Printed in the European Union

ISBN: 978-3-902834-35-5

Contenuti

Premessa	6
Utilizzo dell'Atlante	7
SGD – Obiettivi di sviluppo sostenibile	7



L'Agenzia spaziale europea

8

ESA – L'Agenzia spaziale europea	8
ESA – Strutture	9
Scienza spaziale	10
Volo spaziale	
Lanciatori	11
Volo spaziale umano	11
Osservazione della Terra	12
Programma educativo	13
Copernicus	
Monitoraggio dello stato della Terra	14
Servizi informativi Copernicus	14
La flotta di satelliti Sentinel	15



Osservazione della Terra

16

Tipi di satelliti	16
Orbite dei satelliti	17
Dati satellitari ottici	18
Dati satellitari radar	19

Dai dati satellitari alle informazioni	20
Dai dati satellitari alle mappe	21
Il nostro pianeta visto dallo spazio	22



Litosfera

24

Tettonica	
Le placche tettoniche	24
Montagne pieghevoli – Himalaya	24
Rift Valley – Africa orientale	25
Formazione del paesaggio	
Erosione glaciale – Himalaya	26
Erosione fluviale – il Grand Canyon	27
Vulcanismo	
L'Etna	28
La Palma	29
Estrazione	
Miniera di rame – Aitik	30
Estrazione dell'oro – Madre de Dios	31
Miniera di carbone – Bełchatów	32
Estrazione di litio – Salar de Atacama	33



Idrosfera

34

Temperatura della superficie del mare	
Temperature globali	34
El Niño e La Niña	34
Corrente del Golfo e Nord Atlantica	35
Sistemi idrologici	
Il fiume Nilo	36
Mare d'Aral	38
Delta del Mississippi	39
Alluvioni e protezione dalle inondazioni	
Alluvioni – Plattsmouth	40
Protezione dalle inondazioni – Venezia	41

Contenuti

Copertura e uso del suolo	60
Agricoltura e irrigazione	
Agricoltura in serra – El Ejido	62
Agricoltura irrigua – Ha'il	63
Deforestazione e incendi boschivi	
Deforestazione – Rondônia	64
Incendi boschivi – British Columbia	65
Acquacoltura	66
Protezione della natura	
Parco marino – Ilha de Orango	67
Parco nazionale alpino – Alti Tauri	67

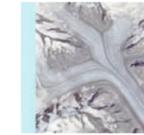


Antroposfera

68

Densità della popolazione	68
Urbanizzazione e sviluppo delle città	
Urbanizzazione – Niamey	70
Sviluppo della città – Suqian	71
Infrastrutture di traffico	
Nuovo aeroporto – Istanbul	72
Navigazione – Canale di Suez	73
Energie rinnovabili	
Energia idroelettrica – Belo Monte	74
Energia eolica – l'estuario del Tamigi	75
Energia Solare – Böhlen	75

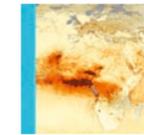
Glossario	76
Indice geografico	79
Fonti di immagini e dati	80



Criosfera

42

Artico	
Ghiaccio marino artico	42
Scudo di ghiaccio della Groenlandia	43
Antartide	
Scudo di ghiaccio	44
Iceberg A23a	45
Ghiacciai	
Ghiacciaio Columbia	46
Ghiacciaio dell'Aletsch	47



Atmosfera

48

Temperature di superficie	48
Copertura nuvolosa e precipitazioni	
Precipitazioni	50
Formazione delle nuvole	50
Diagrammi climatici	51
Stagione e ora del giorno	
La Terra in luce visibile	52
La Terra nella luce infrarossa	53
Gas in tracce	
Protossido di azoto (NO ₂)	54
Anidride carbonica (CO ₂)	54
Metano (CH ₄)	55
Ozono (O ₃) – buco dell'ozono	55

Zone climatiche	56
------------------------	----



Biosfera

58

Distribuzione della biomassa	
La vita nell'acqua	58
Vegetazione del terreno	59

La Terra vista dallo spazio

I satelliti per l'osservazione della Terra — o telerilevamento — hanno dimostrato di essere un fattore di svolta per aiutarci a comprendere meglio la complessità del nostro pianeta e per rispondere alle sfide che dobbiamo affrontare in materia di ambiente, cambiamenti climatici e sostenibilità. I dati satellitari non vengono utilizzati solo per rispondere a domande cruciali di scienza della Terra, ma anche per fare previsioni meteorologiche, assistere nella risposta ai disastri e fornire informazioni essenziali per ottimizzare le pratiche agricole, la gestione delle acque e la localizzazione degli impianti di energia rinnovabile.

I dati satellitari costituiscono oggi la base dei processi decisionali basati su dati concreti e di innumerevoli applicazioni quotidiane. L'Agenzia spaziale europea (ESA), leader mondiale nell'osservazione della Terra, è impegnata a promuovere lo sviluppo di tecnologie spaziali all'avanguardia, necessarie per comprendere meglio il pianeta, migliorare la vita quotidiana dei cittadini e sostenere una politica efficace per un futuro più sostenibile, a beneficio delle imprese e delle economie di tutto il mondo.

I sistemi spaziali hanno registrato progressi significativi negli ultimi anni, spinti dall'innovazione tecnologica e dalla crescente domanda di dati accurati, tempestivi e completi sul nostro pianeta. Queste innovazioni riguardano diverse aree, tra cui la tecnologia satellitare, l'elaborazione dei dati e la condivisione delle informazioni. Copernicus — il sistema di osservazione della Terra leader a livello mondiale e parte fondamentale del Programma spaziale dell'Unione europea — è il risultato di molti di questi progressi.

Copernicus fornisce informazioni accurate, tempestive e facilmente accessibili, disponibili gratuitamente per un'ampia gamma di servizi operativi e utenti, consentendo una migliore gestione dell'ambiente, la comprensione e la mitigazione degli effetti del cambia-

mento climatico e garantendo la sicurezza civile.

A complemento di Copernicus, lo sviluppo di sofisticate missioni scientifiche e di satelliti di imaging ad alta risoluzione dotati di sensori avanzati in grado di catturare immagini della superficie terrestre con una chiarezza e un dettaglio senza precedenti ha dato vita a molteplici nuove applicazioni, come la pianificazione urbana e il monitoraggio delle colture, oltre a favorire una maggiore comprensione dei sistemi terrestri.

Per promuovere un ampio uso dei dati satellitari e sensibilizzare i cittadini, l'ESA ha sviluppato un'ampia gamma di risorse e attività che mirano a informare insegnanti e studenti sull'osservazione della Terra, fornendo un facile accesso a materiali che possono essere utilizzati nelle lezioni. Nell'ambito di queste attività, nel 2005 è stato pubblicato il primo Atlante scolastico dell'ESA. Ora, a distanza di oltre 15 anni, viene pubblicato questo Atlante aggiornato — la Next Generation — che offrirà ai cittadini l'opportunità di conoscere meglio le potenzialità delle mappe digitali e delle piattaforme online che forniscono le informazioni.

Spero sinceramente che i lettori e gli utenti di questo Atlante scolastico siano ispirati a saperne di più sull'osservazione satellitare della Terra e a proseguire gli studi e la formazione su come utilizzare questi dati davvero notevoli e preziosi.

Simonetta Cheli

*Direttrice dei programmi di osservazione della Terra
Agenzia spaziale europea*

Utilizzo dell'Atlante

L'Atlante scolastico ESA è costituito da due componenti: questo atlante cartaceo e un atlante digitale, una raccolta di materiali accessibile online tramite l'URL

www.schoolatlas.esa.int



Questo atlante stampato contiene una selezione di materiale d'insieme e casi di studio che forniscono un accesso offline ad aspetti importanti dell'osservazione della Terra, con una selezione di alcuni casi di studio che evidenziano l'applicazione delle tecniche di osservazione della Terra.

Struttura dell'Atlante

L'atlante è strutturato secondo il modello delle sfere geofisiche che comprendono litosfera, idrosfera, criosfera, atmosfera e biosfera. Data la complessità del nostro mondo e l'importanza specifica dell'impronta umana e dei cambiamenti climatici, è stato aggiunto un capitolo sull'antroposfera. Inoltre, capitoli separati forniscono informazioni di base sull'Agenzia spaziale europea e sulle sue attività e descrivono le questioni fondamentali riguardanti i principi e l'applicazione degli strumenti di osservazione della Terra.

Per facilitare il passaggio alla versione online del materiale, sono stati aggiunti dei codici QR che codificano l'URL delle rispettive pagine del sito web dell'atlante scolastico.

Il nostro mondo è diventato complesso e coinvolto. I fenomeni a tutti i livelli sono diventati interconnessi e si influenzano a vicenda. In questo contesto, le Nazioni Unite hanno sviluppato gli Obiettivi di sviluppo sostenibile (SGD), che forniscono un mezzo per categorizzare i fenomeni sulla Terra e per affrontare importanti

campi di attività, rendendo più facile definire e rispettare le priorità. Questo quadro di grande utilità, sempre più diffuso, è stato integrato nell'atlante. Le icone che indicano gli SGD rilevanti sono state aggiunte ai rispettivi casi di studio, rendendo più facile per insegnanti e studenti verificare la pertinenza dei casi di studio per il loro specifico compito educativo.

Obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite

Creati nel 2016, gli Obiettivi di sviluppo sostenibile (SGD) delle Nazioni Unite sono un quadro completo che affronta le sfide globali, dalla povertà alla fame, dall'azione per il clima alla conservazione della biodiversità. L'osservazione della Terra svolge un ruolo fondamentale nel raggiungimento di questi obiettivi, fornendo dati e approfondimenti fondamentali.

Esempi che illustrano questo aspetto sono il monitoraggio e la valutazione dei cambiamenti della copertura del suolo, della produttività agricola e delle risorse idriche attraverso i satelliti, che contribuiscono agli SGD come Fame zero, Acqua pulita e servizi igienici e Vita sulla terra. I dati dell'osservazione della Terra aiutano nella gestione dei disastri, sostenendo l'SGD 11 (Città e comunità sostenibili) fornendo informazioni in tempo reale durante le emergenze. L'osservazione della Terra svolge anche un ruolo cruciale nel monitoraggio del clima (SGD 13, Azione per il clima) attraverso la misurazione delle concentrazioni di gas serra, dell'innalzamento del livello del mare e delle anomalie di temperatura. Inoltre, le immagini satellitari aiutano a mappare l'espansione urbana, supportando una pianificazione urbana sostenibile (SGD 11). Gli sforzi per la conservazione della biodiversità (SGD 15, Vita sulla terra) beneficiano dell'osservazione della Terra attraverso il monitoraggio degli ecosistemi, della deforestazione e degli habitat della fauna selvatica.

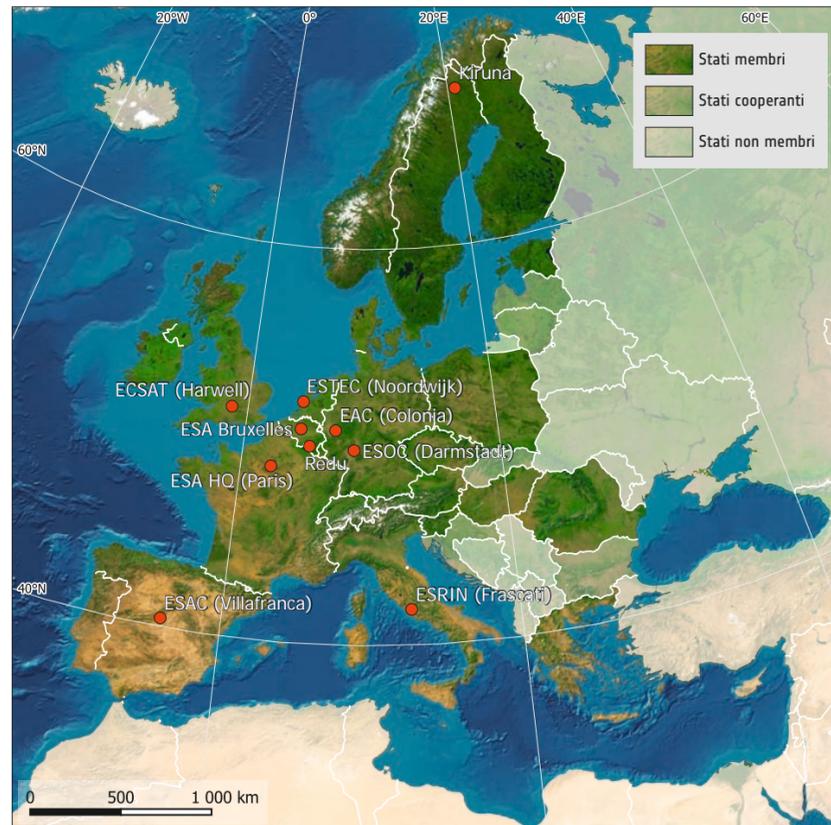




	Austria
	Belgio
	Danimarca
	Estonia
	Finlandia
	Francia
	Germania
	Grecia
	Irlanda
	Italia
	Lussemburgo
	Norvegia
	Paesi Bassi
	Polonia
	Portogallo
	Regno Unito
	Repubblica Ceca
	Romania
	Slovenia
	Spagna
	Svezia
	Svizzera
	Ungheria

1. Stati membri dell'Agenzia spaziale europea (ESA) a partire dal 2024.

2. Stati membri, paesi cooperanti e strutture dell'ESA.



Agenzia spaziale europea

L'Agenzia spaziale europea (ESA) è stata fondata nel 1975. La sua missione è quella di plasmare lo sviluppo della capacità spaziale europea e di garantire che gli investimenti nello spazio continuino a produrre benefici per i popoli europei. L'ESA conta oggi 22 Stati membri. Coordinando le risorse finanziarie e intellettuali dei suoi membri, può intraprendere programmi e attività che vanno ben oltre la portata di un singolo Paese europeo.

Per oltre quarant'anni gli Stati membri dell'ESA hanno lavorato insieme e messo in comune le loro risorse per aprire nuove strade nell'esplorazione spaziale, sviluppare tecnologie avanzate e costruire un'industria competitiva in grado di competere a livello mondiale.

I programmi dell'ESA per la scienza, i lanciatori, le telecomunicazioni, l'osservazione della Terra e il volo umano nello spazio hanno dimostrato un alto livello di competenza e hanno già portato molti benefici alla vita quotidiana. Oltre a lavorare sui propri progetti indipendenti, l'ESA collabora regolarmente con altre agenzie e istituzioni di Stati Uniti, Russia, Canada, Giappone e Cina.

Una visione europea

L'idea di creare un'organizzazione spaziale indipendente in Europa risale ai primi anni '60, quando sei Paesi europei, Belgio, Francia, Germania, Italia, Paesi Bassi e Regno Unito, associati all'Australia, formarono l'ELDO (*European Launcher Development Organisation*) per

sviluppare e costruire un lanciatore pesante chiamato Europa.

Nel 1962 gli stessi Paesi più Danimarca, Spagna, Svezia e Svizzera formarono l'ESRO (l'Organizzazione Europea per la Ricerca Spaziale) per intraprendere programmi scientifici satellitari e per coprire tutti i tipi di attività spaziali, dai satelliti per le telecomunicazioni ai lanciatori, che venivano proposti a livello nazionale.

Nel 1975 è stata approvata a livello politico una convenzione per la creazione dell'Agenzia spaziale europea. Nello stesso anno l'Irlanda divenne membro dell'ESA e nel 1979 fu firmato il primo di una serie di accordi di cooperazione per consentire al Canada di partecipare ad alcuni programmi dell'ESA e di far parte del Consiglio dell'ESA. La convenzione è entrata in vigore il 31 ottobre 1980. Da allora, ai membri fondatori si sono aggiunti altri dodici Paesi europei. Oltre ai membri regolari, Lettonia, Lituania e Slovacchia hanno aderito come membri non effettivi.

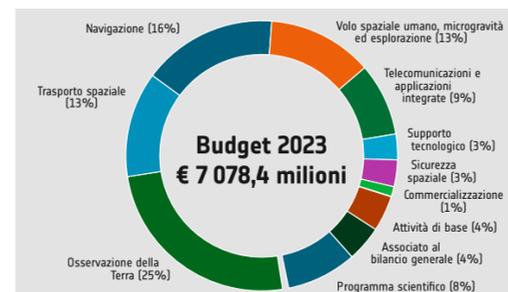
In quanto importante istituzione europea, l'ESA collabora strettamente con la Commissione europea e con istituzioni quali l'Agenzia europea per l'ambiente (AEA) e l'EUMETSAT, ad esempio nel contesto del programma Copernicus.

Attività dell'ESA

Seguendo la strategia definita dall'ESA, le sue attività coprono un'ampia gamma di settori diversi, tutti legati alla ricerca e all'utilizzo dello spazio.

Tra le attività più importanti ci sono:

- Osservazione della Terra
- Esplorazione umana e robotica
- Lanciatori
- Navigazione
- Scienza dello spazio
- Ingegneria e tecnologia spaziale
- Operazioni
- Telecomunicazioni e applicazioni integrate
- Prepararsi al futuro
- Spazio per il clima.



3. Circa due terzi del bilancio dell'ESA sono destinati all'osservazione della Terra, alla navigazione, al trasporto spaziale e al volo umano.



4. ESRIN, Frascati, Italia.



5. ECSAT, Harwell, Regno Unito.



6. ESOC, Darmstadt, Germania.



7. ESTEC, Noordwijk, Paesi Bassi.



8. ESEC, Redu, Belgio.

Sede centrale dell'ESA. Il Direttore generale e il Gabinetto hanno i loro uffici nella sede centrale di Parigi, in Francia. È il centro amministrativo dell'organizzazione e contiene gli uffici principali per il personale, gli affari legali, le finanze, il bilancio, l'audit interno, la strategia, le relazioni internazionali e la comunicazione.

ESA ESTEC. Il Centro europeo di ricerca e tecnologia spaziale di Noordwijk, nei Paesi Bassi, è la più grande struttura dell'ESA, un centro di prova e un fulcro per le attività spaziali europee, responsabile della preparazione tecnica e della gestione dei progetti spaziali dell'ESA e del supporto tecnico alle attività spaziali.

ESA ESOC. Il Centro europeo per le operazioni spaziali di Darmstadt, in Germania, assicura il buon funzionamento dei veicoli spaziali in orbita. Collegato a stazioni terrestri in tutto il mondo, controlla i satelliti, esegue operazioni sul carico utile e il monitoraggio dei sistemi.

ESA ESRIN. Il centro per l'osservazione della Terra a Frascati, vicino a Roma, gestisce il segmento di terra per i satelliti di osservazione della Terra dell'ESA e di terzi, mantenendo il più grande archivio di dati ambientali in Europa e coordinando oltre 20 stazioni di terra e strutture del segmento di terra in Europa.

ESA EAC. Il Centro europeo per gli astronauti a Colonia, in Germania, è una struttura di formazione e una base per tutti gli astronauti europei. È un centro di eccellenza per l'addestramento e il supporto medico degli astronauti.

ESA ESAC. Il Centro europeo di astronomia spaziale di Villafraanca de la Cañada, in Spagna, ospita i centri operativi scientifici delle missioni astronomiche e planetarie dell'ESA e i loro archivi. Fornisce servizi a progetti di ricerca astronomica in tutto il mondo.

Lo **spazioporto europeo** in Guyana francese è la porta dell'Europa verso lo spazio. Con una superficie di oltre 96 000 ettari, è ideale per il lancio di satelliti, in particolare perché è vicino all'equatore. L'ESA è proprietaria degli impianti di lancio e di produzione dei veicoli di lancio.

ESA ESEC. Il Centro europeo per la sicurezza e l'educazione spaziale di Redu, in Belgio, è un centro di eccellenza per i servizi di cyber-sicurezza spaziale, sede del Centro dati meteorologici spaziali, del Centro di formazione dell'ESA dedicato alla formazione di insegnanti e studenti nell'ambito del programma ESA Education e parte della rete di stazioni terrestri dell'ESA.

ESA ECSAT. Il Centro europeo per le applicazioni spaziali e le telecomunicazioni di Harwell, Regno Unito, sostiene attività legate alle telecomunicazioni, alle applicazioni integrate, ai cambiamenti climatici e alla scienza.



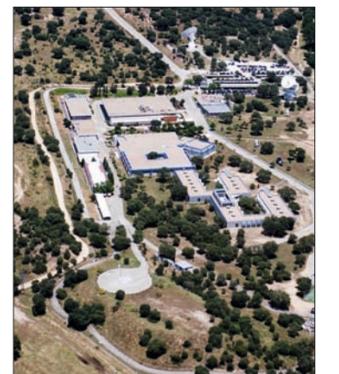
9. Sede dell'ESA a Parigi, Francia.



10. Spazioporto europeo, Kourou, Guyana francese.



11. EAC, Cologne, Germania.



12. ESAC, Villafraanca, Spagna.



1. Selezione delle missioni scientifiche spaziali dell'ESA per la scienza planetaria e l'astrofisica.

Missioni di scienza planetaria

[2024] Hera
[2023] Juice
[2018] BepiColombo
[2016] ExoMars TGO & Schiaparelli
[2004] Rosetta
[2005] Venus Express
[2003] Mars Express
[2003] Double Star
[2003] SMART-1
[2000] Cluster
[1997] Cassini-Huygens
[1985] Giotto

Missioni astrofisiche

[2021] JWST
[2019] CHEOPS
[2013] Gaia
[2009] Planck
[2009] Herschel
[2002] INTEGRAL
[1999] XMM-Newton
[1995] ISO
[1990] Hubble
[1989] Hipparcos
[1983] EXOSAT
[1978] IUE
[1975] Cos-B

4. I dati combinati dei telescopi spaziali Hubble e James Webb offrono una visione senza precedenti dello spazio profondo, come questo ammasso di centinaia di galassie.



Esplorare il sistema solare

La scienza spaziale affronta alcune delle questioni scientifiche più importanti per l'umanità, ad esempio come si è formata la nostra Terra, perché fornisce l'ambiente necessario per la nostra esistenza e se ci sono altri luoghi nell'universo dove esiste la vita. La scienza planetaria si occupa del nostro sistema solare. Inizialmente effettuata esclusivamente con l'uso di telescopi, la tecnologia spaziale consente oggi di viaggiare verso il Sole, i pianeti e altri oggetti del nostro sistema solare.

Oltre alle missioni che acquisiscono dati mentre passano o orbitano intorno a questi oggetti, alcuni esploratori sono atterrati su alcuni di essi. Inoltre, i rover hanno esplorato la Luna e Marte. Le informazioni raccolte dalle missioni di scienza planetaria non solo aiutano a capire gli altri pianeti del sistema solare, ma permettono di approfondire lo sviluppo del sistema Terra, ad esempio per quanto riguarda i cambiamenti climatici.

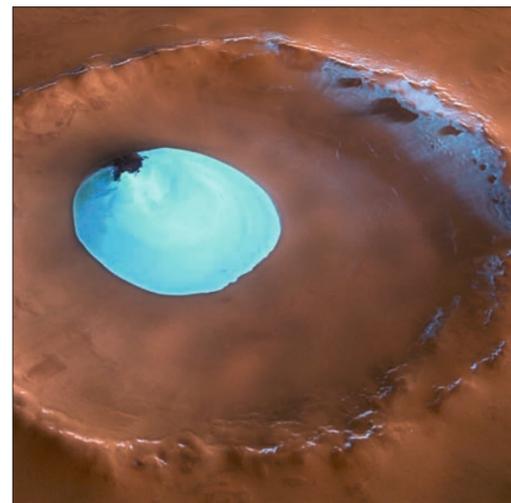
Verso le frontiere dell'universo

Altre missioni dell'ESA mirano a obiettivi ben oltre il sistema solare. La luce che ci raggiunge da una distanza di miliardi di anni luce viene utilizzata per studiare le condizioni dell'universo primordiale, ad esempio dal James Webb Space Telescope (JWST). Uno sguardo al tempo in cui l'universo aveva solo 380.000 anni è stato ottenuto con la missione Planck, che ha misurato la radiazione cosmica di fondo (CMB, *cosmic microwave background*) con una precisione senza precedenti.

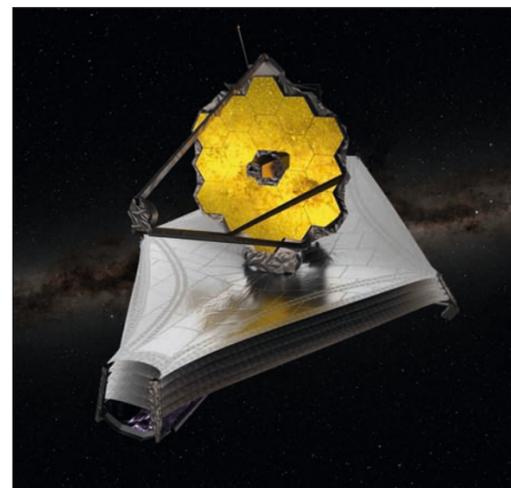
Queste missioni al limite del tecnologicamente possibile sono molto costose. Di conseguenza, una parte di esse viene svolta in collaborazione con altre organizzazioni spaziali. Ne sono un esempio il telescopio spaziale Hubble (HST) e il JWST, sviluppati e gestiti in collaborazione con l'agenzia spaziale statunitense NASA.



2. Lanciata nel 2003, Mars Express è una delle missioni di maggior successo sul nostro pianeta vicino.



3. Ghiaccio d'acqua residuo nel cratere Vastitas Borealis. I dati di Mars Express hanno cambiato la nostra visione dell'esistenza e della quantità di acqua sul pianeta.



5. Posto in orbita a una distanza di 1,5 milioni di chilometri dalla Terra, il telescopio spaziale James Webb è dotato di uno specchio primario del diametro di 6,5 metri. È protetto dalle radiazioni solari da una serie di schermi di circa 21 x 14 metri.



Lanciatori

I satelliti e i voli spaziali umani si basano su tecnologie che consentono di raggiungere i loro "luoghi di lavoro" nello spazio. Attraverso il programma di lancio Ariane, l'ESA ha fornito all'Europa un accesso autonomo allo spazio, una chiave strategica per lo sviluppo di tutte le applicazioni spaziali. Sviluppata inizialmente in nome dell'indipendenza europea, la famiglia di lanciatori Ariane è diventata il più spettacolare successo commerciale europeo nel settore spaziale, in virtù del volume di attività e della quota di mercato mondiale. È diventato un fattore cruciale per la credibilità dell'Europa come potenza spaziale. Le attività europee in questo campo beneficiano della base di lancio più efficiente e meglio posizionata al mondo, vicino a Kourou, nella Guyana francese, in Sud America.

Arianespace, la società internazionale costituita per commercializzare il lanciatore europeo, si è assicurata più della metà del mercato mondiale del lancio di satelliti commerciali per le comunicazioni in orbita di trasferimento geostazionaria. Mentre l'ESA continua a finanziare i miglioramenti di Ariane e di un piccolo lanciatore chiamato Vega, l'Agenzia è anche attenta a possibilità più radicali a lungo termine, come i lanciatori riutilizzabili.

Ariane 5 e 6 — L'ESA ha concepito il lanciatore heavy-lift Ariane 5 per garantire che l'Europa mantenesse il suo vantaggio competitivo nel mercato mondiale dei lanciatori. Ha sostituito la serie di successo Ariane 4 e ha effettuato circa cinque missioni all'anno. La missione principale di Ariane 5 è la messa in orbita geostazionaria di satelliti. La sua versatilità gli consente di soddisfare un'ampia gamma di esigenze di lancio, tra cui il dispiegamento di costellazioni di satelliti, l'esplorazione di pianeti del nostro sistema solare e l'orbita di carichi per la Stazione Spaziale. La versione ECA di Ariane 5 trasporta in orbita carichi utili fino a 10 tonnellate.

L'Ariane 6 è stato sviluppato come successore dell'Ariane 5 con l'obiettivo principale di ridurre significativamente i costi di lancio. Il primo lancio è avvenuto il 9 luglio 2024.

Vega — Nel 2012 un nuovo piccolo lanciatore europeo chiamato Vega ha iniziato il suo primo volo. Vega è stato progettato per collocare principalmente satelliti scientifici e di osservazione della Terra con un peso massimo di 2500 kg in orbite polari e terrestri basse.

Volo spaziale umano

La Stazione Spaziale Internazionale (ISS), la più grande cooperazione tecnica mai realizzata nella storia del tempo di pace, è un potente laboratorio scientifico, un banco di prova per le tecnologie future e una struttura per la ricerca medica, biologica, fisica e materiale avanzata nello



6. Ariane 5 decolla da Kourou.



7. Confronto delle dimensioni di Vega, Vega-C, Ariane 5 ECA, Ariane 62 e Ariane 64 (da sinistra a destra).

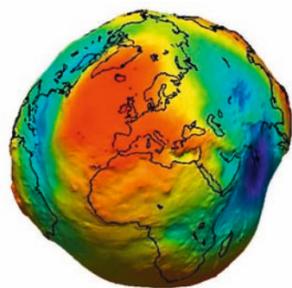
speciale ambiente dello spazio. L'Europa ha una quota sostanziale della ISS e i principali contributi hardware dell'ESA sono Columbus, un laboratorio scientifico e tecnologico polivalente, e il veicolo di trasferimento automatizzato (ATV). Gli astronauti europei effettuano visite regolari durante la fase di costruzione e servono come membri dell'equipaggio di lunga durata della ISS, che è presidiata ininterrottamente dalla fine del 2000.

Ricerca e sviluppo

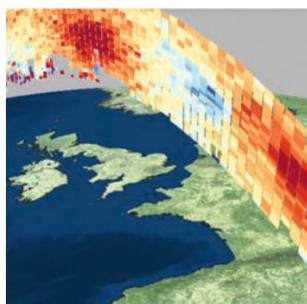
La ISS offre una capacità unica di studiare come la gravità influisce sui processi biologici, fisici e chimici. L'effettiva assenza di gravità sulla Stazione Spaziale permette di acquisire nuove conoscenze sulla salute umana, sulla prevenzione e sul trattamento delle malattie.

8. Passeggiata spaziale dell'astronauta dell'ESA Luca Parmitano durante una missione a bordo della ISS.

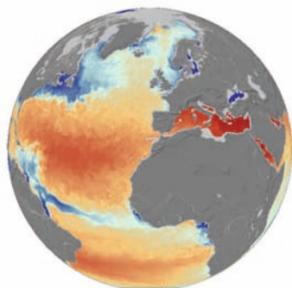




1. GOCE ha fornito informazioni preziose sul campo gravitazionale della Terra (da blu a rosso: gravità crescente).



2. Aeolus misura la velocità del vento a diverse altitudini (dal blu al rosso: dalla bassa alla alta velocità del vento).



3. SMOS misura la salinità dell'oceano e il contenuto di umidità del suolo (da blu a rosso: concentrazione di sale da bassa a elevata).

4. I satelliti Earth Explorer sono piattaforme importanti per lo sviluppo di strumenti di osservazione della Terra.

Ricerca sull'osservazione della Terra

Fin dall'inizio, la ricerca ha svolto un ruolo fondamentale per l'Agenzia spaziale europea (ESA). Questo vale non solo per l'esplorazione del sistema solare e la scienza spaziale, poiché le attività di ricerca dell'ESA si concentrano in particolare sull'osservazione della Terra.

In questo contesto, l'ESA è attivamente coinvolta nei settori della tecnologia dei satelliti e dei sensori e nello sviluppo di metodi di analisi dei dati e di applicazioni di osservazione della Terra. Sono stati realizzati numerosi progetti di ricerca che coprono un'ampia gamma di questioni di rilevanza scientifica.

I primi satelliti di osservazione della Terra dell'ESA sono stati i satelliti radar ERS-1 ed ERS-2, lanciati rispettivamente nel 1991 e nel 1995. L'enorme valore scientifico di queste missioni è testimoniato dal fatto che sono state alla base di circa 5000 progetti di ricerca che hanno dato luogo a circa 4000 pubblicazioni.

Nel 2002 è stato lanciato il satellite Envisat, una pietra miliare nella storia dell'osservazione della Terra. Operativo fino al 2012, questo satellite, delle dimensioni di un autobus, pesava più di 8 tonnellate, diventando il più grande satellite per l'osservazione della Terra mai costruito. Envisat era un laboratorio di ricerca in orbita a 800 km sopra la superficie terrestre. Sono state testate numerose tecnologie di sensori e di elaborazione dei dati per verificarne l'applicabilità nei servizi operativi.

Earth Explorers

I satelliti della serie Earth Explorers sono utilizzati per sviluppare ulteriormente i metodi di telerilevamento. Soprattutto, però, permettono di esplorare aree specifiche del sistema Terra, migliorando così la nostra comprensione delle interrelazioni tra di esse.

GOCE (2009-2013) – La missione GOME (Gravity field and steady state Ocean Circulation Explorer) ha fornir

to dati per determinare modelli globali e regionali della gravità e del geode terrestre. Ciò fa progredire la ricerca nelle aree della circolazione oceanica, della fisica dell'interno della Terra, della geodesia, del rilevamento e del cambiamento del livello del mare.

SMOS (lanciata nel 2009) – La missione SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) sta effettuando osservazioni globali dell'umidità del suolo e della salinità degli oceani. Mappando queste due variabili, SMOS supporta la nostra comprensione dei processi di scambio tra la superficie terrestre e l'atmosfera e contribuisce a migliorare i modelli meteorologici e climatici.

CryoSat (lanciata nel 2010) – La missione CryoSat sta monitorando i cambiamenti su scala centimetrica dello spessore dei ghiacci che galleggiano negli oceani e delle calotte glaciali che ricoprono la Groenlandia e l'Antartide. Questo aiuta a capire come sta cambiando il volume dei ghiacci della Terra e come ghiaccio e clima siano interconnessi.

Swarm (lanciato nel 2013) – Swarm è una costellazione di tre satelliti per misurare con precisione i segnali magnetici provenienti dalla magnetosfera, dalla ionosfera, dal nucleo della Terra, dal mantello, dalla crosta e dagli oceani. Questo porterà a una migliore comprensione dei processi che guidano la "dinamo" terrestre.

Aeolus (2018-2023) – La missione Aeolus ha compiuto progressi nell'osservazione del profilo del vento globale e ha fornito informazioni per migliorare le previsioni meteorologiche. Dimostrando una nuova tecnologia laser, Aeolus ha aperto la strada alla futura missione meteorologica operativa dedicata alla misurazione dei campi di vento della Terra.

EarthCARE (lanciata nel 2024) – EarthCARE (Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer) è una missione europeo-giapponese per migliorare la rappresentazione e la comprensione del bilancio radiativo della Terra nei modelli climatici e di previsione meteorologica numerica.

Biomasse (lancio previsto per il 2025) – La missione Biomasse fornirà informazioni sullo stato delle nostre foreste e su come stanno cambiando. I dati saranno utilizzati per migliorare le nostre conoscenze sul ruolo delle foreste nel ciclo del carbonio.

FLEX (previsto per il 2025) – Il Fluorescence Explorer (FLEX) mapperà la fluorescenza della vegetazione per quantificare l'attività fotosintetica. Questo migliorerà la nostra comprensione di come la fotosintesi influisce sui cicli del carbonio e dell'acqua.

FORUM (prevista per il 2027) – La missione FORUM (Far-infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring) fornirà nuove informazioni sul bilancio delle radiazioni del pianeta, migliorando così i modelli climatici.

Harmony (prevista per il 2029) – Insieme ai satelliti Sentinel-1, la missione Harmony fornirà osservazioni ad alta risoluzione dei movimenti che avvengono sulla superficie terrestre o in prossimità di essa, fornendo informazioni su oceani, ghiacci, terremoti e vulcani.



Programma educativo dell'ESA

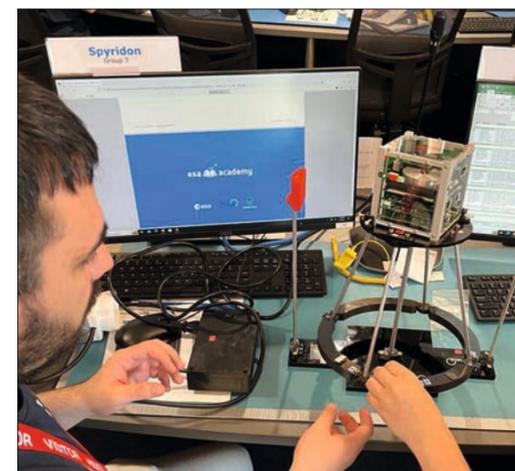
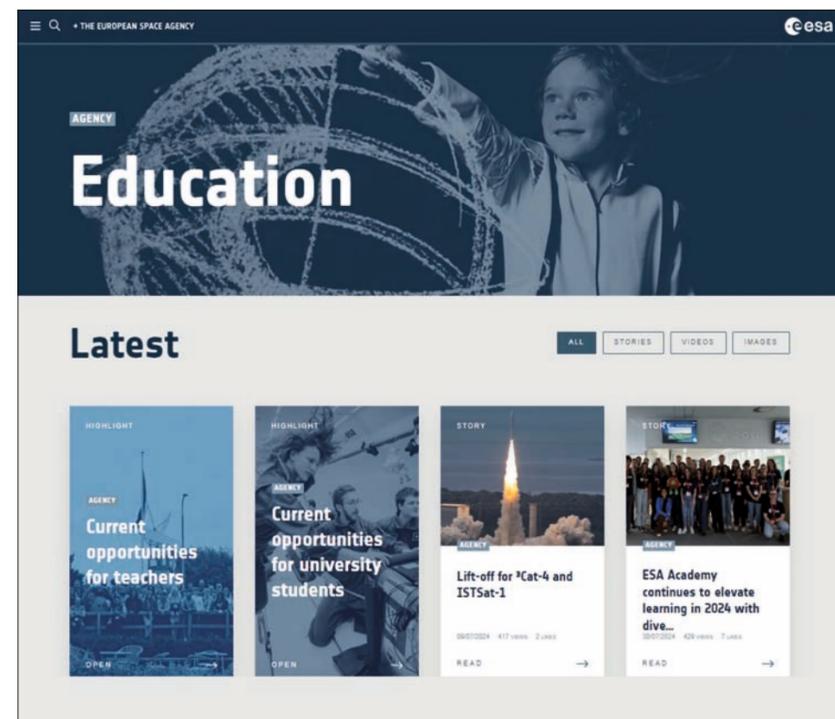
Nella Convenzione ESA, il Programma di Educazione ESA è un'attività obbligatoria. L'istruzione è fondamentale per preparare la futura forza lavoro che trasformerà in realtà la strategia e le ambizioni spaziali dell'Europa, e perché contribuisce a costruire generazioni di futuri cittadini informati, in grado di decidere e di agire responsabilmente, e attrezzati per affrontare le sfide del futuro, qualunque sia la professione scelta.

Lo spazio viene utilizzato come risorsa a sostegno dell'educazione STEM (Science Technology, Engineering and Mathematics). Lo spazio è una parte importante della cultura contemporanea; è un motore e un fattore abilitante della società e dell'economia. Imparare utilizzando lo spazio significa accedere alle conoscenze più avanzate, imparare a collaborare, creare, innovare. In altre parole, significa essere accompagnati in un percorso unico e ispirato per sviluppare le cosiddette competenze del XXI secolo – tutto ciò che un giovane dovrebbe avere la possibilità di sviluppare per avere successo in una carriera e contribuire a un futuro migliore.

L'educazione ispirata è una parte fondamentale della strategia dell'ESA per il futuro dell'Europa nello spazio – Agenda 2025. Nel dicembre 2022 gli Stati membri dell'ESA hanno approvato la visione e il piano Space for Education 2030 (S4E 2030), dando il via libera al programma educativo dell'ESA per un'azione più ampia, più innovativa, più stimolante e per arrivare molto più lontano di prima.

Space for Education 2030 si rivolge a un ampio spettro di età, dalla prima infanzia fino alle prime fasi della carriera, attraverso il programma STEM Learning and Inspiration, per l'educazione e l'ispirazione di bambini e studenti dai 3 ai 18 anni, e il programma ESA Academy, per lo sviluppo di competenze e l'impegno degli studenti dell'istruzione superiore. Il nuovo programma STEM Learning and Inspiration consiste in due serie di attività. Learn with Space (Impara con lo spazio) è strettamente educativo, con attività progettate con obiettivi di apprendimento specifici, sia per i giovani che per i loro educatori. Il secondo, Let Space Inspire You, è strettamente ispirativo; mira a utilizzare il fattore "wow" generato dallo spazio per accendere la curiosità e l'immaginazione di bambini e adolescenti e per stimolare il loro interesse verso gli studi e le carriere STEM e spaziali.

La sinergia delle attività all'interno delle due serie è perseguita, in modo da rafforzare reciprocamente gli elementi di apprendimento e di ispirazione dell'esperienza proposta. Tutte queste attività sono solidamente radicate e implementate a livello nazionale attraverso il quadro ESA ESERO (European Space Education Resource Office), una rete di uffici nazionali e consorzi di partner istituiti dall'ESA nei suoi Stati membri e associati.



5. I siti web di ESA Education e degli ESERO offrono una grande quantità di risorse multilingue relative allo spazio per gli insegnanti.

6. In corsi speciali gli studenti possono sviluppare i propri nanosat, piccoli satelliti che svolgono compiti specifici.

7. Nelle competizioni CanSat, i gruppi delle scuole di tutta Europa progettano i loro progetti, in cui i sensori vengono lanciati per brevi voli durante i quali i dati misurati vengono registrati e trasmessi a una stazione a terra.





1. Nell'ambito della componente spaziale del programma Copernicus sono stati lanciati e sono previsti nei prossimi anni numerosi satelliti per l'osservazione della Terra.

Copernicus



Atmosfera
(CAMS)



Ambiente Marino
(CMEMS)



Territorio
(CLMS)



Cambiamento Climatico
(C3S)

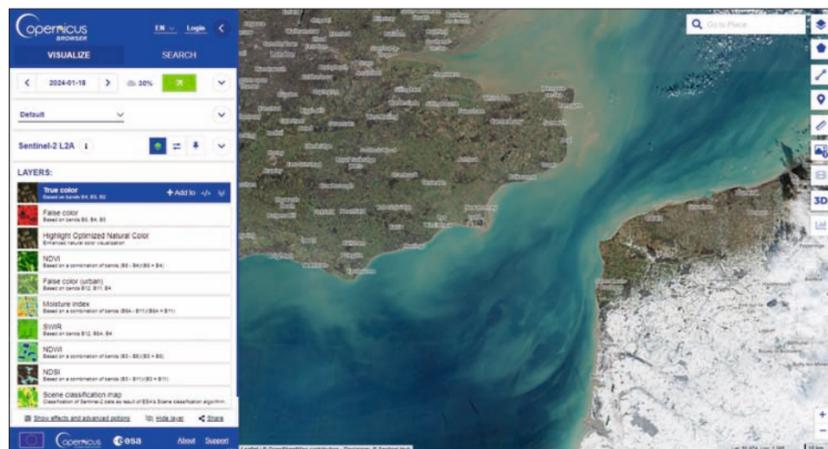


Gestione delle Emergenze
(EMS)



Sicurezza

2. Il browser Copernicus consente di accedere a una grande quantità di dati di osservazione della Terra. L'esempio mostra un risultato di ricerca dei dati Sentinel-2 del Canale della Manica.



pernicus Data Space (<https://dataspace.copernicus.eu/>).

Servizi informativi Copernicus

I dati grezzi acquisiti dai satelliti sono la base di tutte le informazioni sull'osservazione della Terra. Tuttavia, in tutte le applicazioni sono necessari dati o informazioni elaborati. I servizi informativi Copernicus forniscono dati completi in sei aree tematiche: Atmosfera, Mare, Terra, Cambiamenti climatici, Gestione delle emergenze e Sicurezza. Questi servizi si avvalgono di una sofisticata infrastruttura che integra i dati provenienti dai satelliti di osservazione della Terra, dai sensori aerei e dalle misurazioni in situ:

Il **servizio Atmosphere** si concentra sul monitoraggio di componenti atmosferici chiave come la CO₂, la concentrazione di ozono e i livelli di radiazione UV. Fornendo dati storici e in tempo reale, il servizio Atmosphere contribuisce all'identificazione delle fonti di inquinamento, alla valutazione delle tendenze della qualità dell'aria e alla formulazione di politiche efficaci.

Il **servizio Marine** offre dati sulle condizioni oceaniche, tra cui la temperatura della superficie del mare, il colore dell'oceano e l'estensione del ghiaccio marino. Questi dati sono fondamentali per applicazioni quali la sicurezza marittima, la gestione della pesca, la conservazione degli ecosistemi marini e la ricerca sul clima.

Il **servizio Land** si concentra sul monitoraggio della copertura del suolo, dei cambiamenti di uso del suolo e della salute della vegetazione. Questo servizio è utilizzato in applicazioni che vanno dalla gestione dell'agricoltura e delle foreste alla pianificazione urbana e alla conservazione della biodiversità.

Il **servizio Cambiamenti climatici** fornisce informazioni essenziali sui parametri climatici, tra cui le concentrazioni di gas serra, le anomalie di temperatura e l'innalzamento del livello del mare. Questo servizio aiuta gli scienziati, i politici e i ricercatori a valutare gli impatti dei cambiamenti climatici e a sviluppare strategie di mitigazione e adattamento.

Il **servizio di emergenza** offre funzionalità di mappatura rapida e di allerta precoce. Durante i disastri naturali o le crisi umanitarie, questi servizi forniscono informazioni geospaziali tempestive e accurate, aiutando il coordinamento della risposta ai disastri, la valutazione dei danni e l'allocazione delle risorse.

Il **servizio di sicurezza** si concentra sul controllo delle frontiere e sulla sorveglianza marittima, utilizzando l'osservazione della Terra per monitorare e analizzare le attività nelle regioni sensibili. Questo servizio contribuisce alla sicurezza e alla stabilità generale dei confini terrestri e marittimi.



La flotta di satelliti Sentinel

I satelliti Sentinel sono la spina dorsale della parte del programma Copernicus dedicata al reperimento di informazioni dallo spazio e forniscono una grande quantità di dati di osservazione della Terra di diversi tipi e risoluzioni.

I satelliti vengono forniti in coppia per garantire una fornitura permanente di dati anche in caso di guasto di un satellite. Inoltre, è prevista la sostituzione dei Sentinel una volta che avranno raggiunto la fine del loro ciclo di vita. Questo è importante per consentire un utilizzo a lungo termine delle applicazioni sviluppate nel programma Copernicus. Attualmente sono operativi o previsti i seguenti Sentinel:

Sentinel-1 (dal 2014): Capacità di imaging radar per tutte le stagioni, giorno e notte, per i servizi Copernicus su terra e oceano, con risoluzioni al suolo fino a 5 metri.

Sentinel-2 (dal 2015): dati di immagini ottiche ad alta risoluzione per supportare gli studi di monitoraggio del territorio di Copernicus, tra cui il monitoraggio della vegetazione, del suolo e della copertura idrica, nonché l'osservazione dei corsi d'acqua interni e delle zone costiere. A seconda della lunghezza d'onda, la risoluzione al suolo dei dati forniti è compresa tra 10 e 60 metri per pixel.

Sentinel-3 (dal 2016): capacità multistrumentale per supportare le misurazioni accurate di temi quali la temperatura della superficie terrestre e il colore della terra. Lo strumento ottico di questo sistema a media risoluzione acquisisce dati con una risoluzione di circa 300 metri per pixel. Un altimetro misura, ad esempio, il livello del mare, l'altezza delle onde e il ghiaccio marino.

Sentinel-4 (dal 2023, a bordo di Meteosat MTG): Spettrometro UVN (Ultraviolet Visible Near-infrared) e dati dell'IRS (Thermal InfraRed Sounder) di Eumetsat, entrambi a bordo del satellite MTGSounder (MTG-S).

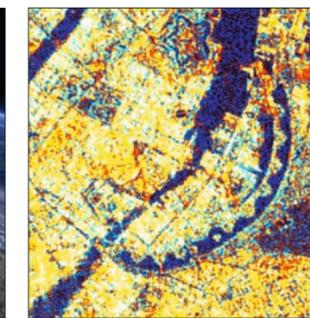
Sentinel-5P (dal 2017) e **-5** (lancio previsto per il 2024): missione di monitoraggio atmosferico dedicata, che misura la qualità dell'aria, l'ozono e la radiazione ultravioletta e fornisce dati per applicazioni di monitoraggio e previsione del clima.

Sentinel-6 Michael Freilich (dal 2020): Missione altimetrica realizzata in collaborazione con EUMETSAT e NOAA per il monitoraggio del livello della superficie del mare. Questa missione prosegue l'acquisizione di dati iniziata da TOPEX-Poseidon 20 anni fa.

Oltre a mantenere questa flotta di satelliti, è previsto il lancio di altri Sentinel dedicati al monitoraggio di CO₂, alle misure di temperatura ad alta risoluzione e al monitoraggio di ghiaccio e neve.



3a. Satellite radar Sentinel-1, impressione d'artista.



3b. Immagine radar di Copenhagen, dati acquisiti da Sentinel-1.



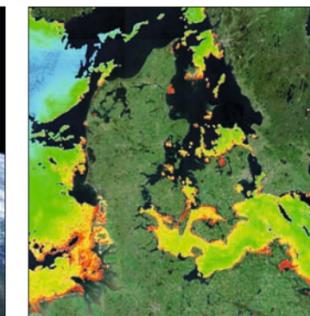
4a. Satellite ottico ad alta risoluzione Sentinel-2, impressione d'artista.



4b. Immagine satellitare di Copenhagen, dati acquisiti da Sentinel-2.



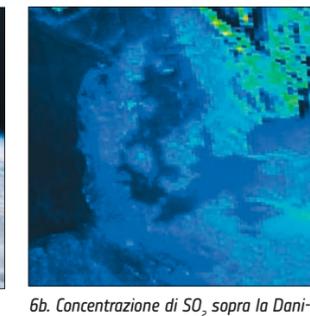
5a. Satellite a media risoluzione Sentinel-3, impressione d'artista.



5b. Concentrazione di pigmenti algali nel mare attorno alla Danimarca [Sentinel-3].



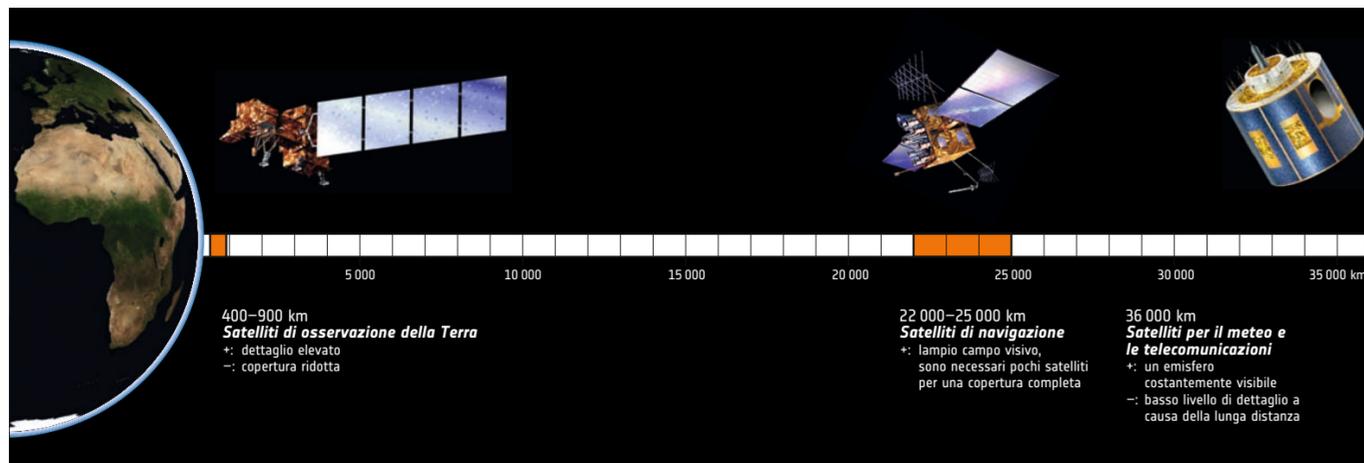
6a. Satellite di monitoraggio atmosferico Sentinel-5P, impressione d'artista.



6b. Concentrazione di SO₂ sopra la Danimarca e la Svezia. Dati: Sentinel-5P.



7. Satellite della missione altimetrica Sentinel-6, impressione d'artista.



1. A seconda del loro scopo, i satelliti operano in orbite a distanze diverse dalla Terra.

Tipi di satelliti

Esistono vari tipi di satelliti, ciascuno progettato per scopi specifici, tra cui l'osservazione della Terra, la comunicazione, la navigazione e la ricerca scientifica. A seconda dei loro compiti, operano in orbite diverse a distanze diverse dalla Terra.

I **satelliti per le comunicazioni** facilitano le telecomunicazioni globali, ritrasmettendo i segnali tra le stazioni a terra e consentendo la trasmissione di dati, voce e video su vaste distanze. Posizionati in orbite geostazionarie o basse, questi satelliti forniscono servizi essenziali per la trasmissione televisiva, la connettività Internet e la comunicazione mobile. Esempi importanti sono le costellazioni di satelliti Intelsat e Iridium e, più recentemente, la costellazione Starlink con diverse migliaia di satelliti.

I **satelliti di navigazione** costituiscono la spina dorsale dei sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS), consentendo una precisa determinazione della posizione e la navigazione sulla superficie terrestre. Questi satelliti trasmettono segnali che vengono ricevuti

e triangolati dai ricevitori GNSS, fornendo agli utenti dati di posizionamento precisi per scopi di navigazione, mappatura e rilevamento. La costellazione GPS gestita dagli Stati Uniti e altri sistemi come Galileo (Europa), GLONASS (Russia) e Beidou (Cina) costituiscono le reti di navigazione satellitare. I satelliti di navigazione operano a una distanza compresa tra 20.000 e 25.000 chilometri dalla Terra.

I **satelliti per l'osservazione della Terra** sono dotati di sensori e telecamere per monitorare la superficie del pianeta, l'atmosfera e gli oceani. Questi satelliti acquisiscono immagini ad alta risoluzione, rilevano i cambiamenti nella copertura del suolo, tracciano i modelli meteorologici e monitorano fenomeni ambientali come la deforestazione, l'urbanizzazione e l'innalzamento del livello del mare. Ne sono un esempio la serie Sentinel per le immagini del territorio e la serie Meteosat per il monitoraggio meteorologico. Questi satelliti forniscono dati rilevanti sia per la ricerca scientifica (come gli Earth Explorers) sia per le applicazioni operative.

I **satelliti scientifici** sono progettati per esplorare il co-

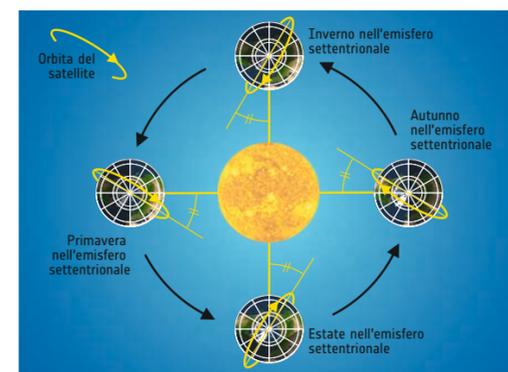
smo e studiare gli oggetti e i fenomeni celesti. Questi satelliti sono dotati di strumenti specializzati per condurre osservazioni astronomiche, misurare la radiazione cosmica e studiare corpi celesti come stelle, galassie e buchi neri. Ne sono un esempio il telescopio spaziale Hubble per l'astronomia ottica, il telescopio spaziale James Webb per l'astronomia a infrarossi e l'osservatorio a raggi X Chandra per lo studio delle emissioni di raggi X dagli oggetti celesti.

Satelliti in viaggio intorno alla Terra

In base agli obiettivi e alle applicazioni specifiche della missione, i satelliti per l'osservazione della Terra vengono distribuiti in varie orbite, ognuna delle quali offre vantaggi e compromessi. La scelta del tipo di orbita influenza parametri quali il tempo di rivisitazione, la risoluzione spaziale e l'area di copertura. I tipi di orbita più importanti utilizzati dai satelliti per l'osservazione della Terra sono le orbite terrestri basse e le orbite geostazionarie.

Le **orbite terrestri basse (LEO)** sono le orbite più comuni per i satelliti di osservazione della Terra, che vanno da circa 180 a 2.000 chilometri sopra la superficie terrestre. I satelliti LEO hanno periodi orbitali brevi, che consentono frequenti rivisitazioni di aree specifiche. Ciò si traduce in un'elevata risoluzione temporale, che li rende ideali per applicazioni come il monitoraggio meteorologico, la risposta ai disastri e la sorveglianza ambientale. A causa della loro bassa altitudine, l'area coperta durante ogni passaggio è limitata.

• **Orbita sincrona con il Sole (SSO):** Le orbite sincrone con il Sole sono un sottotipo di LEO progettato per mantenere un angolo costante tra il satellite, il Sole e la superficie terrestre. In questo modo si ottengono condizioni di illuminazione costanti durante ogni passaggio, il che è fondamentale per i sensori ottici che si basano sulla luce solare. I satelliti SSO sono comunemente utilizzati per applicazioni di imaging e telerilevamento, fornendo immagini regolari e ben illuminate per attività come la mappatura della copertura del suolo e il monitoraggio della vegetazione.



4. Molti satelliti per l'osservazione della Terra operano in orbite sincrone con il sole, in cui attraversano ogni punto alla stessa ora solare.

• **Orbita polare:** Le orbite polari passano sopra i poli terrestri, consentendo ai satelliti di osservare l'intera superficie mentre la Terra ruota sotto di loro. Questo tipo di orbita è comune per i satelliti di osservazione della Terra che mirano a ottenere una copertura globale. I satelliti in orbita polare forniscono una visione completa del pianeta, rendendoli adatti a compiti come il monitoraggio del clima, la mappatura dei ghiacci e il rilevamento dei cambiamenti ambientali.

Le **orbite geostazionarie (GEO)** sono il secondo tipo di orbita importante utilizzata per l'osservazione della Terra e si trovano a un'altitudine di 35.786 chilometri sopra l'equatore. Un satellite in un'orbita GEO orbita intorno alla Terra sopra l'equatore, alla velocità di rotazione terrestre, facendolo apparire fermo rispetto a un punto specifico della superficie terrestre. Ciò consente un monitoraggio continuo di quell'area. Sebbene i satelliti GEO offrano una copertura continua, la loro risoluzione spaziale è inferiore rispetto ai satelliti LEO a causa della loro maggiore distanza dalla Terra. Sono spesso utilizzati per il monitoraggio meteorologico, le comunicazioni e la sorveglianza ambientale.

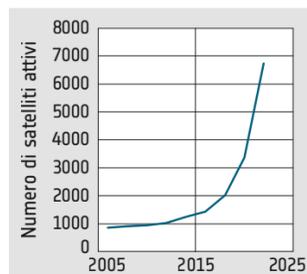
Altri tipi di orbita, molto importanti per scopi specifici, sono:

• **Orbita terrestre media (MEO):** Le orbite terrestri medie sono posizionate tra le orbite basse e quelle geostazionarie, in genere da 2.000 a 35.786 chilometri sopra la Terra. Le costellazioni di satelliti di navigazione come GPS e Galileo utilizzano le orbite MEO per fornire servizi di posizionamento globale.

• **Orbita altamente ellittica (HEO):** Le orbite altamente ellittiche hanno una forma allungata, con un'estremità più vicina alla Terra e l'altra più lontana. Queste orbite sono adatte a missioni che richiedono tempi di permanenza prolungati su regioni specifiche, come le aree ad alta latitudine. I satelliti HEO offrono periodi di osservazione prolungati, rendendoli preziosi per il monitoraggio di fenomeni come le aurore e la magnetosfera terrestre.



5. Il vantaggio principale delle orbite geostazionarie è che i satelliti rimangono sullo stesso punto della superficie terrestre.



2. Negli ultimi anni, il numero di satelliti attivi è cresciuto rapidamente.

3. Lo spazio intorno alla Terra è diventato un luogo affollato, in cui orbitano diverse migliaia di satelliti operativi e in disuso, oltre a numerosi detriti provenienti da ogni tipo di missione.





1a. Sentinel-2, banda 2 (490nm, blu).



1b. Sentinel-2, banda 3 (560nm, verde).



1c. Sentinel-2, banda 4 (665nm, rosso).

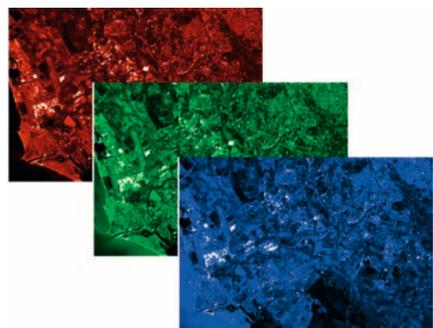
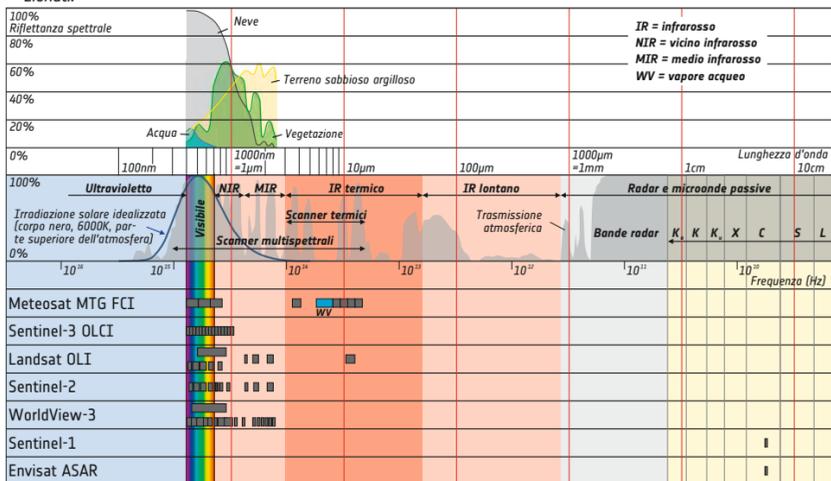


1d. Sentinel-2, banda 5 (705nm, rosso).

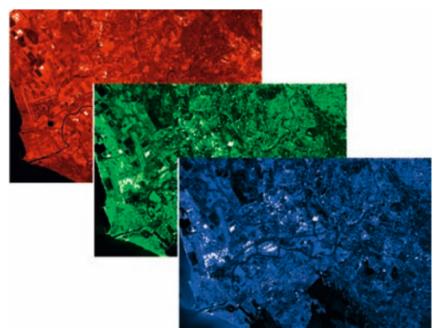


1e. Sentinel-2 banda 8 (865nm, IR).

4. Spettro elettromagnetico, trasmissione atmosferica, proprietà di sensori selezionati.



2a. Sentinel-2, bande 4, 3 e 2 preparate per la combinazione in un'immagine a vero colori.



2b. Sentinel-2, bande 8, 4 e 3 preparate per la combinazione in un'immagine infrarossa in falsi colori.

Dai dati alle immagini

La maggior parte dei satelliti per l'osservazione della Terra non fornisce immagini a colori. Acquisiscono piuttosto una serie di immagini in scala di grigi in diverse parti dello spettro elettromagnetico. Queste bande di immagini vengono utilizzate per valutazioni scientifiche e, analogamente alle procedure applicate nella tecnologia di stampa e visualizzazione, vengono combinate per produrre immagini a colori di vario tipo. A differenza della normale fotografia, le bande di immagini in scala di grigi vengono combinate in vari modi. A seconda dell'applicazione, le immagini vengono prodotte in colori naturali (immagine a colori reali), in falsi colori a infrarossi e in altre combinazioni di bande.



3a. Immagine in vero colore Sentinel-2 della regione a ovest di Roma prodotta utilizzando le bande 4, 3 e 2.



3b. Immagine all'infrarosso in falsi colori di Sentinel-2 della regione a ovest di Roma prodotta utilizzando le bande 8, 4 e 3.



3c. Immagine infrarossa in falsi colori di Sentinel-2 della regione a ovest di Roma prodotta utilizzando le bande 12, 11 e 4.

Immagini all'infrarosso a colori veri e falsi colori

Mentre le immagini a colori sono utilizzate per mostrare la Terra "così com'è" (cioè come apparirebbe all'occhio umano) per scopi cartografici e illustrativi, altre rappresentazioni sono utilizzate per evidenziare proprietà specifiche dell'area visualizzata.

Importanti informazioni aggiuntive sono contenute soprattutto nelle bande dell'immagine a infrarossi. Queste informazioni vengono utilizzate, ad esempio, per evidenziare e analizzare le proprietà delle piante, poiché la clorofilla contenuta nelle foglie riflette molto bene la parte infrarossa della luce solare. Ciò rende questi dati una fonte di informazioni preziosa per le applicazioni in agricoltura e nella protezione della natura.

Altri utilizzi delle rappresentazioni infrarosse in falsi colori che utilizzano altre bande infrarosse comprendono l'analisi degli incendi e delle attività vulcaniche, nonché delle proprietà degli spazi urbani.



Satelliti radar

I dati satellitari radar forniscono una prospettiva molto particolare sulla superficie terrestre, catturando informazioni che vanno oltre quelle che possono rivelare i sensori ottici. A differenza dei dati ottici, che si basano sulla riflessione della luce solare, i sensori radar emettono attivamente impulsi a microonde e misurano il segnale di ritorno. Questa capacità di rilevamento attivo consente ai satelliti radar di operare indipendentemente dall'illuminazione esterna della luce solare, rendendoli adatti a un'ampia gamma di compiti di osservazione della Terra. Un vantaggio fondamentale dei dati satellitari radar è la capacità di penetrare la copertura nuvolosa, un limite significativo per i sensori ottici. Il SAR può "vedere" attraverso le nuvole grazie alla sua lunghezza d'onda maggiore, fornendo un monitoraggio continuo nelle regioni soggette a copertura nuvolosa persistente, come le foreste pluviali tropicali o le aree ad alta latitudine. Questo è particolarmente importante per applicazioni come il monitoraggio dei disastri, dove le informazioni in tempo reale sono essenziali. I dati radar non sono influenzati dalle condizioni di luce diurna, consentendo un monitoraggio permanente. Questa capacità di osservazione costante si rivela preziosa per applicazioni come la sorveglianza marittima, dove il rilevamento di imbarcazioni in regioni remote o scarsamente illuminate può risultare difficile per i sensori ottici.

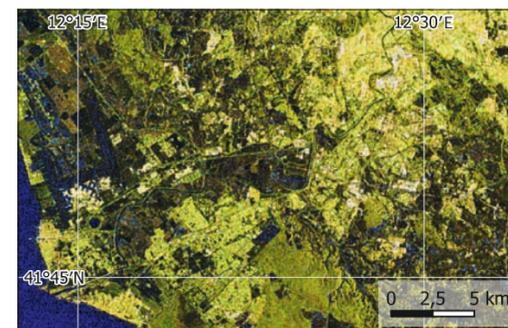
Un'altra caratteristica distintiva dei dati radar è la capacità di misurare la topografia e le deformazioni superficiali con elevata precisione. Le tecniche SAR interferometriche (InSAR) vengono utilizzate per analizzare la differenza di fase tra più immagini radar, consentendo di rilevare cedimenti del terreno, variazioni di quota e persino deformazioni millimetriche. Ciò rende i dati radar indispensabili per monitorare la stabilità del terreno in regioni a rischio sismico o per tracciare spostamenti impercettibili nelle infrastrutture.

La capacità dei dati radar di penetrare la vegetazione offre un vantaggio unico per le applicazioni forestali. Mentre i sensori ottici sono limitati nella loro capacità di vedere attraverso le chiome dense, il radar può penetrare gli strati di vegetazione e acquisire informazioni sulla struttura della foresta, sulla biomassa e persino rilevare le attività di taglio illegali.

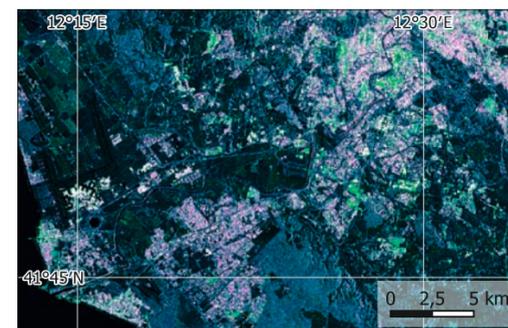
Come ogni tecnologia, anche i dati radar hanno i loro limiti. La risoluzione spaziale delle immagini radar è generalmente più grossolana di quella dei dati ottici ad alta risoluzione. Mentre i sensori ottici possono fornire informazioni dettagliate sulle caratteristiche della superficie, i dati radar possono mancare dei dettagli su scala fine necessari per alcune applicazioni. Inoltre, l'interpretazione dei dati radar è meno intuitiva di quella dei dati ottici e la loro valutazione richiede strumenti software sofisticati che consentano di estrarre le informazioni più sottili dei dati.



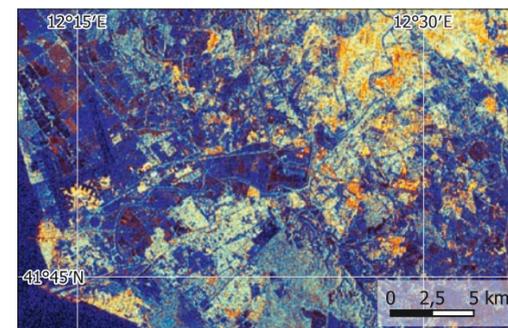
5. Immagine radar della regione a sud-ovest di Roma Immagine a polarizzazione singola. Dati: Sentinel-1, 23/03/2022.



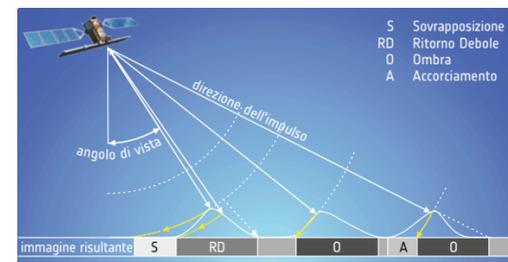
6. Immagine radar della regione a sud-ovest di Roma. Immagine di multipolarizzazione. Dati: Sentinel-1, 23/03/2022.



7. Immagine radar della regione a sud-ovest di Roma. Immagine di multipolarizzazione ottimizzata per le analisi urbane (le aree edificate appaiono in colore viola). Dati: Sentinel-1, 23/03/2022.



8. Immagine radar della regione a sud-ovest di Roma. Immagine di multipolarizzazione ottimizzata per una buona discriminazione delle diverse classi di copertura del suolo. Dati: Sentinel-1, 23/03/2022.



9. I satelliti radar inviano impulsi di radiazioni sulla superficie della Terra e misurano il segnale riflesso. Utilizzando il tempo che il segnale impiega per tornare al satellite, è possibile calcolare la distanza del punto di riflessione, la base per la produzione di mappe radar.



Interpretazione dei dati satellitari – Indici

Interpretare i dati satellitari per ricavare informazioni sulle caratteristiche e sui cambiamenti della superficie terrestre è un compito complesso. L'analisi basata sugli indici è emersa come un potente strumento per estrarre informazioni dai dati satellitari. Vari indici, derivati da combinazioni di bande spettrali, evidenziano caratteristiche, modelli e condizioni ambientali specifiche:

Vegetazione: Gli indici di vegetazione sono fondamentali per monitorare la salute delle piante, la biomassa e i cambiamenti della copertura del suolo. Indici come il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) utilizzano il contrasto tra la riflettanza nelle bande del rosso e del vicino infrarosso per quantificare la densità della vegetazione. Valori elevati di NDVI indicano in genere una vegetazione sana e densa, mentre valori più bassi possono indicare una vegetazione stressata o rada. Questi indici sono fondamentali per applicazioni che vanno dal monitoraggio dell'agricoltura alla valutazione della salute degli ecosistemi.

Urbanizzazione: Gli indici di urbanizzazione aiutano ad analizzare e monitorare l'estensione e le caratteristiche delle aree urbane nelle immagini satellitari. L'*Urban Heat Island Index* (UHI), ad esempio, confronta la temperatura delle aree urbane e rurali, evidenziando l'aumento del calore negli ambienti urbani. Altri indici, come il *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI), si concentrano sulle aree edificate all'interno del paesaggio, aiutando la pianificazione urbana e gli studi sullo sviluppo delle infrastrutture.

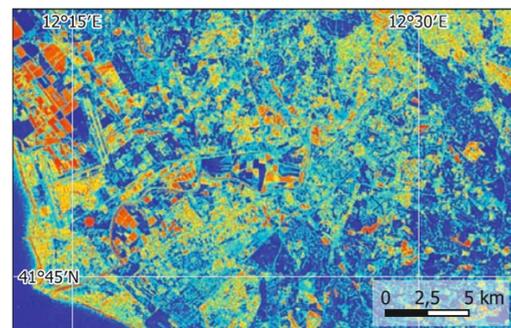
Acqua: I dati satellitari vengono utilizzati per valutare la qualità dell'acqua attraverso indici specifici. Il *Normalized Difference Water Index* (NDWI) viene utilizzato per identificare i corpi idrici superficiali, mentre indici come il *Water Quality Index* (WQI) utilizzano bande multiple per valutare parametri come la concentrazione di clorofilla e il carico di sedimenti, offrendo approfondimenti sugli ecosistemi acquatici e sulla gestione delle risorse idriche.

Area bruciata: Il monitoraggio e la valutazione delle aree bruciate e degli incendi sono applicazioni critiche dei dati satellitari. Indici come il *Normalized Burn Ratio* (NBR) evidenziano i cambiamenti nella copertura vegetale dopo un incendio. Grazie a questi indici, gli analisti possono quantificare la gravità e l'estensione dell'area bruciata, aiutando la pianificazione del recupero post-incendio e il ripristino ecologico.

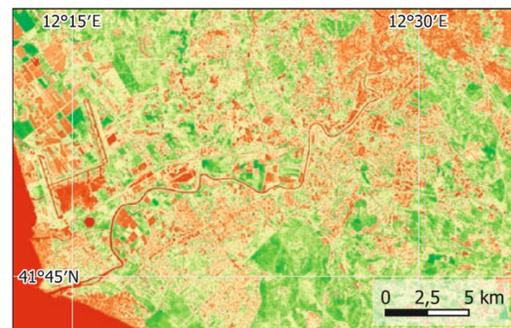
Neve e ghiaccio: nelle regioni polari e montuose, il monitoraggio della copertura di neve e ghiaccio è fondamentale per comprendere gli impatti dei cambiamenti climatici. Indici come il *Normalized Difference Snow Index* (NDSI) aiutano a distinguere la neve da altre superfici. Questi indici contribuiscono alla valutazione del manto nevoso, al monitoraggio dei ghiacciai e alla previsione delle risorse idriche.



1. Immagine a colori reali di Sentinel-2 della regione a sud-ovest di Roma, che mostra la foce del Tevere, Ostia e l'aeroporto di Fiumicino. Dati: Sentinel-2, 21/03/2022.



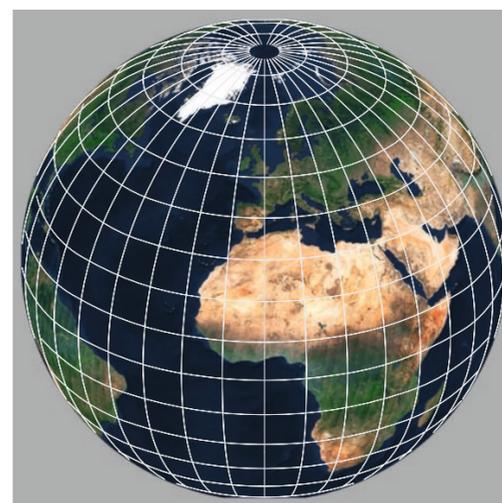
2. Mappa dell'indice di umidità del suolo Sentinel-2 della regione a sud-ovest di Roma. I colori rossi indicano le aree secche, come le aree edificate e i terreni nudi, mentre il blu scuro evidenzia le aree umide, per lo più vegetate. Dati: Sentinel-2, 21/03/2022.



3. Mappa NDVI (Normalised difference vegetation index) della regione a sud-ovest di Roma. Dal rosso al verde l'intensità o la vitalità della vegetazione aumenta. Dati: Sentinel-2, 21/03/2022.



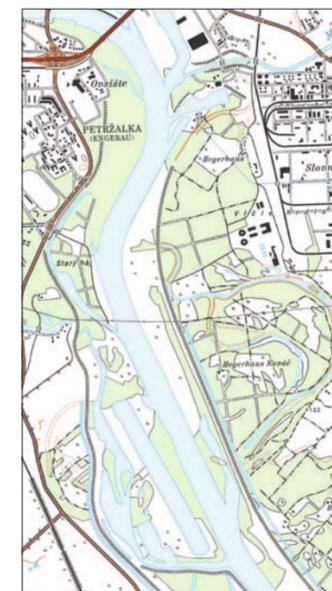
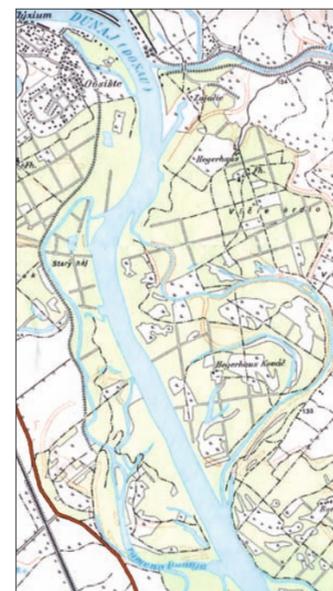
4. Mappa NDWI (Normalised difference water index) della regione a sud-ovest di Roma. I corpi idrici (blu) possono essere chiaramente identificati, dal verde al bianco il contenuto d'acqua della superficie diminuisce. Dati: Sentinel-2, 21/03/2022.



5. La Terra è un corpo tridimensionale. La rappresentazione della sua superficie in mappe bidimensionali è necessariamente accompagnata da distorsioni, che portano a errori nelle distanze, negli angoli o nelle aree visualizzate.

Dai dati satellitari alle mappe

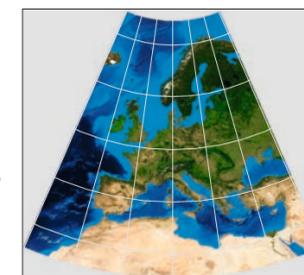
La produzione di mappe accurate e affidabili a partire dai dati satellitari si basa su due fattori critici: la georeferenziazione e le proiezioni delle mappe. Questi aspetti giocano un ruolo fondamentale nel garantire che le immagini satellitari siano non solo visivamente interpretabili, ma anche spazialmente accurate e compatibili con i set di dati geografici esistenti. In questo modo è possibile creare serie temporali e utilizzare i dati satellitari per aggiornare le mappe con informazioni più vecchie. La georeferenziazione è il processo di assegnazione delle coordinate geografiche a ciascun pixel delle immagini satellitari, stabilendo una relazione spaziale tra l'immagine e la superficie terrestre. Questa fase consente di integrare i dati satellitari con altre informazioni geografiche, facilitando analisi e interpretazioni accurate. Gli



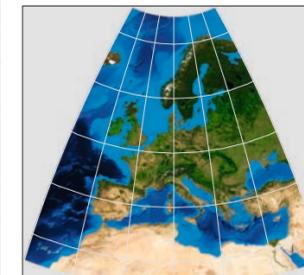
6a. Nella proiezione geografica, le linee di latitudine e longitudine costanti formano linee rette.



6b. La proiezione di Mercatore è una proiezione che conserva gli angoli.



6c. La proiezione Albers Equal-Area drappeggia la superficie su un cono.



6d. Intorno al suo punto centrale, la proiezione di Lambert Azimuthal Equal-Area mostra distorsioni relativamente piccole.

7. Mostrando i cambiamenti recenti, i dati satellitari sono uno strumento importante utilizzato per aggiornare le mappe topografiche [a sinistra: mappa del 1972, al centro: Immagine Sentinel-2 del 2023, a destra: mappa del 2023].

aspetti importanti della georeferenziazione sono:

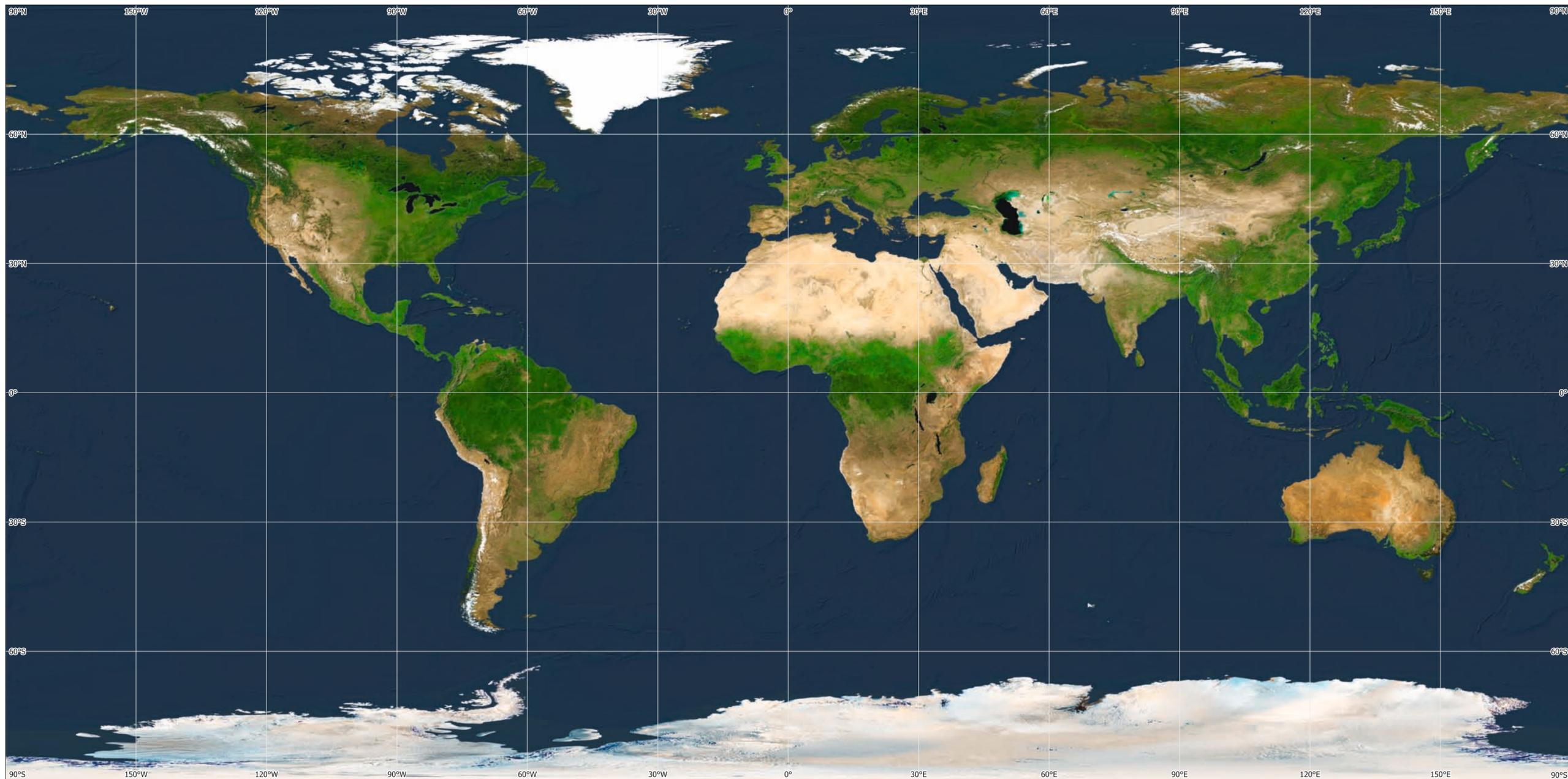
- **Punti di controllo a terra (GCP):** La georeferenziazione è spesso ottenuta identificando punti di controllo a terra, ovvero elementi ben definiti con coordinate geografiche note. Questi punti funzionano come marcatori di riferimento, consentendo di allineare l'immagine satellitare con un sistema di riferimento di coordinate.
- **Metodi di trasformazione:** Vengono applicati vari metodi di trasformazione, come le trasformazioni polinomiali o affini, per deformare l'immagine satellitare in modo che corrisponda alle posizioni note dei punti di controllo a terra.
- **Valutazione della precisione:** L'accuratezza della georeferenziazione è fondamentale per una mappatura affidabile. Le valutazioni di accuratezza confrontano le coordinate mappate dei punti selezionati con le loro coordinate reali al suolo.

Proiezioni cartografiche

La superficie terrestre è tridimensionale, ma le mappe sono rappresentazioni bidimensionali che richiedono l'uso di proiezioni cartografiche. Una proiezione cartografica è un metodo sistematico per rappresentare la superficie curva della Terra su una mappa piatta.

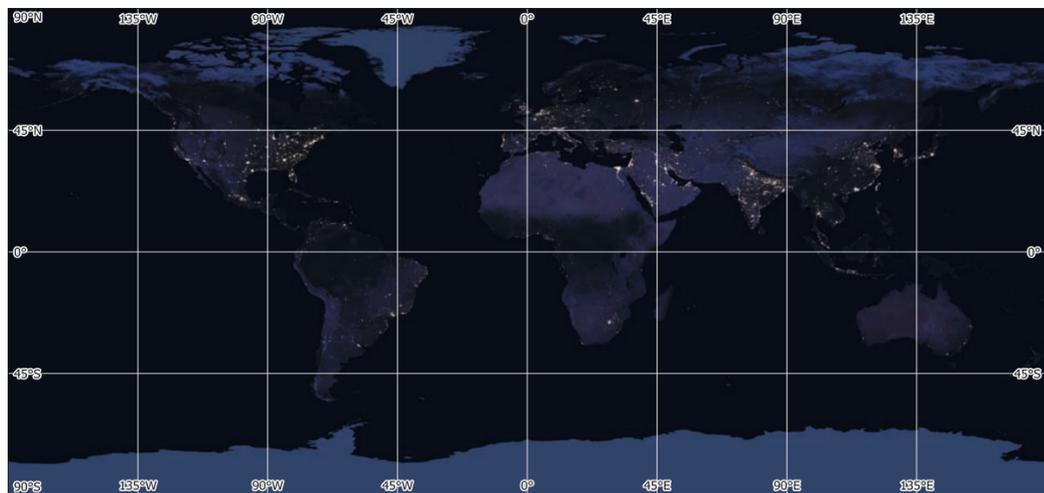
La scelta di una proiezione cartografica appropriata è fondamentale per ridurre al minimo le distorsioni di forma, area, distanza o direzione. Pertanto, dipende dai requisiti specifici del progetto di mappatura. I principali tipi di proiezione sono:

- **Proiezione geografica** che consente di accedere facilmente alle coordinate di un punto,
- **Proiezione di Mercatore**, che conserva gli angoli, spesso utilizzata per la navigazione,
- Le proiezioni ad area uguale, come la *proiezione ad area uguale di Albers* o la *proiezione di Mollweide*, mantengono rappresentazioni accurate delle aree relative.



3. Vista spaziale della Terra, scattata il 7 dicembre 1972 dall'equipaggio della navicella Apollo 17 in viaggio verso la Luna a una distanza di circa 29.400 chilometri.

1. Mappa globale di immagini satellitari di luce diurna derivata da un'ampia raccolta di immagini satellitari acquisite dal sensore SPOT Vegetation.

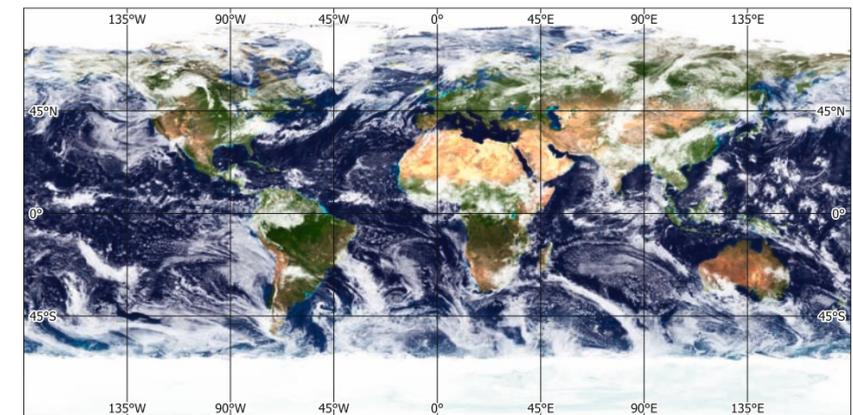


2. Mappa globale delle immagini satellitari notturne (Marmo nero). Dati: DMSP – Operational Linescan System.

Viste satellitari globali

I satelliti per l'osservazione della Terra consentono di osservare la Terra in modo omogeneo. Di solito, gran parte della superficie terrestre è coperta da nuvole. Per ottenere una visione completa è necessario combinare immagini prive di nuvole, idealmente provenienti dallo stesso momento all'interno del periodo di vegetazione.

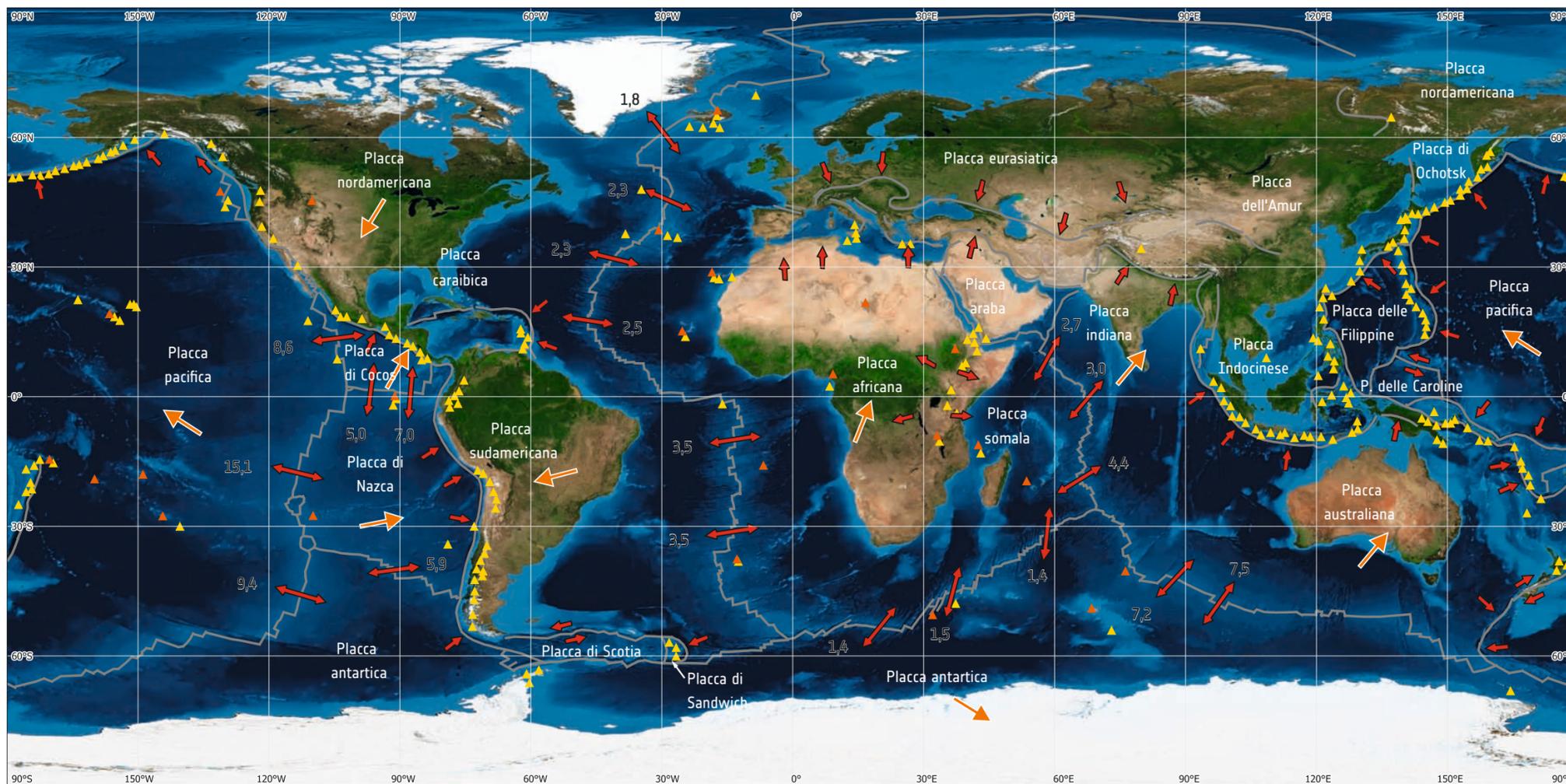
Le mappe satellitari globali non vengono prodotte solo per presentare la situazione diurna, a colori naturali, ma possono fornire una panoramica di molti aspetti. Le mappe della temperatura, delle precipitazioni e dei gas in traccia sono esempi dell'ampia gamma di informazioni prodotte. Un'applicazione speciale sono le mappe notturne che evidenziano l'attività umana sulla Terra.



4. Questo mosaico di immagini satellitari globali diurne mostra la Terra con le nuvole, che in qualsiasi momento coprono gran parte del pianeta.



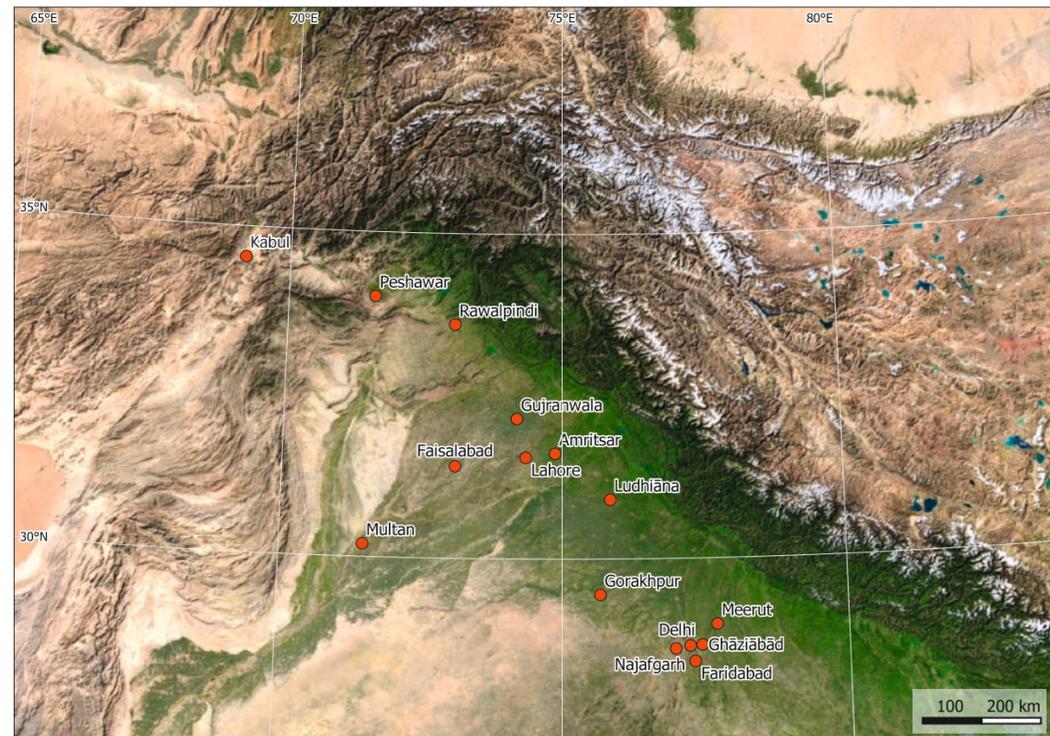
LITOSFERA



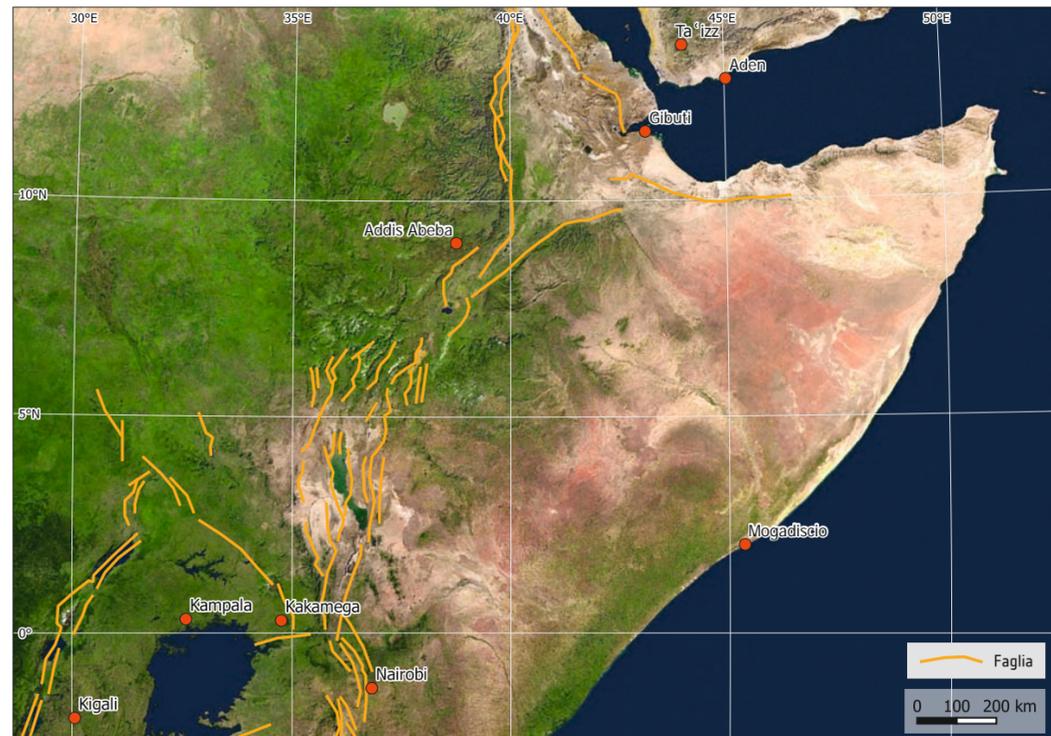
1. Placche tettoniche.



2. Tipiche strutture di pieghe sul versante settentrionale dell'Himalaya, con strati rocciosi di colore diverso. Dati: Sentinel-2, 02/08/2023.



3. L'Himalaya è una caratteristica montagna a pieghe. Sono il risultato del movimento della placca indiana verso nord, dove si scontra con la placca eurasiatica.



6. Particolare delle spaccature della Rift Valley dell'Africa orientale a est di Addis Abeba, in Etiopia. Dati: Sentinel-2, 26/08/2023.

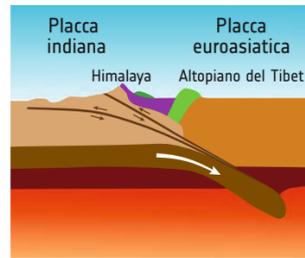
7. La Rift Valley dell'Africa orientale è formata dalla separazione in corso della placca somala dalla placca africana, che ha portato a un assottigliamento della crosta terrestre intorno alla linea di separazione.

Le attività tettoniche danno forma alla Terra

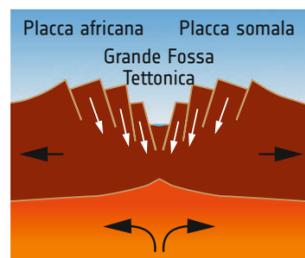
I movimenti e le deformazioni della crosta terrestre indotti dal movimento delle placche tettoniche sono processi potenti, che modellano la superficie della Terra nel corso di milioni di anni. La litosfera terrestre, che comprende la crosta e il mantello superiore, è soggetta a forze immense legate al movimento e all'interazione di queste placche, che portano alla formazione di montagne, valli di frattura, terremoti e altri fenomeni geologici. Esempi che illustrano i processi tettonici sono l'Himalaya e la Rift Valley dell'Africa orientale.

L'Himalaya, che si estende in tutta l'Asia meridionale, è il risultato della collisione tra le placche tettoniche indiana ed eurasiatica. Questa collisione, iniziata circa 50 milioni di anni fa, continua a modellare il paesaggio della regione. Le placche convergenti hanno causato il sollevamento di catene montuose, tra cui il Monte Everest, la vetta più alta del mondo. L'Himalaya presenta una grande quantità di processi geologici, tra cui il ripiegamento e l'erosione.

Al contrario, la Rift Valley dell'Africa orientale è il risultato di forze divergenti che hanno lacerato il continente africano. La crosta terrestre si sta sfaldando lungo un sistema di fratture, risultato dell'allontanamento delle placche tettoniche l'una dall'altra. Questo cosiddetto rifting continentale costituisce le fasi iniziali dell'evoluzione dei confini delle placche. Il magma proveniente dal mantello contribuisce all'assottigliamento e all'eventuale separazione delle masse continentali. Il paesaggio della rift valley è caratterizzato da ripide scogliere, attività vulcanica e laghi.

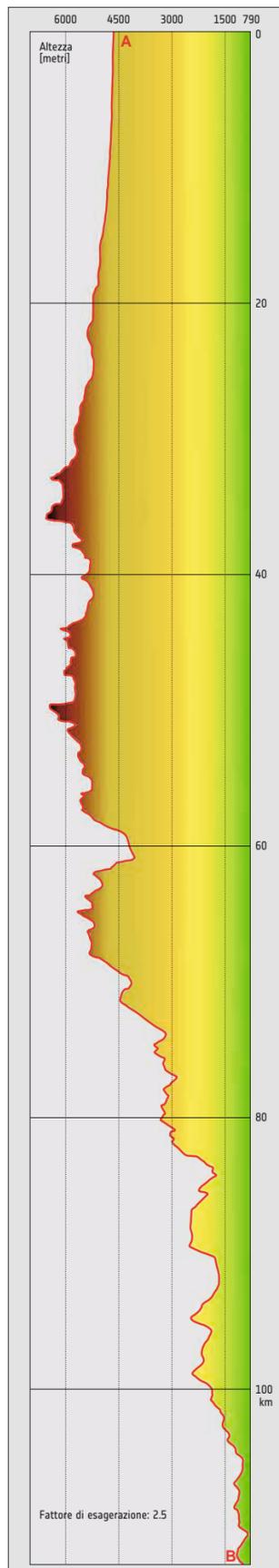


4. Sezione trasversale schematica dell'Himalaya e dell'altopiano tibetano, che mostra la formazione della catena montuosa dalla collisione della placca indiana e di quella eurasiatica.

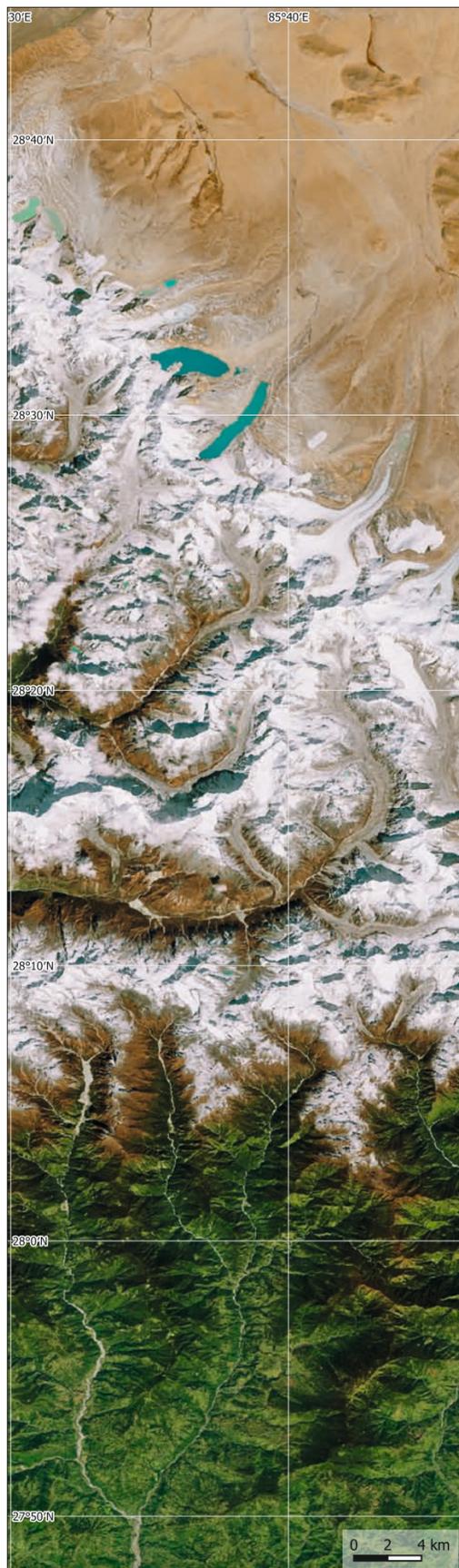


5. Sezione trasversale schematica della Rift Valley dell'Africa orientale, che mostra la formazione della valle dovuta alla divergenza tra la placca africana e quella somala.

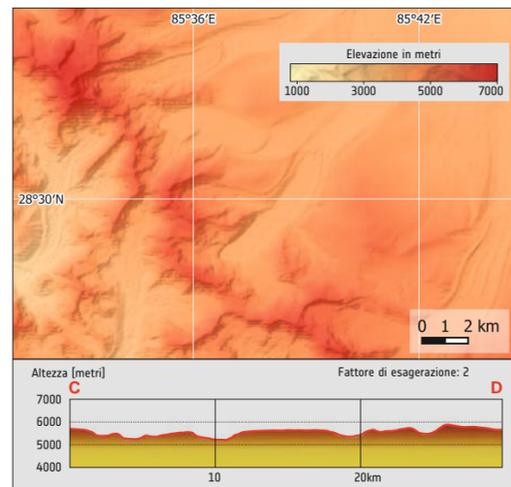
LITOSFERA



1. Sezione trasversale nord-sud dell'Himalaya.



2. L'Himalaya separa le verdi pianure del sud dall'arido altipiano tibetano del nord. Dati: Sentinel-2, 22/10/2023.



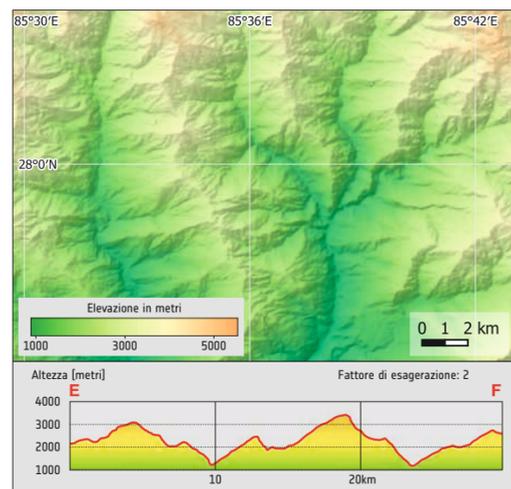
3. Le tipiche valli lisce a forma di U formate dai ghiacciai sono accompagnate da morene e laghi glaciali.

Paesaggi modellati dall'erosione

Le pendici dell'Himalaya sono tettonicamente attive. La collisione tra la placca indiana e la placca eurasiatica provoca il sollevamento della crosta terrestre e la formazione della catena montuosa dell'Himalaya. Diversi processi di erosione rallentano il sollevamento della catena montuosa.

Il versante settentrionale dell'Himalaya, l'Altopiano tibetano, è caratterizzato da altipiani, valli profonde e terreni accidentati. Quest'area è in gran parte arida e ha un'elevazione media più elevata rispetto al versante meridionale. Qui l'erosione è in gran parte governata dai ghiacciai, con le tipiche valli a forma di U dell'erosione glaciale.

Il versante meridionale dell'Himalaya presenta un rilievo generalmente più vario, con valli più basse e cime più alte. Questa regione comprende le pendici dell'Himalaya, che gradualmente si trasformano nelle vaste pianure del subcontinente indiano. Qui si assiste soprattutto all'erosione fluviale. Il paesaggio è formato da fiumi e frane, che danno origine a valli a forma di V.



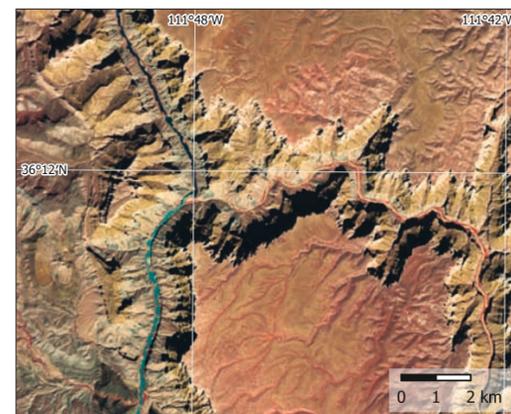
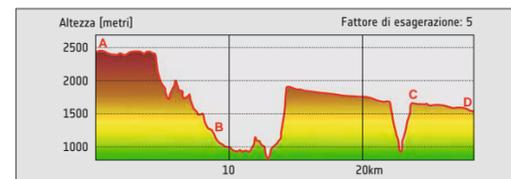
4. Tipiche valli aspre a forma di V formate dai fiumi lungo le pendici meridionali dell'Himalaya.



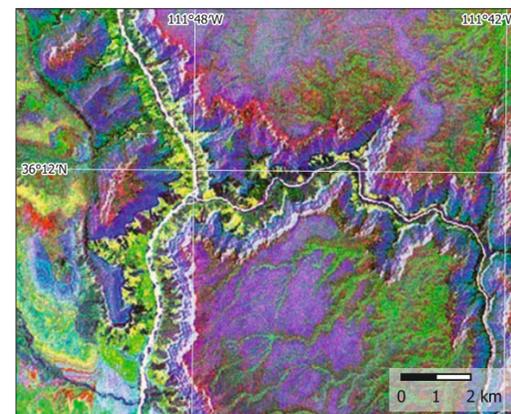
Scolpito negli strati di sedimento

L'altipiano del Colorado, nel sud-ovest degli Stati Uniti, è attraversato dal fiume Colorado. L'altipiano di Kaibab, a ovest, appare di colore verde, poiché è vegetato da boschi di pioppi, abeti rossi e ginepri. Il Deserto Dipinto, a est, è costituito da fasce di dune di sabbia pietrificata parallele alla superficie. Il Colorado scorre dalle sue sorgenti nel Parco Nazionale delle Montagne Rocciose verso sud-ovest, passando per il Marble Canyon. All'estremità meridionale del canyon, il fiume si unisce al Little Colorado River. Nel corso di milioni di anni, la forza erosiva dell'acqua ha scavato il Grand Canyon attraverso gli strati di sedimenti che si sono sollevati sull'altipiano del Colorado.

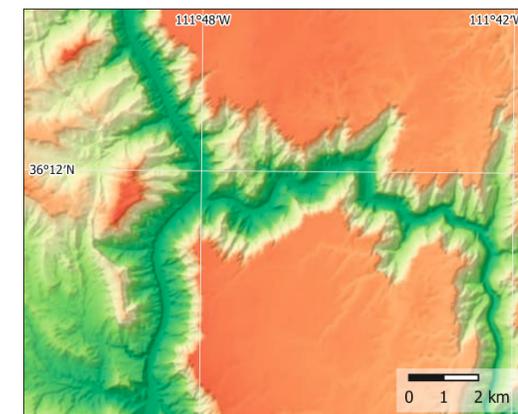
Le mappe di dettaglio evidenziano la specifica situazione geologica e geomorfologica della regione, risultante dall'erosione fluviale degli strati sedimentari, altrimenti per lo più indisturbati. La mappa del terreno e il profilo illustrano il carattere di gola del canyon scavato nella superficie dell'Altopiano del Colorado.



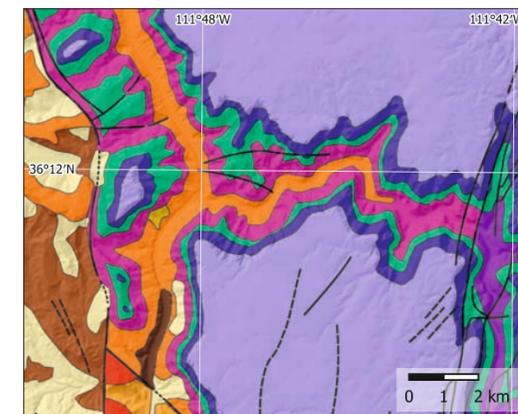
6. Giunzione del Little Colorado River e del Colorado River in falsa colore all'infrarosso. Dati: Sentinel-2, 24/09/2023.



5. Il fiume Colorado ha scavato il Grand Canyon fino a 1500 metri di profondità negli strati di roccia sedimentaria che formano l'altipiano del Colorado. Dati: Sentinel-2, 24/09/2023.



7. Mappa del terreno della regione intorno alla confluenza del fiume, che mostra il canyon frastagliato nell'altipiano liscio del Colorado.



8 (a sinistra). L'analisi delle componenti principali dei dati satellitari consente di separare gli strati geologici.

Depositi Quaternari	Depositi Colluviali	Ghiaione	Permiano/Pennsylvaniano	Calcare di Kaibab	Formazione Toroweap	Arenaria di Coconino, Hermit Scisto	Formazione Supa
Mississippiano, Devoniano, Cambriano	Calcare di Redwall	Redwall, Temple Butte, Muav (calcarei)	Formazione Bright Angel	Arenaria di Tapeats	Precambriano	Gruppo Chuar	Formazione Nankowep
						Lava di Cardenas	Arenaria di Dok

Faglia - tratteggiata dove è approssimativamente localizzata, tratteggiata dove è nascosta. Il cerchio nero indica la parte caduta della faglia.

9. Carta geologica.



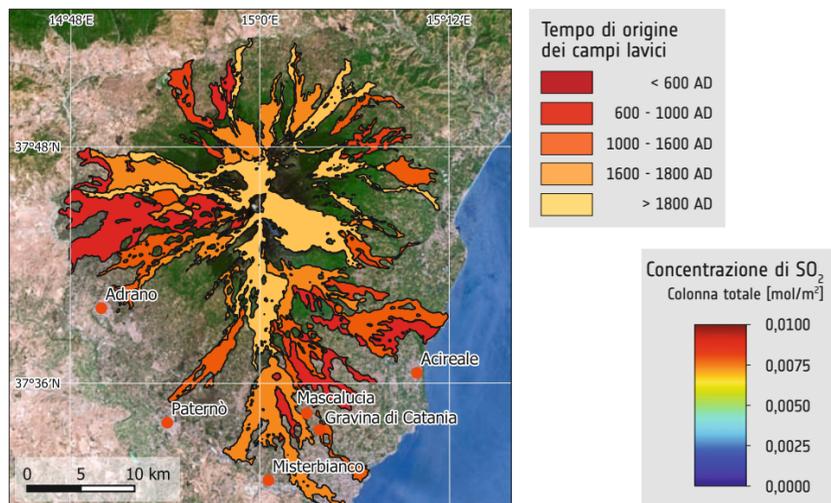
1. Sicilia, mosaico satellitare. Dati: Sentinel-2 nel giugno 2023.

L'Etna, Italia

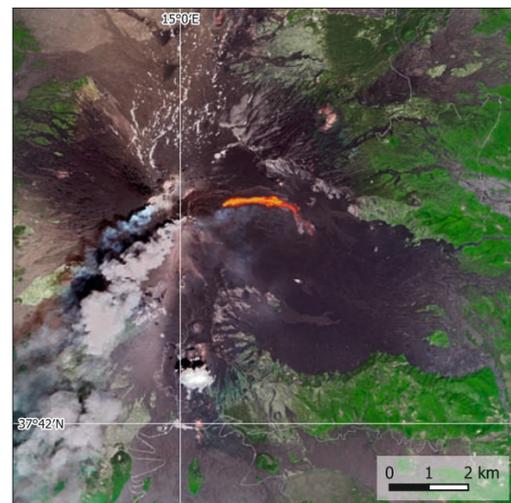
L'Etna, situato sull'isola di Sicilia, è il vulcano più grande d'Europa e uno dei vulcani più attivi della Terra. Ciò si riflette in un'alta frequenza di eruzioni. Le persone che vivono alle pendici del vulcano e nelle sue vicinanze sono abituate a essere ripetutamente disturbate dalle attività vulcaniche, ma riescono a sfruttare i vantaggi della situazione, in particolare la fertilità del suolo vulcanico e il ruolo del vulcano come punto di riferimento turistico. I dati satellitari sono utilizzati per monitorare da vicino e quantificare i danni causati da questo evento naturale. La tecnologia satellitare svolge un ruolo cruciale nel seguire l'andamento dell'eruzione, fornendo informazioni in tempo reale sul comportamento del vulcano e consentendo di mappare i flussi di lava, i pennacchi di cenere e le emissioni di gas. Queste osservazioni consentono di lanciare avvisi tempestivi per proteggere le comunità vicine e il traffico aereo.



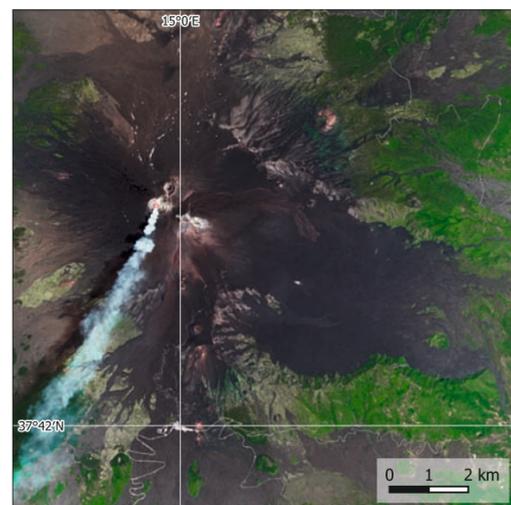
6. L'Etna durante un'eruzione.



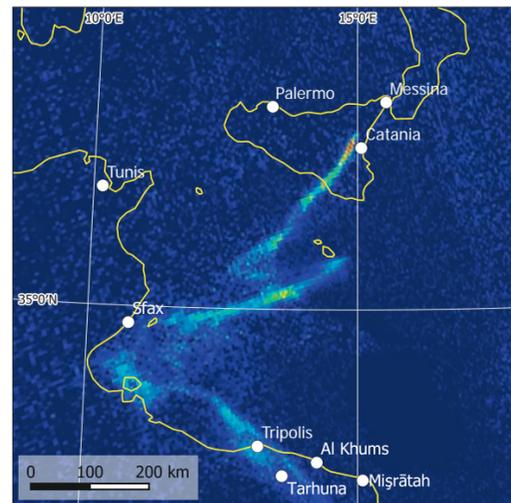
5. Mappa dell'età dei campi di lava che ricoprono le pendici dell'Etna. Dati: Sentinel-2, 06/07/2022.



2. L'inizio dell'eruzione dell'Etna del giugno 2022, con una colata di lava a est della cima. Dati: Sentinel-2, 03/06/2022.



3. L'eruzione dell'Etna del giugno 2022 dopo l'arresto delle colate laviche. Dati: Sentinel-2, 21/06/2022.

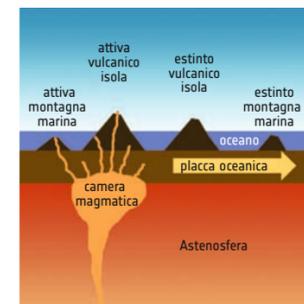


4. Concentrazione di SO₂ (colonna totale) che mostra il pennacchio dell'eruzione trasportato dai venti verso sud. Dati: Sentinel-5B, 21/06/2022.



Vulcanismo dei punti caldi

I punti caldi sono regioni della crosta terrestre che si trovano al di sopra dei cosiddetti pennacchi di mantello, regioni del mantello terrestre in cui il magma risale a causa dei processi di convezione. Di conseguenza, la crosta terrestre sopra il pennacchio può assottigliarsi e l'attività vulcanica della regione può aumentare. Quando la crosta terrestre si sposta attraverso il punto caldo, la zona di attività vulcanica si sposta e può creare catene di vulcani. Le Hawaii e le Isole Canarie sono esempi importanti di vulcanismo hotspot.



11. Meccanismo di formazione delle catene di isole vulcaniche da parte del vulcanismo hotspot.

La Palma, Spagna

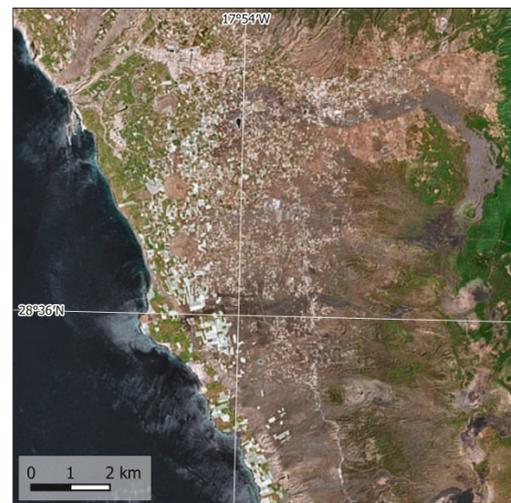
Le Isole Canarie si trovano sopra il cosiddetto hotspot canario, una regione calda e vulcanicamente attiva al largo della costa nord-occidentale dell'Africa. Nell'autunno del 2021, l'isola di La Palma, parte dell'arcipelago spagnolo delle Canarie al largo della costa dell'Africa occidentale, ha assistito a una spettacolare eruzione vulcanica.



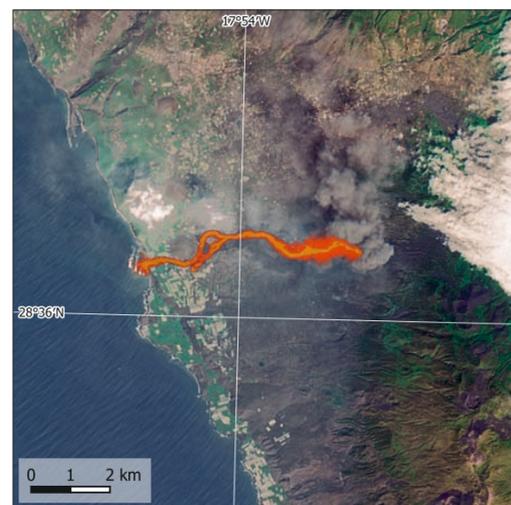
12. Hotspot delle Isole Canarie. Negli ultimi 60 milioni di anni (Ma) il fondale marino si è spostato di quasi 1000 km attraverso il punto caldo, lasciandosi alle spalle la catena delle Isole Canarie.

Il 19 settembre, il vulcano Cumbre Vieja, inattivo da decenni, ha eruttato violentemente. In uno spettacolo devastante ha liberato cenere e lava fusa. Fiumi di lava incandescente sono scesi dalle pendici del vulcano, inghiottendo case, fattorie e strade. Sebbene l'eruzione non abbia provocato vittime, i danni complessivi sono stati enormi. È stato stimato in oltre 800 milioni di euro, compresa la distruzione di infrastrutture, aree residenziali e agricoltura. Più di 2.800 edifici sono stati distrutti.

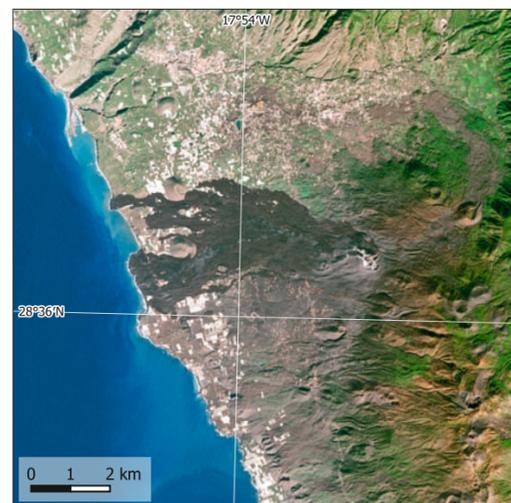
La Palma si basa molto sul turismo, che ha risentito dell'eruzione. Le entrate del turismo sono crollate di circa il 60%, causando temporaneamente la perdita di posti di lavoro e la chiusura di aziende. Inoltre, la distruzione dei terreni agricoli e delle infrastrutture ha interrotto i settori agricolo e dei trasporti dell'isola.



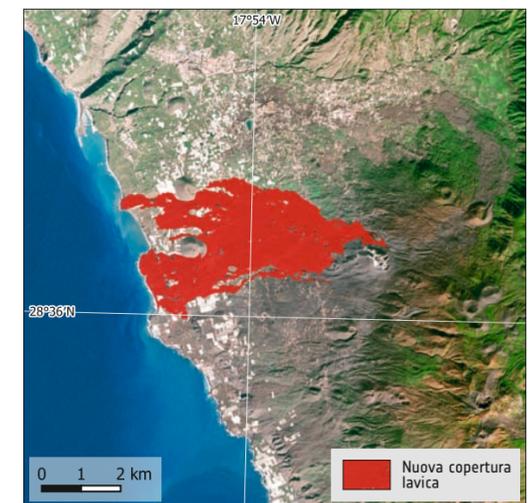
7. Immagine a colori reali di La Palma, Spagna, che mostra la regione intorno a Los Llanos de Ariadne prima dell'eruzione della cresta Cumbre Vieja. Dati: Sentinel-2, 21/08/2021.



8. Immagine satellitare a colori reali di La Palma, Spagna, che evidenzia la colata lavica durante l'eruzione. Dati: Sentinel-2, 30/09/2021.



9. La Palma, Spagna, con la nuova copertura lavica. Il confronto con l'immagine precedente all'eruzione rivela la perdita di insediamenti e campi. Dati: Sentinel-2, 03/01/2022.



10. La Palma, Spagna, dopo l'eruzione. La sovrapposizione evidenzia in rosso la nuova copertura lavica ricavata dai dati satellitari. Dati: Sentinel-2, 30/09/2021.



13. La Palma è la più giovane delle isole Canarie. La sua superficie presenta strutture vulcaniche tipiche, come crateri e campi di lava. Dati: Sentinel-2, 03/01/2022.

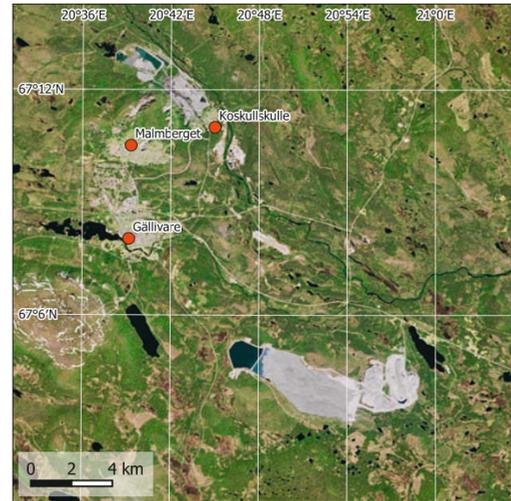


1. Immagine a colori reali della miniera di Aitik (in basso a destra nella foto) nel 2023. Dati: Sentinel-2, 15/06/2023.

Miniera di rame ad Aitik, Svezia

Situata vicino alla città di Gällivare, Aitik è una miniera di rame a cielo aperto. Entrata in produzione nel 1968, oggi si estende su oltre 450 ettari ed è una delle miniere di rame più grandi d'Europa e più efficienti del mondo. Le immagini satellitari illustrano i cambiamenti nella scala delle operazioni tra il 1992 e il 2023. Durante questo periodo, l'estrazione del minerale è stata estesa a circa 39 milioni di tonnellate all'anno.

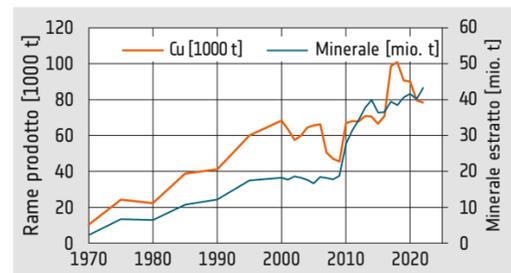
3. Vista della struttura a terrazze della miniera a cielo aperto di Aitik.



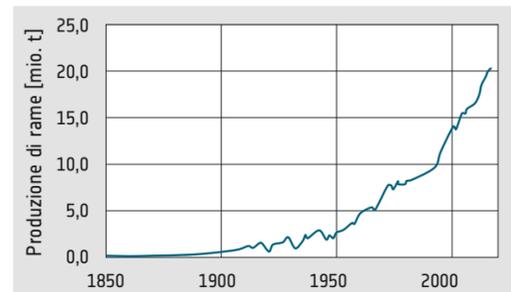
2. Immagine a colori reali della miniera di Aitik nel 1992. Dati: Landsat 5, 05/06/1992.

L'importanza economica di Aitik è elevata, in quanto contribuisce in modo significativo alle esportazioni minerarie della Svezia, rappresentando quasi il 40% della produzione di rame del Paese. Inoltre, vengono prodotte quantità minori di oro, argento e molibdeno. Con le sue attività, il polo minerario offre opportunità di lavoro a migliaia di persone della comunità locale.

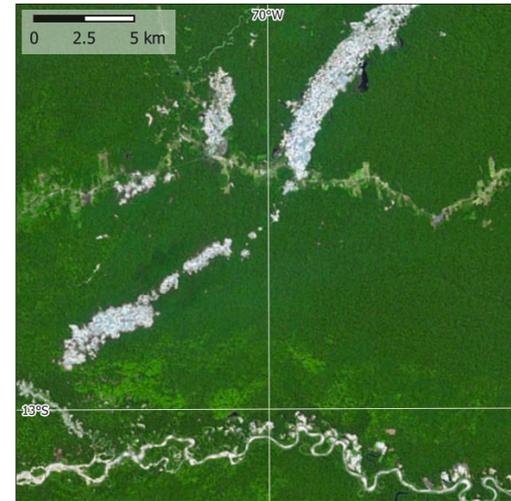
Con il suo impatto sull'ambiente, l'attività estrattiva di Aitik ha sollevato problemi di sostenibilità, rendendo necessarie pratiche responsabili dal punto di vista ambientale. La miniera impiega tecnologie all'avanguardia per ridurre al minimo l'impronta ecologica, con misure in atto per mitigare l'inquinamento dell'acqua e dell'aria.



4. Sviluppo della produzione di rame nella miniera di Aitik. Nel corso degli anni, la concentrazione di rame del minerale si è all'incirca dimezzata, il che significa che è necessario estrarre più minerale per ottenere la stessa quantità di rame.



5. L'andamento della produzione mondiale di rame dal 1850 mostra una tendenza quasi esponenziale.

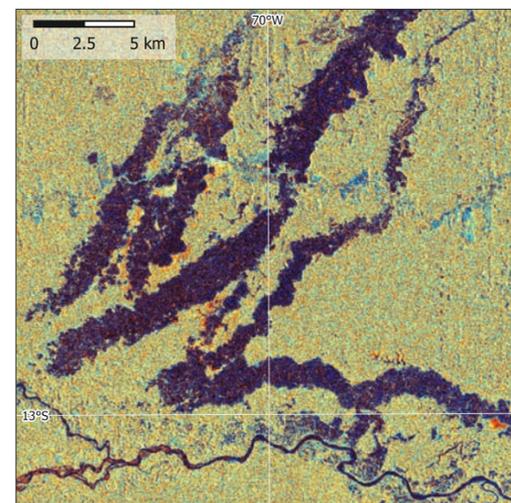


6. Estrazione dell'oro a Madre de Dios, Perù in. In questa regione, l'estrazione su piccola scala si è intensificata dall'inizio, intorno al 2000. Dati: Landsat 5, 03/09/2011.

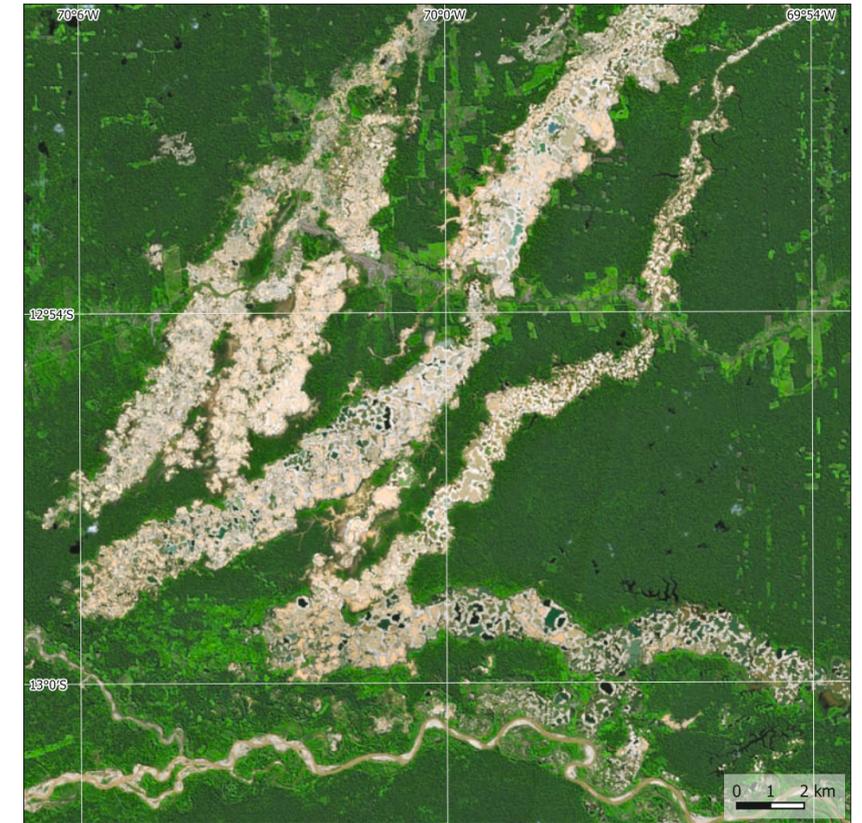
L'estrazione dell'oro a Madre de Dios, Perù

La regione lungo il Rio Madre de Dios, nella parte del bacino amazzonico situata in Perù, ha visto un aumento significativo delle attività minerarie informali e illegali negli ultimi due decenni.

Le attività minerarie hanno avuto conseguenze ambientali e sociali negative, tra cui la deforestazione, l'inquinamento da mercurio e la distruzione dell'habitat, mettendo in pericolo la fauna selvatica e le comunità indigene. L'estrazione dell'oro comporta l'uso di mercurio velenoso. Rilasciato nell'ambiente, contamina fiumi ed ecosistemi acquatici. Ogni anno vengono rilasciate nella catena alimentare tra le 30 e le 40 tonnellate di mercurio. Ciò comporta gravi rischi per la salute dei residenti e per l'ambiente. Circa l'80% della popolazione locale presenta un aumento delle concentrazioni di mercurio.

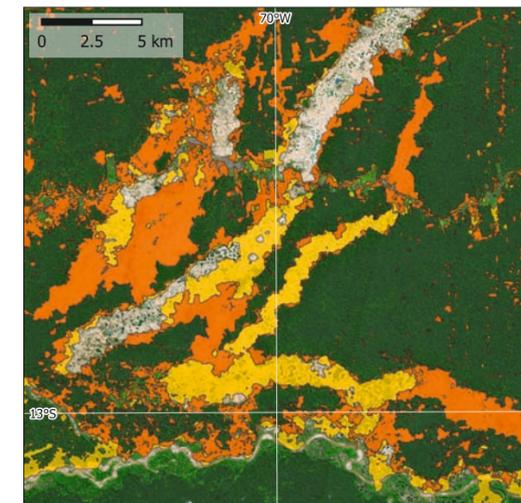


8. I dati satellitari radar sono uno strumento prezioso per analizzare i cambiamenti soprattutto nelle regioni tropicali, dove spesso le nuvole impediscono di utilizzare i dati ottici. Dati: Sentinel-1, 25/05/2023.



7. Estrazione dell'oro a Madre de Dios. L'immagine satellitare mostra le aree direttamente interessate dall'estrazione. Inoltre, sono visibili nuovi insediamenti e terreni agricoli. Dati: Sentinel-2, 03/06/2023.

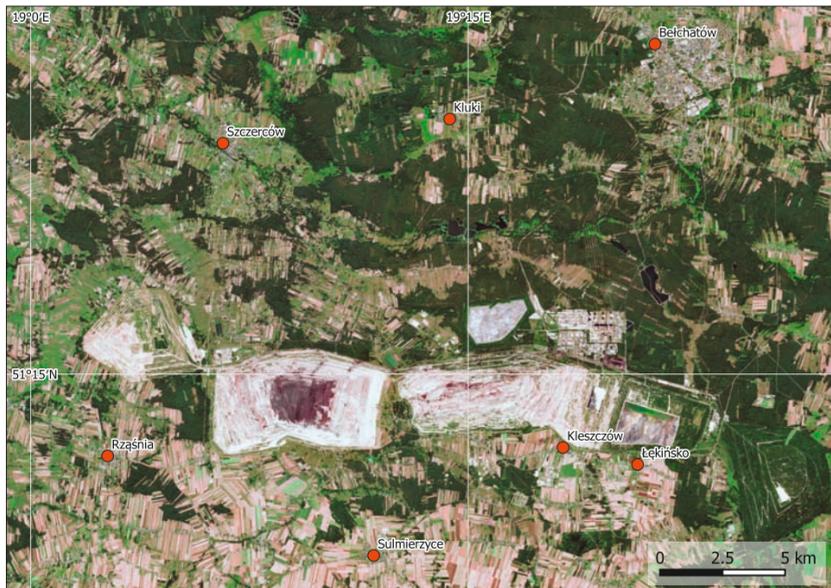
Il governo si è adoperato per combattere questi problemi regolamentando le attività estrattive. Le immagini satellitari svolgono un ruolo importante nel monitoraggio e nella valutazione dell'impatto di queste iniziative, aiutando a trovare un equilibrio tra sviluppo economico, salute pubblica e conservazione di una delle regioni più ricche di biodiversità del mondo. Il futuro dell'estrazione dell'oro a Madre de Dios dipende dalla ricerca di pratiche sostenibili che proteggano l'ambiente e sostengano i mezzi di sussistenza locali.



9. Variazione dell'area forestale tra il 2011 e il 2023 secondo i dati satellitari (giallo: perdita di foreste tra il 2011 e il 2016, arancione: perdita di foreste tra il 2016 e il 2023).



10. Veduta aerea degli stagni rimasti dopo le attività di estrazione dell'oro nella regione del Rio Madre de Dios. I colori dell'acqua riflettono le diverse concentrazioni di sedimenti e alghe.



1. Immagine a colori reali della miniera di lignite di Belchatow nel 2023. Dati: Sentinel-2, 15/08/2023.



2. Immagine a colori reali della miniera di lignite di Belchatow nel 2020. Dati: Sentinel-2, 01/07/2020.



3. Immagine a colori reali della miniera di lignite di Belchatow nel 2010. Dati: Landsat 5, 22/08/2010.



4. Immagine a colori reali della miniera di lignite di Belchatow nel 2001. Dati: Landsat 5, 28/07/2001.



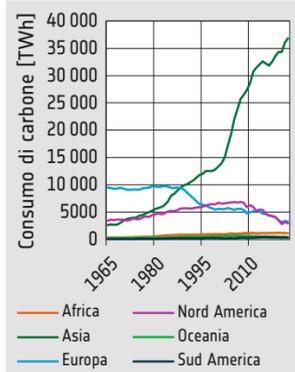
5. Immagine a colori reali della miniera di lignite di Belchatow nel 1990. Dati: Landsat 4, 12/06/1990.

La miniera di carbone di Belchatow, Polonia

La miniera di lignite di Belchatow, situata nella Polonia centrale, copre un'area di oltre 12.500 ettari. È una delle più grandi d'Europa ed è operativa dalla metà degli anni Settanta.

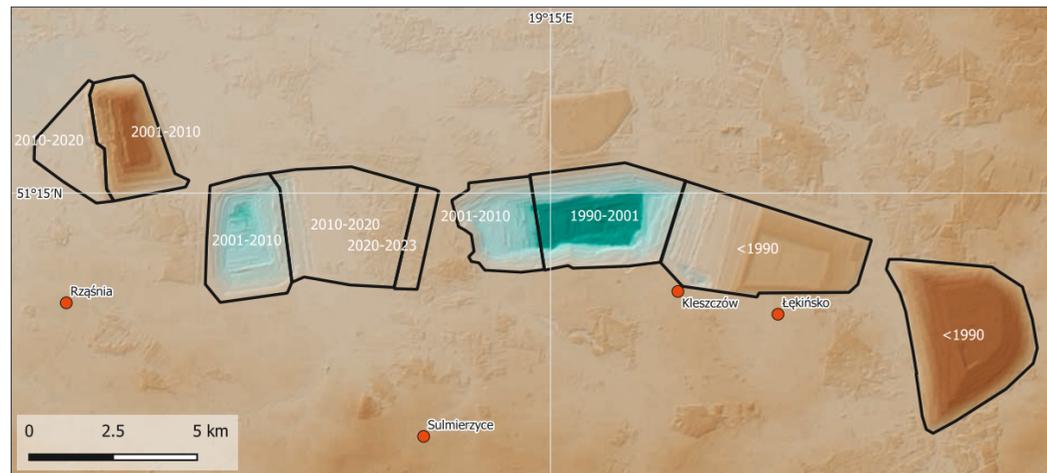
La miniera possiede riserve di oltre 2 miliardi di tonnellate di lignite, un carbone di bassa qualità utilizzato per la produzione di energia elettrica. La lignite prodotta viene fornita all'adiacente centrale elettrica di Belchatow, che consuma più di 40 milioni di tonnellate di lignite all'anno. Con una capacità di oltre 5,3 GW, questa centrale è una delle più grandi centrali termiche d'Europa.

Come mostrano le mappe satellitari, la miniera è stata spostata verso ovest, seguendo i depositi di carbone. La miniera si trova ad affrontare sfide ambientali dovute all'estrazione di combustibili fossili e alle emissioni di gas serra. Con emissioni pari a 30 milioni di tonnellate di CO2 nel 2020, la centrale elettrica adiacente è stata la più grande emittente singola di questo gas serra in Europa.



7. Sviluppo del consumo di carbone (carbon fossile e lignite) per la produzione di energia.

6. Le attività estrattive hanno modificato il rilievo dell'area di diverse centinaia di metri.



8. L'immagine del 1985 mostra le prime attività minerarie. Dati: Landsat 4, 25/01/1985.



9. Le aree delle vasche di evaporazione nel 2000. Dati: Landsat 5, 03/01/2000.



10. L'area delle vasche di evaporazione nel 2023. Dati: Sentinel-2, 18/01/2023.



11. Vista della crosta di sale che forma la superficie del Salar de Atacama.

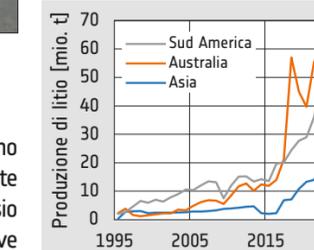
Salar de Atacama, Cile

Con una superficie di circa 3050 km², il Salar de Atacama è la più grande pianura o salina del Cile. Situato sulle Ande a un'altitudine di 2300 m sul livello del mare, il salar è costituito da sali mescolati a sabbia.

La regione riceve quantità estremamente ridotte di precipitazioni. Con soli 2 mm di pioggia all'anno, è tra le regioni più aride del mondo. L'acqua delle montagne circostanti si arricchisce di minerali e sali e scorre fino al punto più basso, la salina, dove l'acqua evapora. Questo

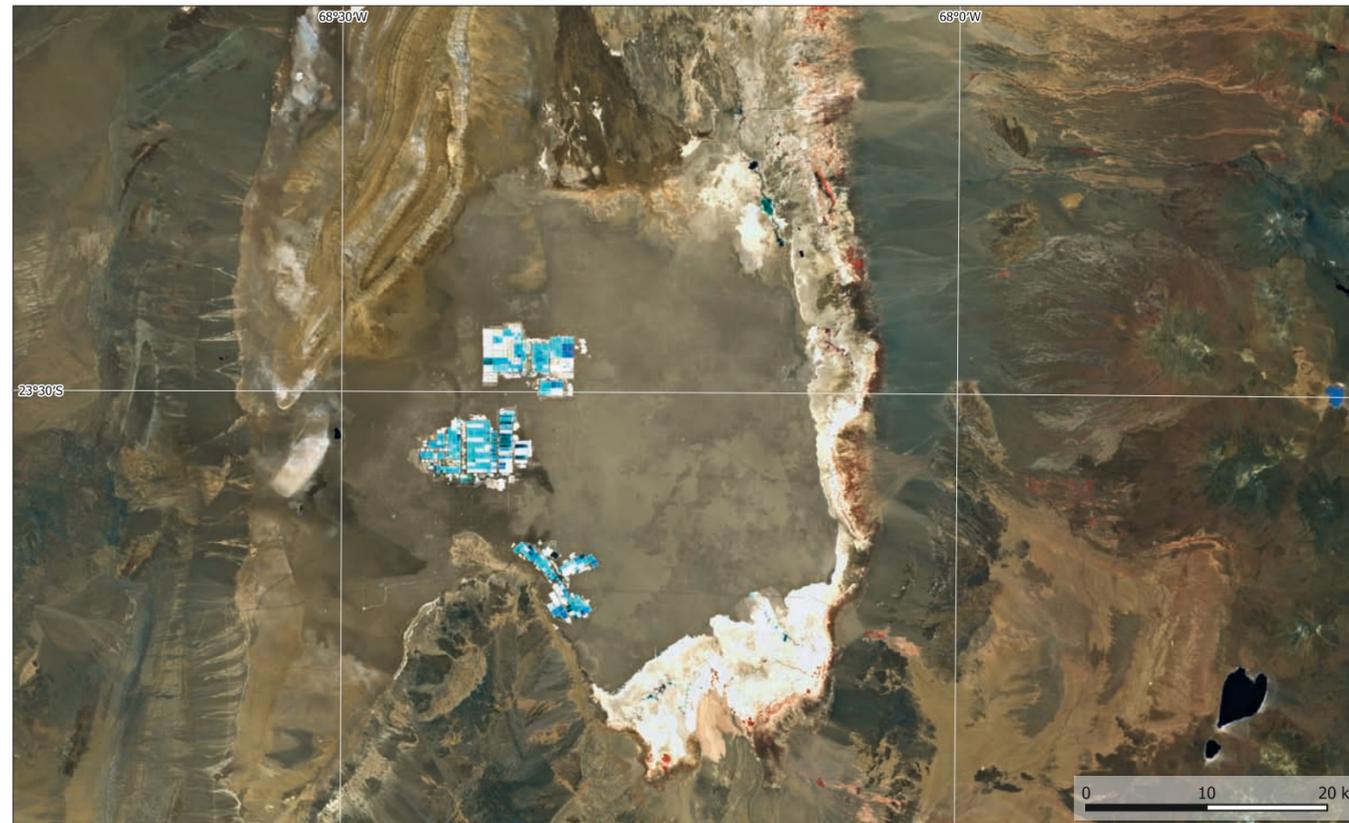
processo ha formato un corpo di salamoia che arriva fino a 1,7 km sotto la superficie. È composta principalmente da cloruro di sodio ed è ricca di litio, potassio, magnesio e boro. La salamoia viene pompata in superficie, dove l'acqua evapora e i sali si arricchiscono ulteriormente. L'estrazione del litio, necessario per i veicoli elettrici, è stata notevolmente ampliata negli ultimi anni.

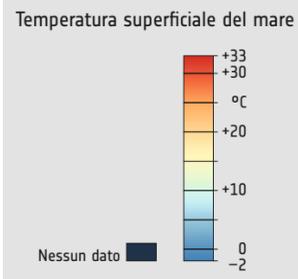
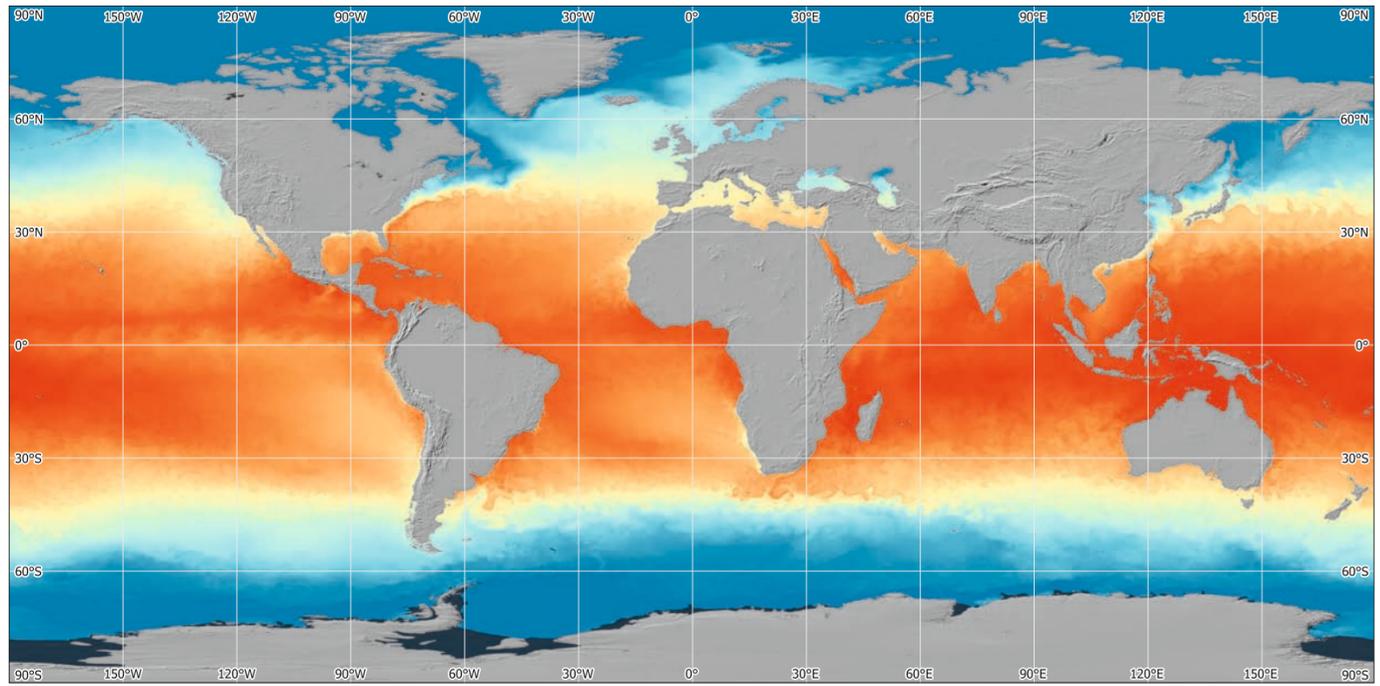
Il Salar de Atacama è uno dei più importanti siti di produzione di litio, con circa il 36% della produzione mondiale di litio e circa il 27% delle riserve mondiali.



12. Nel corso di pochi anni, la crescente domanda di veicoli elettrici a batteria ha portato a un aumento significativo della produzione di litio.

13. L'immagine satellitare a infrarossi in falsi colori mostra la vegetazione in rosso. In questo ambiente arido sono visibili solo piccole macchie di vegetazione lungo il bordo orientale della piana salata. Dati: Sentinel-2, 18/01/2023.



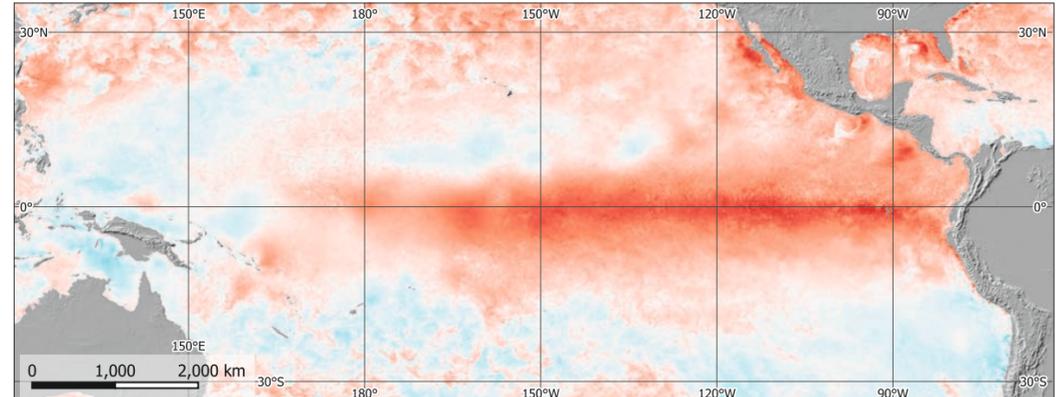


Temperatura della superficie del mare (SST)

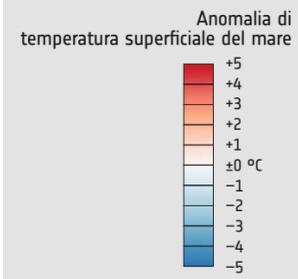
Le temperature globali della superficie del mare (SST) sono una componente critica del sistema climatico terrestre e influenzano i modelli meteorologici, la circolazione oceanica e le dinamiche degli ecosistemi. Le SST mostrano un andamento zonale, con temperature più calde vicino all'equatore e più fredde verso i poli. Nei

cambiamenti stagionali queste zone si spostano verso nord o verso sud. Le differenze di temperatura guidano la circolazione atmosferica e oceanica e modellano i modelli climatici. Rispetto all'atmosfera, i corpi idrici possono immagazzinare grandi quantità di energia termica e fungere da importante cuscinetto energetico nel contesto dei cam-

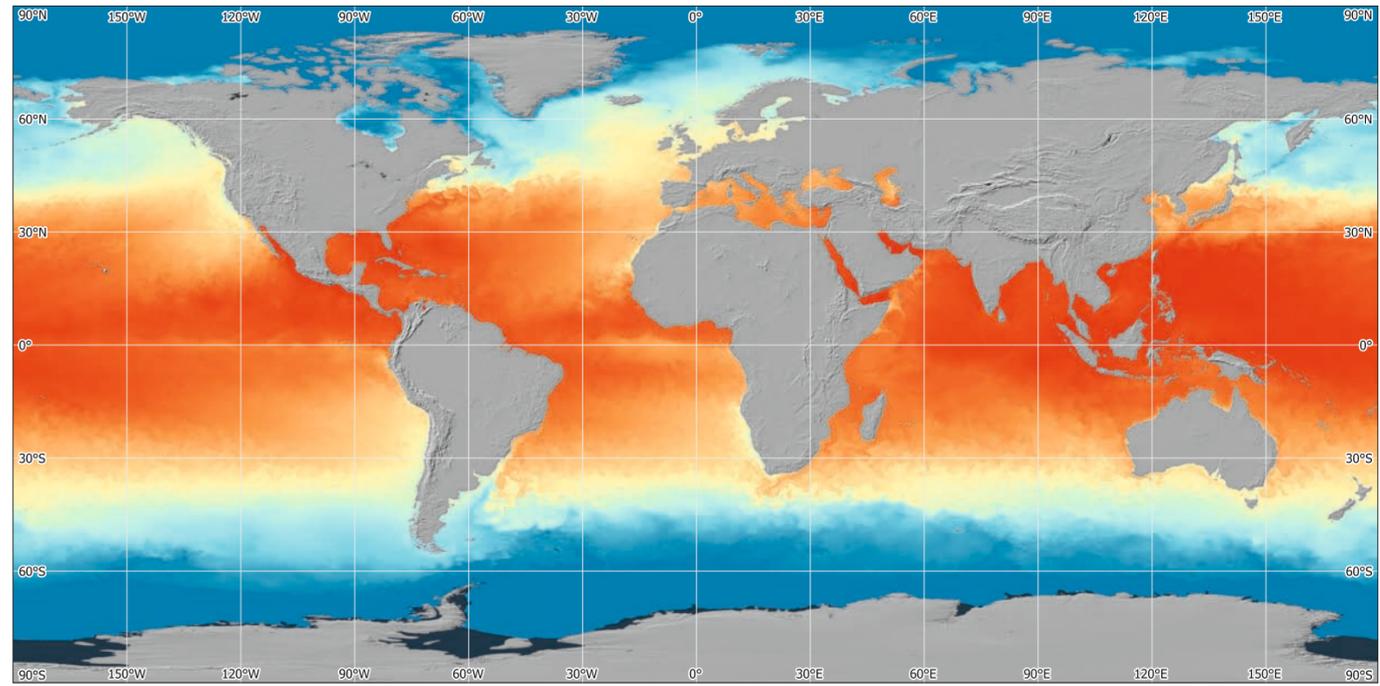
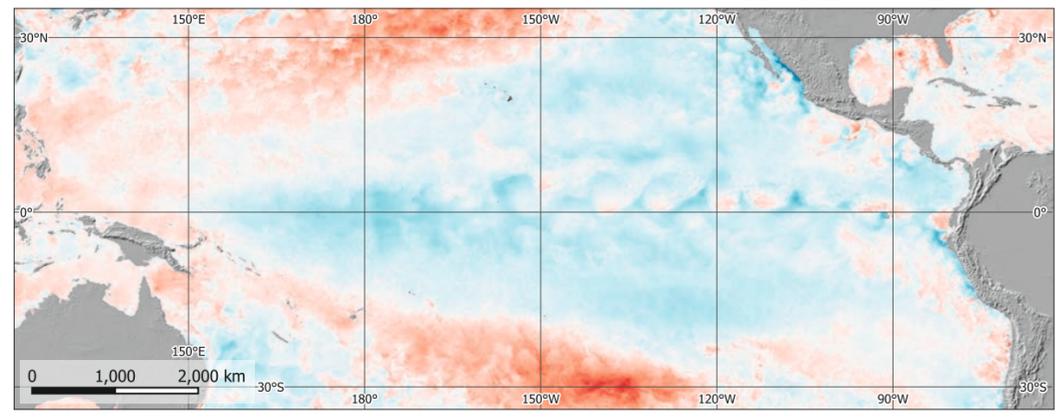
1. Temperature globali della superficie del mare, 01/01/2023.



3. Anomalia della temperatura superficiale del mare nell'Oceano Pacifico equatoriale durante un evento El Niño, 25/12/2015.



4. Anomalia della temperatura superficiale del mare nell'Oceano Pacifico equatoriale durante un evento di La Niña, 25/12/2011.



2. Temperature globali della superficie del mare, 201/07/2023.

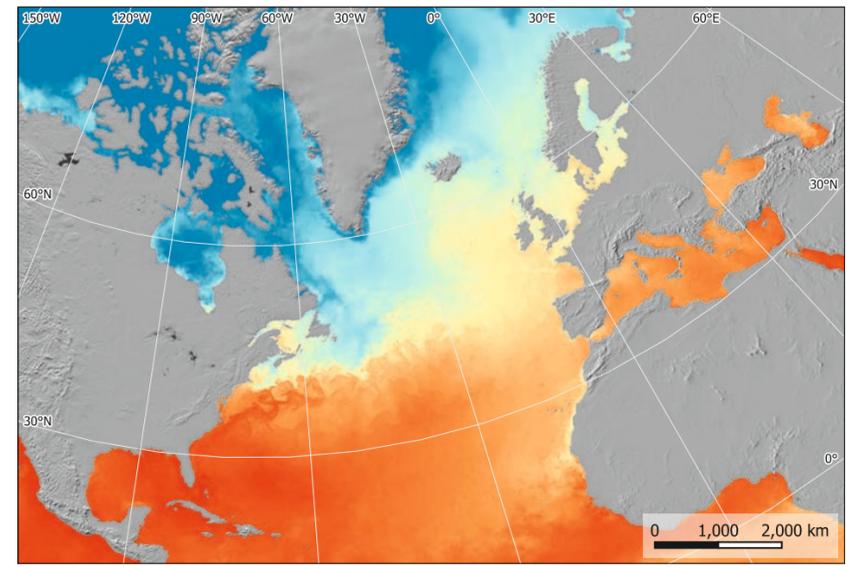
biamenti climatici. Anche se a un ritmo minore, la temperatura dell'acqua degli oceani è aumentata di circa 0,8 °C tra il 1950 e il 2020. L'aumento delle temperature provoca un'espansione termica dell'acqua, che è uno dei fattori più importanti dell'innalzamento globale del livello del mare.

El Niño e La Niña

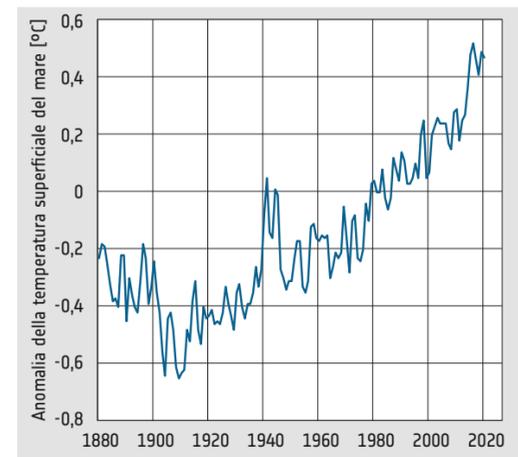
Un fenomeno significativo legato alle SST è l'Oscillazione El Niño-Sud (ENSO). L'ENSO è un ciclo climatico naturale caratterizzato dal periodico riscaldamento (El Niño) e raffreddamento (La Niña) delle temperature della superficie del mare nell'Oceano Pacifico equatoriale. Durante gli eventi El Niño, le SST più calde della media si sviluppano nel Pacifico centrale e orientale, alterando i modelli di circolazione atmosferica e influenzando il tempo in tutto il mondo. Al contrario, gli eventi di La Niña sono caratterizzati da SST più fredde della media nella stessa regione, con impatti climatici contrastanti, come l'aumento delle precipitazioni in alcune regioni e la siccità in altre.

Corrente del Golfo e Corrente Nord Atlantica

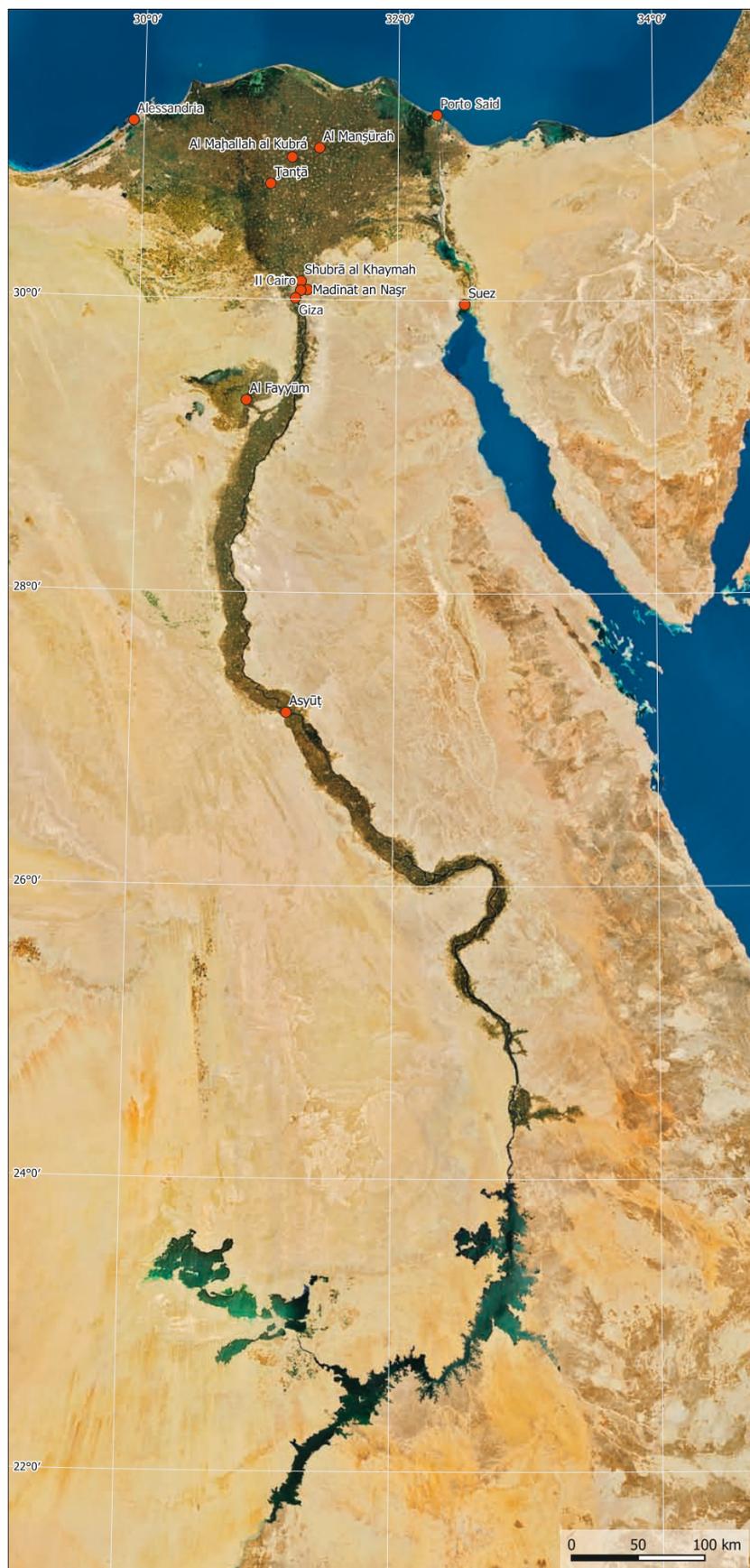
La Corrente del Golfo è una potente corrente oceanica nell'Oceano Atlantico settentrionale, che trasporta acqua calda dal Golfo del Messico verso gli Stati Uniti nord-orientali e l'Europa occidentale. Questa corrente calda influenza in modo significativo le SST lungo il suo percorso, contribuendo al clima relativamente mite delle regioni costiere di queste aree. La Corrente del Golfo svolge inoltre un ruolo cruciale nella regolazione del clima globale, ridistribuendo il calore dai tropici alle latitudini più elevate, influenzando i modelli meteorologici e la circolazione oceanica ben oltre le sue immediate vicinanze.



5. La Corrente del Golfo e l'Atlantico settentrionale che si estende dalla Florida in Nord America alla Scandinavia in Europa settentrionale sono visibili nella temperatura della superficie del mare (01/01/2014).



6. La temperatura media globale della superficie del mare mostra un chiaro aumento: negli ultimi 50 anni l'incremento è stato di circa 0,8 gradi Celsius.



1. Immagine satellitare panoramica della Valle del Nilo. Dati: Sentinel-2.

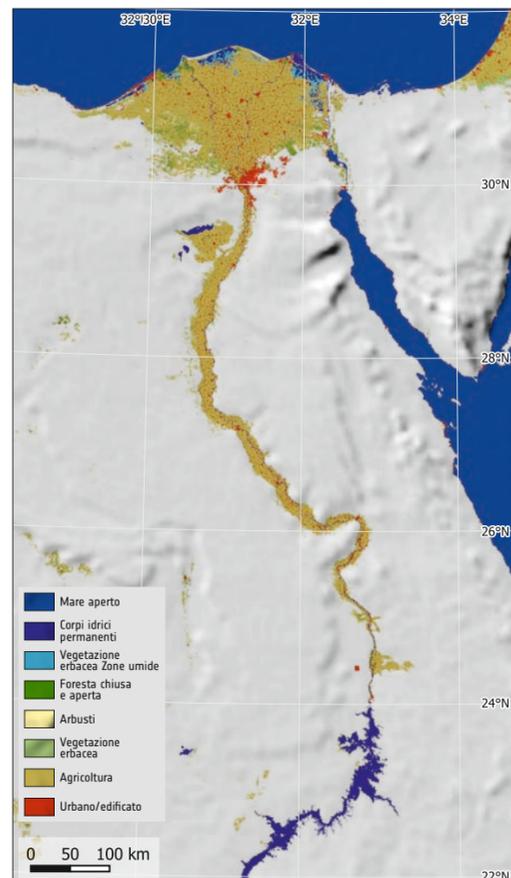
Il fiume Nilo

La linea di costa alla foce del Nilo, vicino ad Alessandria, è definita principalmente dall'equilibrio tra la deposizione di sedimenti da parte del fiume Nilo e la loro rimozione da parte del Mar Mediterraneo.

Il carico di sedimenti del fiume Nilo è stato significativamente ridotto dalla diga di Assuan, situata a circa 1000 km a monte, completata nel 1970. Prima della costruzione della diga, il Delta del Nilo riceveva un carico di sedimenti annuale di circa 130 milioni di tonnellate. Oggi, questa cifra si è ridotta a circa 16-20 milioni di tonnellate, con conseguente riduzione del ripopolamento naturale della costa.

Nell'ultimo secolo, il Mar Mediterraneo ha registrato un innalzamento medio del livello del mare di circa 3,4 millimetri all'anno a causa del riscaldamento globale. Ciò comporta un ulteriore aumento sostanziale dell'erosione costiera e della vulnerabilità alle tempeste.

Sulla base di dati satellitari, l'erosione costiera intorno ad Alessandria è stata stimata in circa 1 metro all'anno in alcune aree. Questo rapido tasso di erosione minaccia le infrastrutture, le comunità costiere e i terreni agricoli. Alessandria è la seconda città più grande dell'Egitto



2. Mappa dell'uso del suolo della Valle del Nilo.



3. Delta del Nilo, Egitto, vicino a Rosetta nel 1985. Dati: Landsat 5, 10/06/1985.

e ospita oltre 5 milioni di persone. Molti dei residenti si affidano all'agricoltura, alla pesca e al turismo, tutti settori che risentono direttamente o indirettamente dei cambiamenti della linea di costa. Per questo motivo, l'Egitto combatte l'erosione costiera intorno ad Alessandria e, ad esempio, nel 2018 ha speso 21 milioni di euro per questo compito.

Progetti su larga scala lungo il fiume Nilo

La Nuova Valle, che copre un'area di circa 440.000 chilometri quadrati, ha subito un notevole sviluppo agricolo. Comprendendo la depressione di Toshka e le terre adiacenti lungo il fiume Nilo, la valle è stata al centro del Progetto Toshka, avviato alla fine del 20th secolo.

Questo progetto mirava a deviare l'acqua del lago di stoccaggio Nasser per irrigare circa 540.000 ettari di terreno desertico nella Nuova Valle, con l'obiettivo di creare nuovi terreni agricoli. Il progetto prevedeva la costruzione di canali e infrastrutture per facilitare l'irrigazione. Dopo i successi iniziali, il Progetto Toshka ha dovuto affrontare una serie di sfide e nel 2011 si stimava che solo una frazione dell'area prevista fosse coltivata. Nel frattempo, gli sforzi sono stati nuovamente incrementati e hanno portato a una crescita significativa dell'area coltivata.

Per comprendere la portata e l'impatto del progetto, le immagini satellitari sono uno strumento prezioso. Nel corso degli anni, la tecnologia satellitare è stata determinante per monitorare i cambiamenti nell'uso del suolo e nella vegetazione. Le immagini satellitari vengono utilizzate per analizzare le trasformazioni del paesaggio, fornendo una rappresentazione visiva dei successi e degli insuccessi delle iniziative agricole nella Nuova Valle.



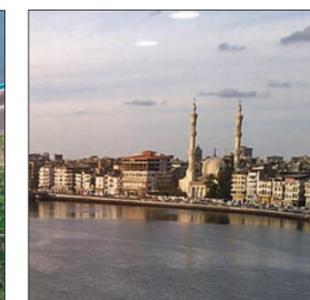
4. Delta del Nilo vicino a Rosetta. Sovrapposizione: Variazione della linea di costa dal 1985 al 2023. Dati: Sentinel-2, 25/06/2023.



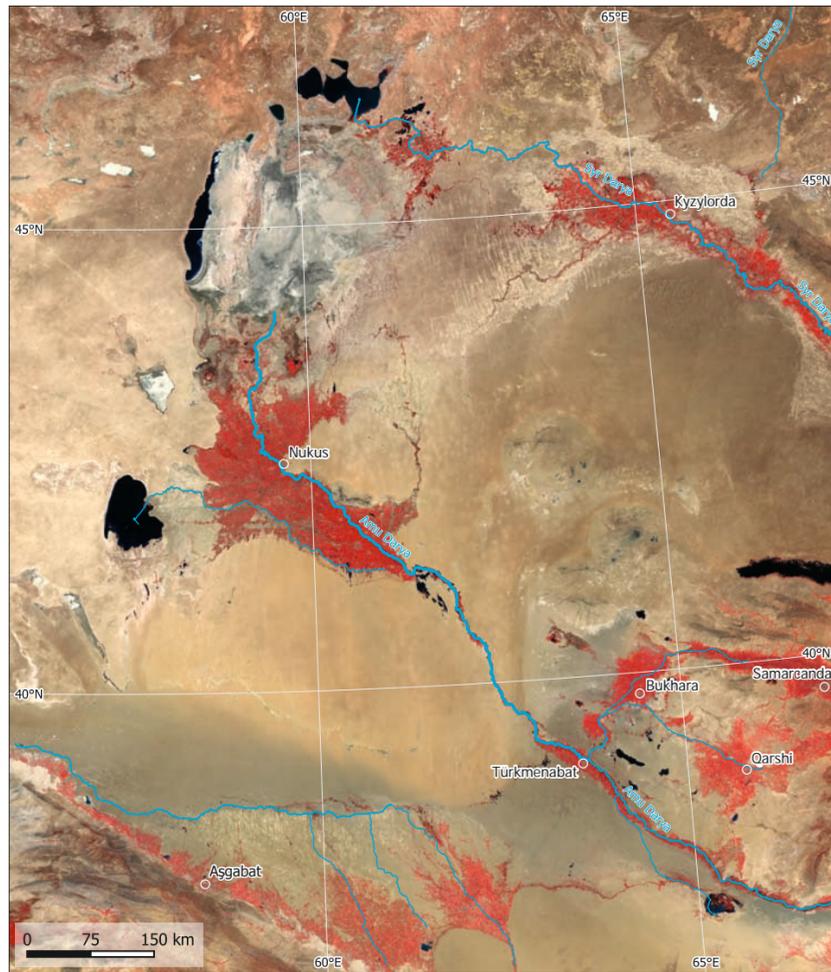
6. Nuova Valle, Egitto, nel 2017. Dati: Sentinel-2, 05/11/2017.



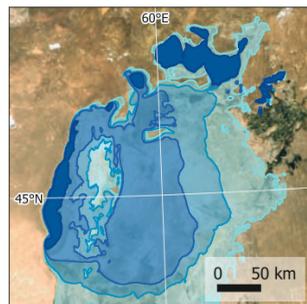
7. Nuova Valle, Egitto, nel 2022. Dati: Sentinel-2, 14/11/2022.



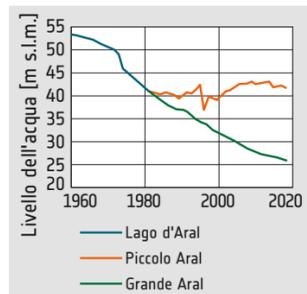
5. Veduta di Damietta sulle rive del fiume Nilo.



1. L'immagine all'infrarosso in falsi colori della regione intorno al Lago d'Aral mostra dove l'acqua dei suoi affluenti viene utilizzata per l'irrigazione (mosaico Sentinel-2, dati acquisiti nel primo trimestre del 2023).



2. Area del Lago d'Aral nel 1964, 1987, 2000 e 2023, ricavata da dati satellitari.



3. Il livello delle acque. La parte settentrionale è stata stabilizzata da una diga.

Lago d'Aral

Dagli anni '60, il Lago d'Aral si è ridotto drasticamente. Ciò è dovuto principalmente alla deviazione dell'acqua dai due fiumi principali che lo alimentano, l'Amu Darya e il Syr Darya, per scopi di irrigazione agricola. L'Unione Sovietica ha avviato progetti di irrigazione su larga scala per coltivare cotone e altre colture nella regione arida, deviando l'acqua dal Lago d'Aral.

Il restringimento del Lago d'Aral ha portato a conseguenze ambientali e sociali. Con l'abbassamento del livello dell'acqua, la salinità del lago è aumentata. Le popolazioni ittiche sono diminuite drasticamente, portando al collasso dell'industria della pesca nella regione.

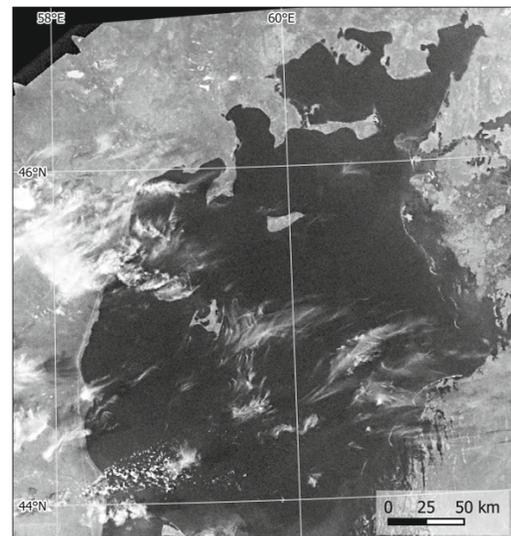
La polvere salata proveniente dal fondo asciutto del lago si è diffusa nell'aria, provocando un aumento dei problemi di salute respiratoria e dell'incidenza di altre malattie. Il collasso dell'industria della pesca e il degrado dei terreni agricoli hanno conseguenze economiche per le popolazioni che vivono intorno al Lago d'Aral. I villaggi di pescatori un tempo prosperi sono stati abbandonati, causando disoccupazione e povertà nella regione.



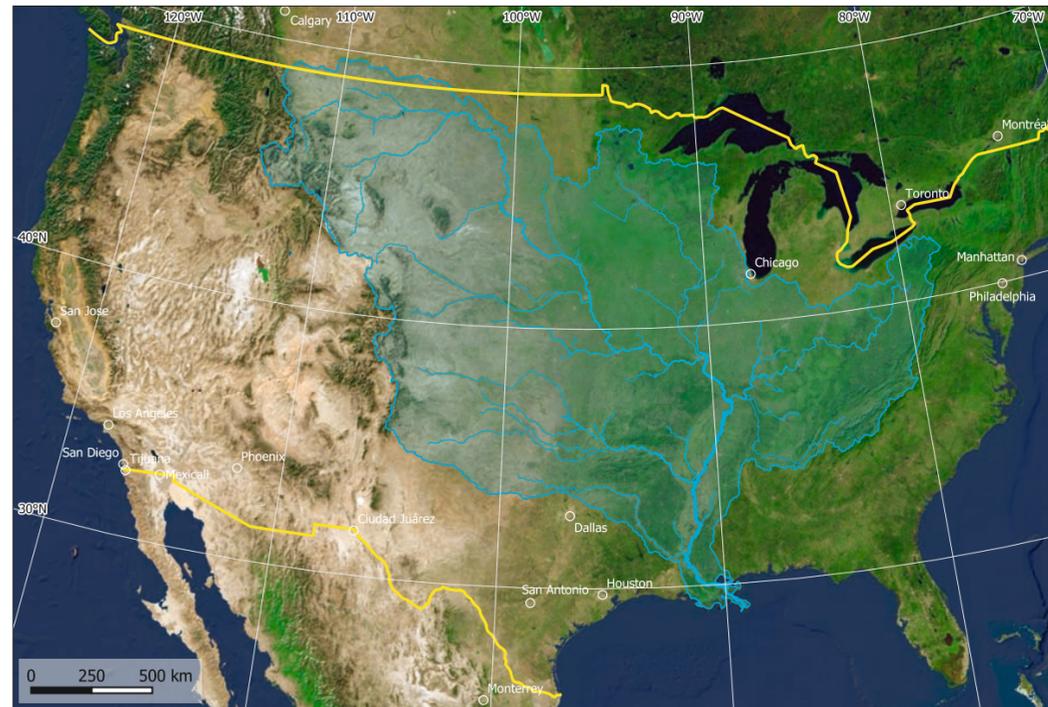
4. Lago d'Aral nel 2023. Rimangono solo la parte più profonda a ovest e il Mare d'Aral settentrionale. Dati: Sentinel-3.



5. Lago d'Aral nel 1987. Dati: Landsat 4.

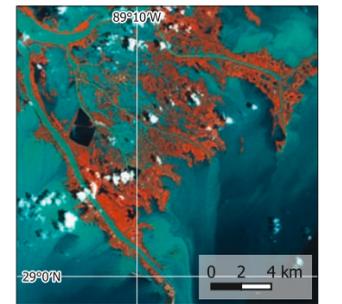


6. Scattata nel 1964 dal satellite di ricognizione americano Argon, questa immagine è un'importante fonte che documenta il cambiamento del Lago d'Aral.

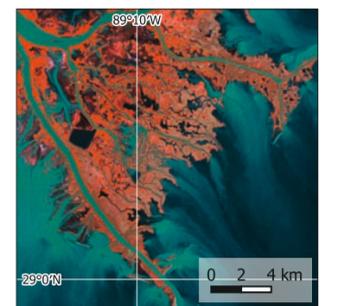


7. Il bacino idrografico del fiume Mississippi copre gran parte dell'area degli Stati Uniti.

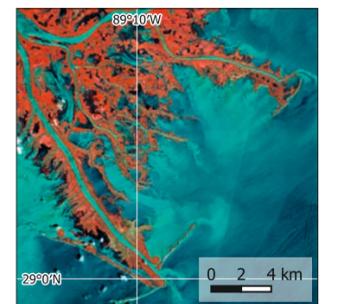
9. Le immagini satellitari acquisite dal 1985 illustrano le dinamiche del delta del fiume Mississippi.



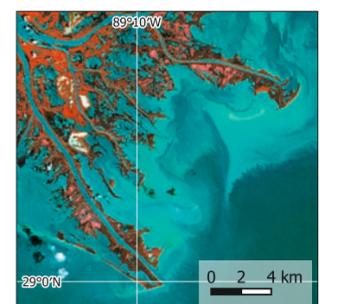
9a. Dati: Landsat 4, 04/05/1985.



9b. Dati: Landsat 5, 19/07/1995.



9c. Dati: Sentinel-2, 08/05/2017.



9d. Dati: Sentinel-2, 12/05/2023.

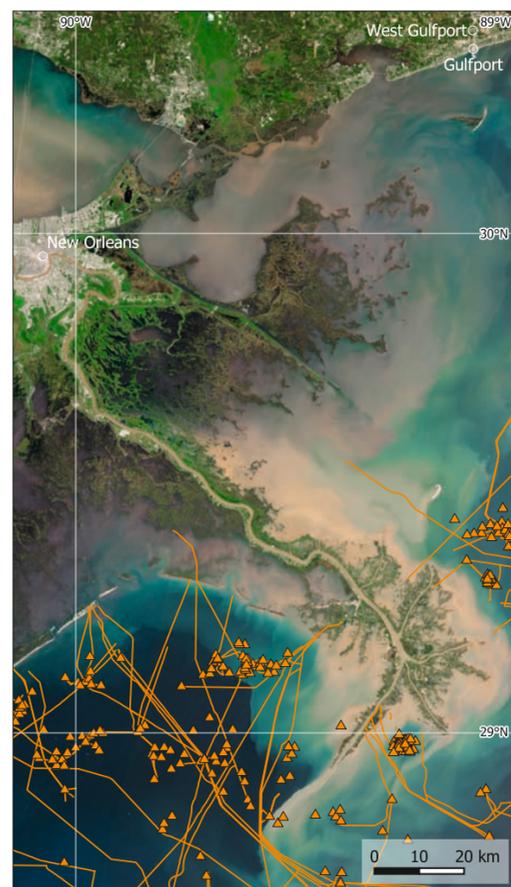
Delta del Mississippi

I cambiamenti nell'uso del suolo nel bacino idrografico del Mississippi e nel suo delta hanno alterato il paesaggio e l'idrologia, con implicazioni per l'ambiente e la popolazione umana. Circa l'80% delle zone umide originarie del delta del fiume Mississippi è andato perduto a causa della conversione dei terreni per l'agricoltura, l'urbanizzazione e lo sviluppo delle infrastrutture.

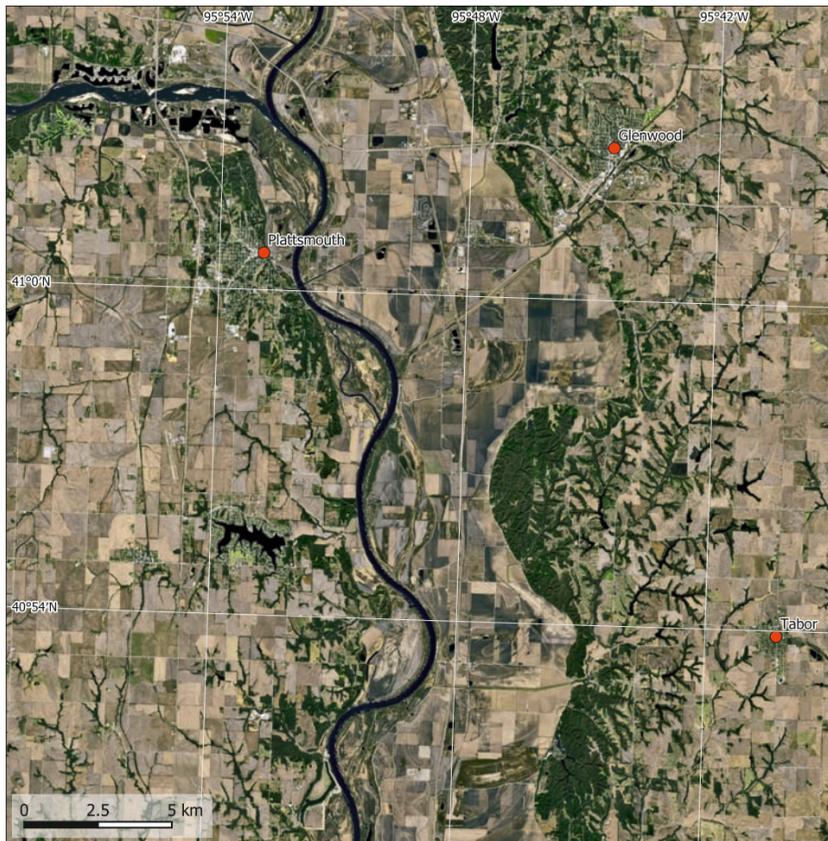
Circa il 60% del carico di sedimenti trasportato dal fiume Mississippi è ora intrappolato dietro le dighe, riducendo l'apporto di sedimenti al delta e aggravando la subsidenza del terreno. L'urbanizzazione lungo il fiume ha frammentato gli habitat naturali e aumentato le superfici impermeabili, determinando un aumento dei volumi di deflusso e dei rischi di inondazione nelle aree a valle. La città di New Orleans, situata nel delta del Mississippi, è particolarmente vulnerabile alle inondazioni, con oltre il 40% del suo territorio sotto il livello del mare.

L'industria petrolifera è un importante motore economico della regione, con piattaforme di trivellazione offshore, raffinerie e impianti petrolchimici che punteggiano la costa. Questa industria comporta rischi ambientali, tra cui la distruzione dell'habitat, l'inquinamento e la possibilità di fuoriuscite di petrolio. La fuoriuscita di petrolio dalla Deepwater Horizon nel 2010 ha rilasciato circa 4,9 milioni di barili di petrolio nel Golfo del Messico.

Gli uragani sono una minaccia ricorrente per il delta del Mississippi. L'uragano Katrina nel 2005 e l'uragano Harvey nel 2017 hanno causato danni per miliardi di dollari e perdite di vite umane. La perdita di zone umide e l'erosione costiera hanno ridotto le barriere naturali che proteggono la costa, rendendo le comunità sempre più vulnerabili alle mareggiate e alle inondazioni.



8. Una fitta rete di piattaforme di trivellazione offshore e di oleodotti è stata installata per sfruttare le ricche riserve di petrolio del Golfo del Messico. Dati: Sentinel-2, 22/04/2023.



1. Plattsmouth, U.S.A., 21/03/2023. Dati: Sentinel-2.



2. Plattsmouth, U.S.A., 31/03/2019. La valle intorno ai fiumi Platte e Missouri è allagata, solo alcuni elementi infrastrutturali come autostrade e dighe rimangono asciutti. Dati: Sentinel-2.

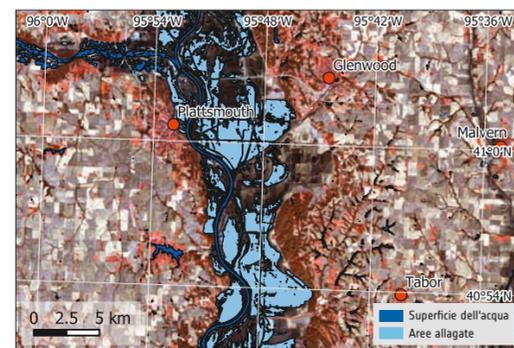
Plattsmouth, Stati Uniti.

L'alluvione del 2019 intorno a Plattsmouth, in Nebraska, è stato un evento catastrofico che ha portato immensa devastazione nella regione. Scatenata da una combinazione di fattori, tra cui forti piogge e scioglimento delle nevi, l'inondazione ha sommerso case, fattorie e infrastrutture lungo il fiume Missouri.

Il cambiamento climatico ha avuto un ruolo in questo evento, poiché l'aumento delle temperature globali sta portando a modelli meteorologici più estremi, con precipitazioni più abbondanti e un maggiore rischio di inondazioni. Nel caso di Plattsmouth, l'area ha registrato precipitazioni da record, con alcune zone che hanno ricevuto oltre 50 cm di pioggia in un solo mese. Queste precipitazioni eccessive, unite alla saturazione del terreno dovuta alle precipitazioni precedenti, hanno superato la capacità del fiume di contenere l'acqua.

L'inondazione ha colpito oltre 2.000 abitazioni e ha costretto all'evacuazione quasi 1.000 persone nell'area di Plattsmouth. Ha causato danni per milioni di dollari alle abitazioni, alle infrastrutture e all'agricoltura, sconvolgendo la vita di innumerevoli residenti.

Le immagini satellitari hanno catturato la drammatica espansione delle acque alluvionali, che hanno inghiottito intere comunità e vaste aree agricole. Inoltre, i dati consentono di stimare con precisione le aree colpite e i danni causati dall'alluvione.



3. Immagine a infrarossi in falsi colori di Plattsmouth, 31/03/2019. Sovrapposizione: superfici d'acqua derivate da dati satellitari. Dati: Sentinel-2.



4. Vista di Plattsmouth durante l'alluvione.



Venezia, Italia

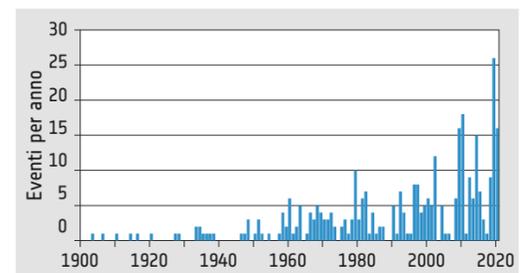
Venezia, la famosa "città galleggiante" d'Italia, è stata costruita su centinaia di isole in una laguna vicino al Mare Adriatico. A causa di questa situazione esposta, la città ha lottato a lungo con le inondazioni sia dal mare che dalla terraferma.

Per ridurre il crescente rischio di inondazioni dal mare, il governo italiano ha deciso di installare il MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico), un innovativo sistema di protezione dalle inondazioni.

Il MOSE consiste in tre barriere ad azionamento idraulico installate agli ingressi della Laguna di Venezia. Due di questi ingressi sono visibili nell'immagine satellitare panoramica. Quando il livello dell'acqua sale, i sensori attivano il sistema, riempiendo le barriere di aria compressa e formando una solida barriera contro le alte maree e le mareggiate.

Il MOSE integra tecnologie avanzate per il monitoraggio e il controllo, tenendo conto dell'equilibrio ecologico della laguna. Esempio pionieristico di adattamento ai cambiamenti climatici, il MOSE dimostra come le città costiere possano adattarsi ai rischi dell'innalzamento del livello del mare e quanto sia grande lo sforzo di adattamento.

Finora il MOSE è stato attivato con successo diverse volte. Un esempio del sistema in stato di attivazione è mostrato nella mappa satellitare del 2022.



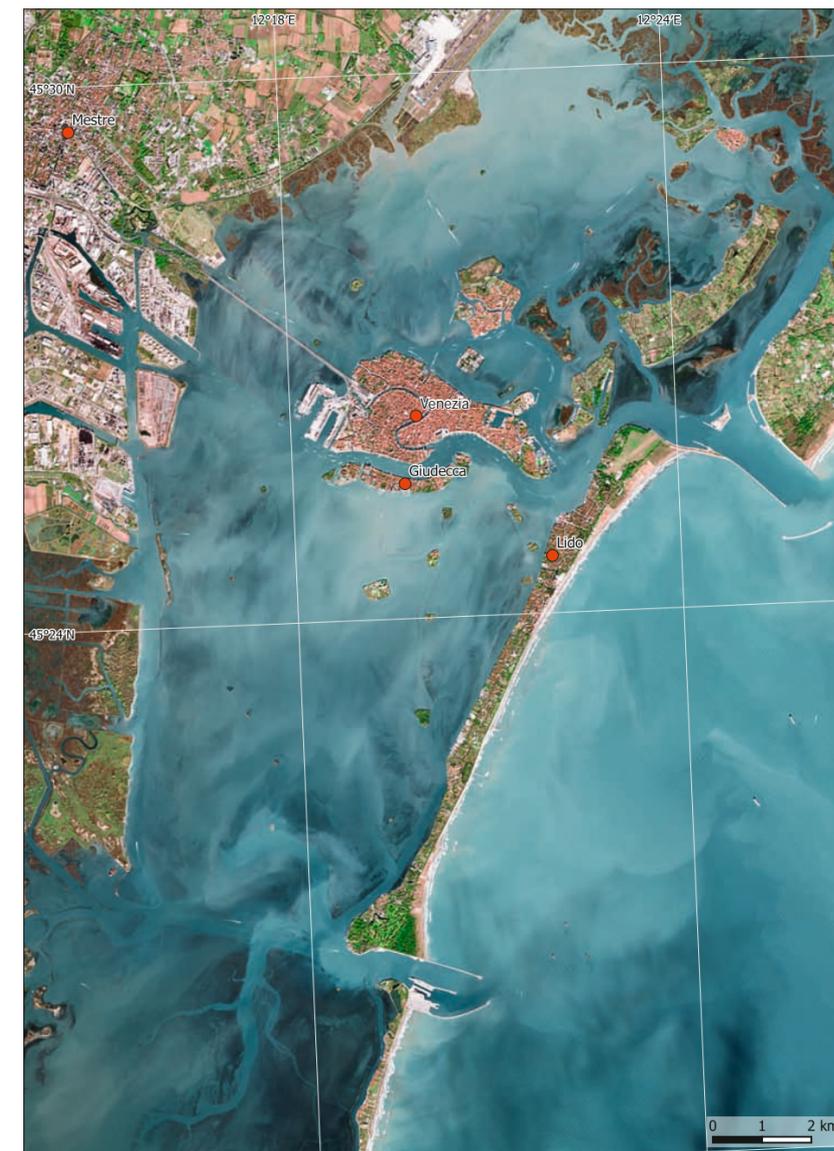
5. Venezia. Il diagramma dello sviluppo degli eventi di acqua alta mostra un aumento significativo.



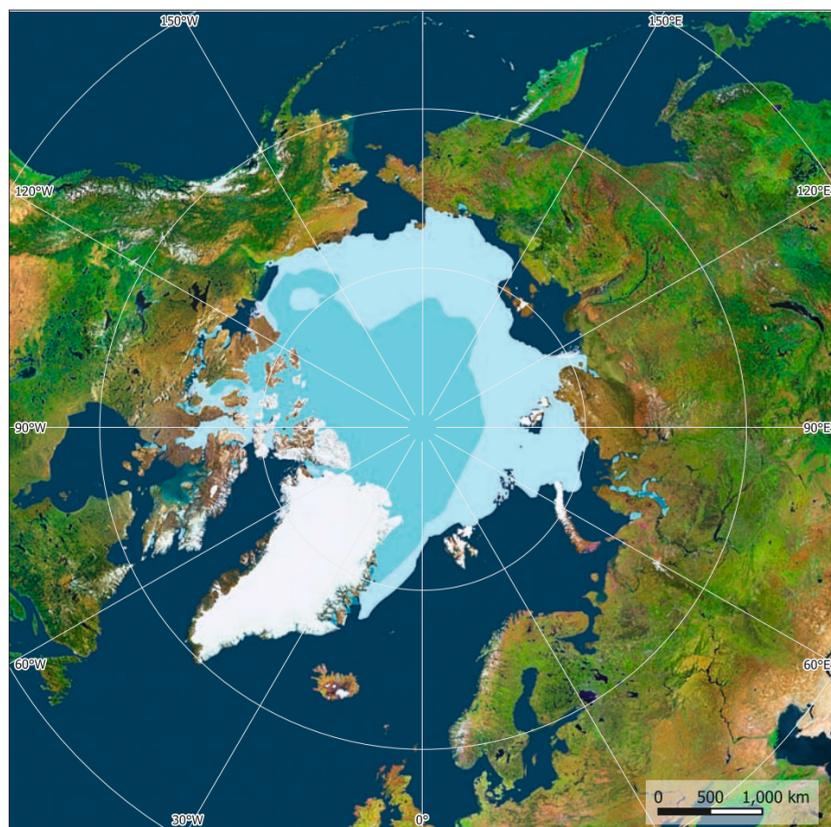
6. Venezia. Vista della barriera MOSE chiusa nei pressi di Malamocco, a sud del Lido.



7. Venezia e Lido di Venezia. Immagine acquisita mentre le barriere anti-innalzamento del MOSE erano chiuse. Dati: Sentinel-2, 24/11/2022.



8. Venezia. Immagine a colori della parte centrale della laguna con le barriere anti-innalzamento del MOSE aperte. Le differenze di colore dell'oceano dovute ai sedimenti mostrano le correnti marine. Dati: Sentinel-2, 24/11/2021.



Ghiaccio marino artico

Il ghiaccio marino artico è una componente vitale del sistema climatico terrestre e contribuisce a regolare le temperature globali. Coprendo circa 14 milioni di chilometri quadrati nella sua massima estensione in inverno, forma uno scudo riflettente, rimbalzando la radiazione solare e raffreddando così il pianeta. Durante i mesi estivi, il ghiaccio marino artico si riduce fino alla sua minima estensione, raggiungendo il minimo intorno a settembre.

Il ghiaccio marino artico è diminuito negli ultimi anni a causa dei cambiamenti climatici. La sua estensione minima durante i mesi estivi si è ridotta a circa 3-4 milioni di chilometri quadrati. Inoltre, lo spessore del ghiaccio marino artico è diminuito di oltre il 40% dagli anni '80, principalmente a causa degli effetti di riscaldamento del cambiamento climatico.

La diminuzione del ghiaccio marino artico contribuisce a sconvolgere i modelli meteorologici, influenza la circolazione oceanica e minaccia gli habitat di varie specie artiche, tra cui orsi polari e trichechi. D'altro canto, la perdita del ghiaccio marino apre opportunità per le rotte di navigazione e l'estrazione di risorse.

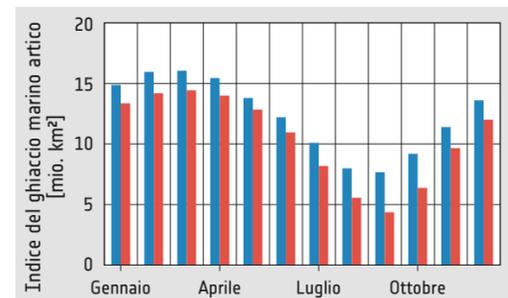
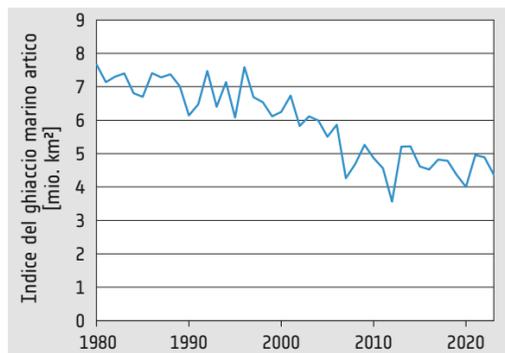
I dati satellitari sono importanti nel monitoraggio del ghiaccio marino artico, fornendo misure accurate dell'estensione e del movimento del ghiaccio.

Estensione minima del ghiaccio marino

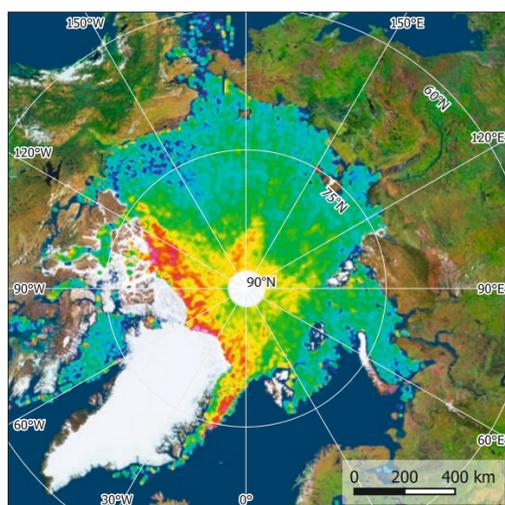
- 1980 (Settembre)
- 2020 (Settembre)

1. La dinamica del ghiaccio marino nella regione artica.

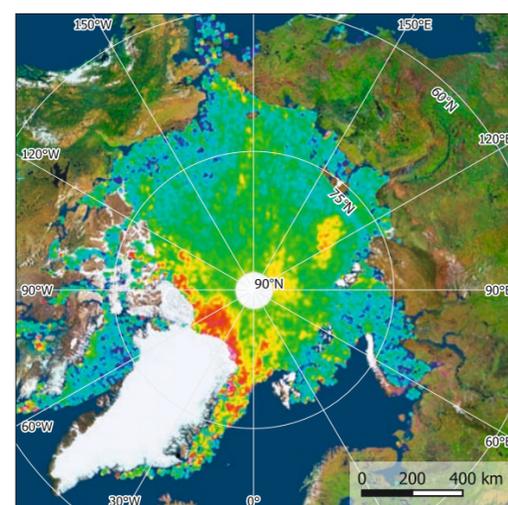
2. Sviluppo dell'area artica coperta dal ghiaccio marino durante il mese di settembre (cioè durante il mese con copertura minima di ghiaccio marino).



3. Variazione stagionale dell'estensione del ghiaccio marino artico (blu: 1980, rosso: 2023).



4. Spessore del ghiaccio marino artico nel gennaio 2011. Media mensile derivata dai dati acquisiti da CryoSat.



5. Spessore del ghiaccio marino artico nel gennaio 2024. Media mensile derivata dai dati acquisiti da CryoSat.

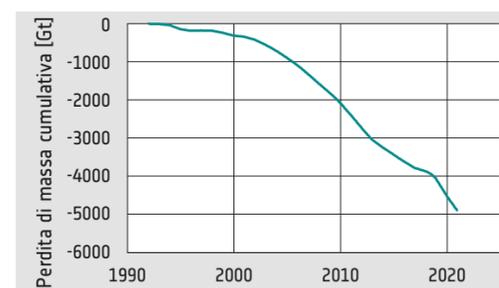


Scudo di ghiaccio della Groenlandia

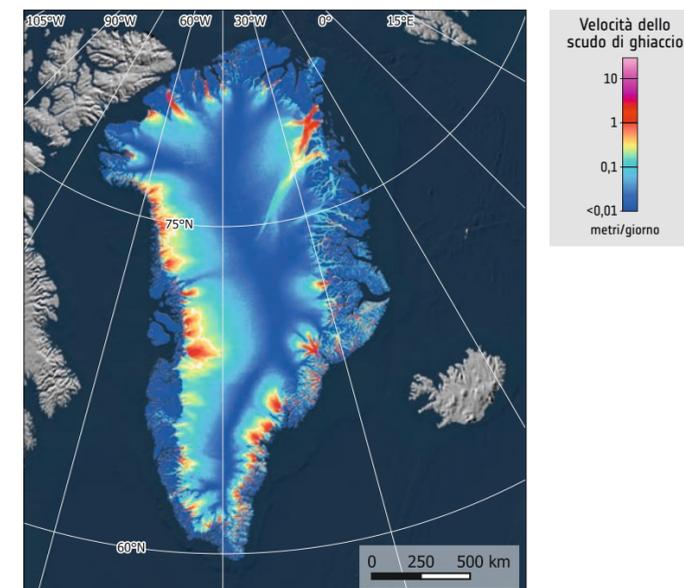
Lo scudo di ghiaccio della Groenlandia è il secondo più grande al mondo. Con una superficie di circa 1,7 milioni di chilometri quadrati, pari all'80% della superficie dell'isola, è uno dei più grandi depositi di ghiaccio d'acqua dolce e svolge un ruolo importante per quanto riguarda il clima globale e il livello del mare. Lo scudo di ghiaccio della Groenlandia raggiunge uno spessore di oltre 3 chilometri, ospitando un volume di ghiaccio stimato equivalente a circa 7,2 metri di innalzamento del livello globale del mare. La sua massa esercita un'influenza significativa sui modelli meteorologici regionali e sulle correnti oceaniche.

La ricerca scientifica che utilizza osservazioni satellitari, campioni di ghiaccio e modelli climatici ha rivelato chiare tendenze nella dinamica dello scudo di ghiaccio della Groenlandia. L'accelerazione dello scioglimento, dovuta all'aumento delle temperature, ha portato a un aumento del deflusso e del distacco degli iceberg, contribuendo all'innalzamento del livello del mare in tutto il mondo. La perdita di massa di ghiaccio dalla Groenlandia è uno dei principali fattori di innalzamento. I meccanismi di retroazione esacerbano la vulnerabilità dello scudo di ghiaccio ai cambiamenti climatici. Quando il ghiaccio si scioglie ed espone superfici più scure, come la roccia o l'acqua, l'effetto albedo si intensifica, causando l'assorbimento di una maggiore quantità di radiazione solare e accelerando l'ulteriore scioglimento in un cosiddetto ciclo di feedback positivo.

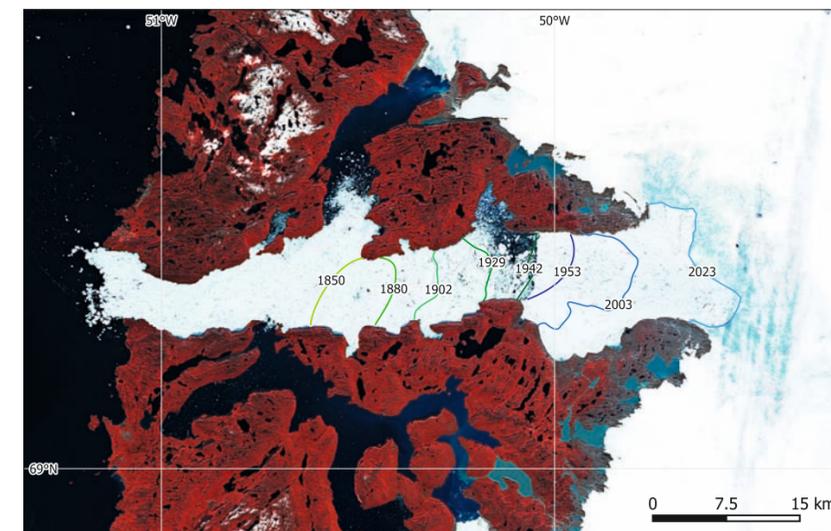
Le misurazioni satellitari forniscono indicazioni sui cambiamenti nell'elevazione dello scudo di ghiaccio, consentendo di monitorare le variazioni di spessore del ghiaccio. Questi dati hanno rivelato un assottigliamento e una perdita di massa soprattutto lungo la periferia della Groenlandia, dove le acque oceaniche più calde accelerano la fusione del ghiaccio dal basso. Le immagini satellitari ottiche e radar ad alta risoluzione catturano dettagli come crepacci, pozze di fusione e laghi sopraglaciali, che influenzano lo sviluppo dello scudo di ghiaccio. Il tele-rilevamento satellitare radar consente di monitorare il movimento dello scudo di ghiaccio attraverso tecniche come il radar interferometrico ad apertura sintetica (InSAR). Misurando le variazioni precise dell'elevazione della superficie, l'InSAR fornisce informazioni sulla velocità del flusso di ghiaccio.



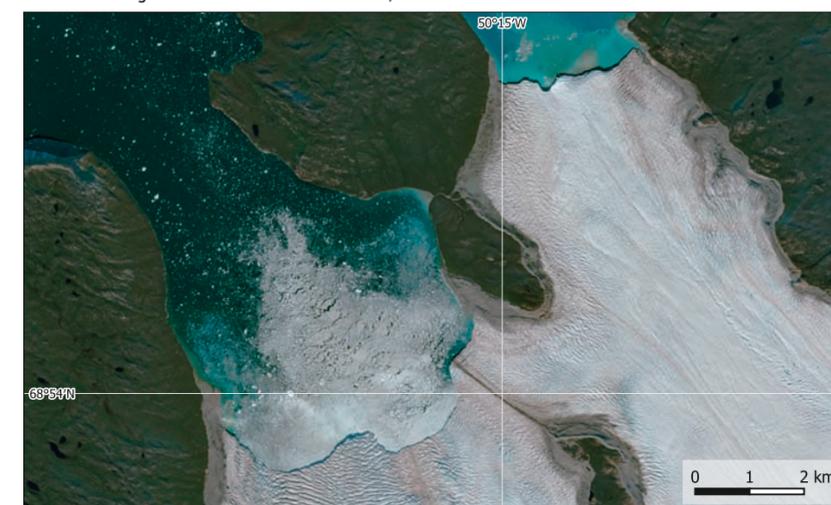
6. Groenlandia, perdita cumulativa di ghiaccio e contributo all'innalzamento globale del livello del mare (dati: IMBIE).



7. Groenlandia, velocità dello scudo di ghiaccio 2020. Dati: Sentinel-1.



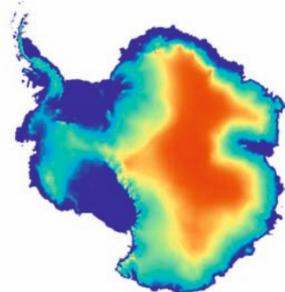
8. Immagine all'infrarosso in falsi colori di Jakobshavn Isbrae, Groenlandia. La sovrapposizione mostra l'arretramento del bordo del ghiacciaio dal 1850. Dati: Sentinel-2, 01/09/2023.



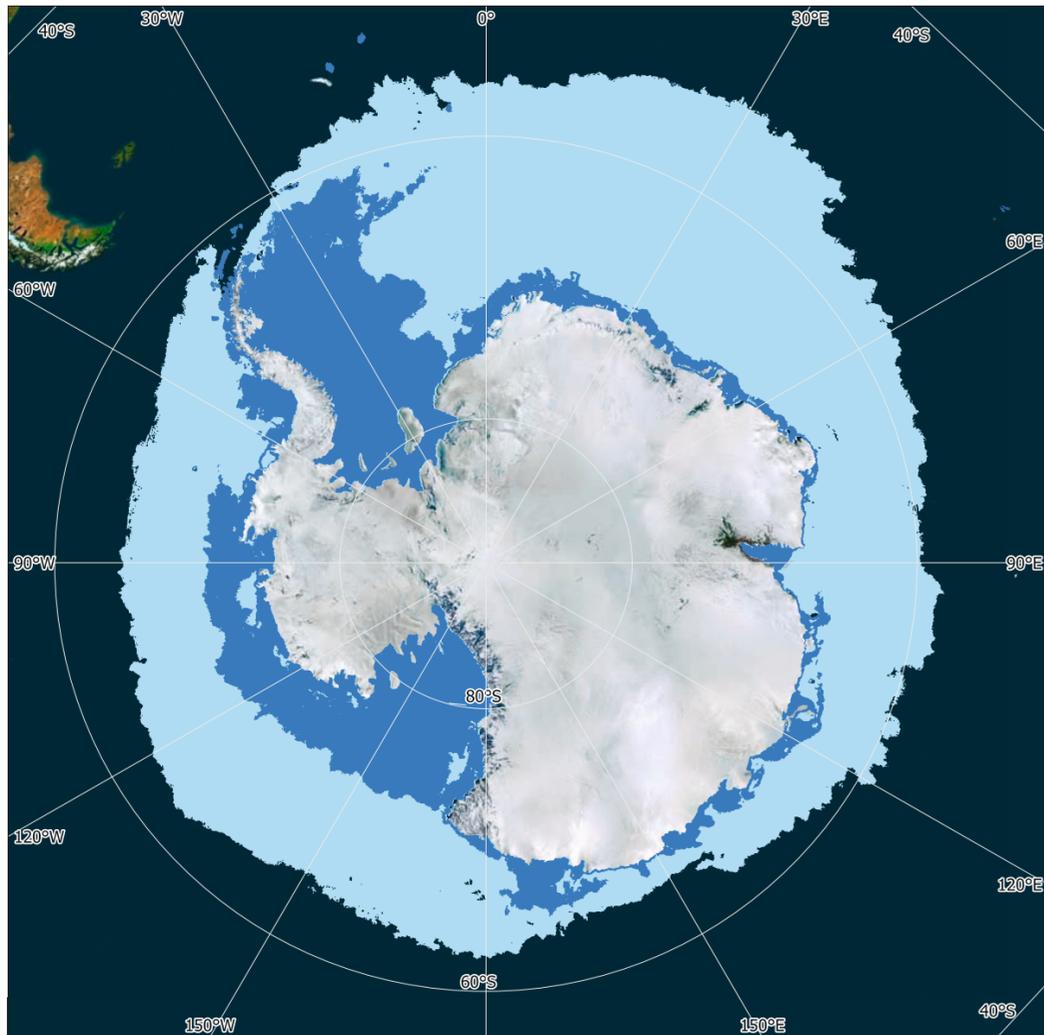
9. Immagine a colori reali del bordo di un ghiacciaio a sud di Jakobshavn Isbrae, in Groenlandia, con iceberg che si staccano. Dati: Sentinel-2, 01/09/2023.



1. Estensione del ghiaccio marino intorno all'Antartide a gennaio e a luglio.



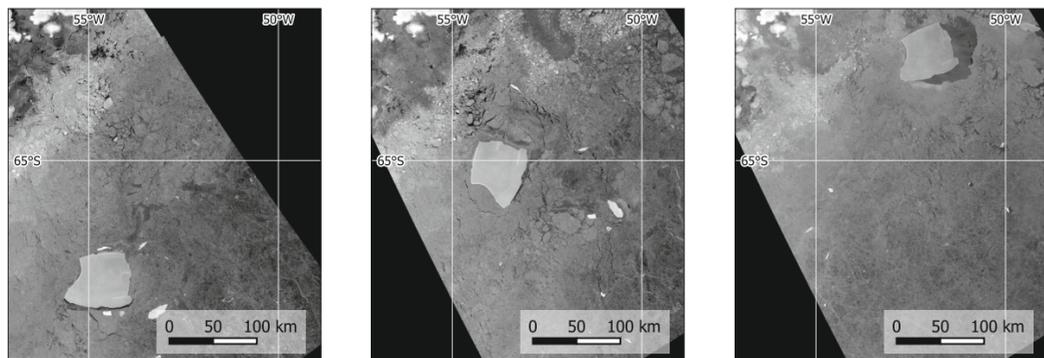
2. Elevazione dello scudo di ghiaccio antartico misurata da CryoSat.



Estensione del ghiaccio marino

- 2020 - Inverno (settembre)
- 2020 - Estate (marzo)

3. Movimento dell'iceberg A23a tra agosto e ottobre 2023. Dati: Sentinel-1.
Sinistra: 06/08/2023
Centro: 13/09/2023
Destra: 19/10/2023.



Antartide

Negli ultimi decenni, l'Antartide, il più grande deserto della Terra, ha acquisito una crescente consapevolezza nelle comunità scientifiche e politiche. Ciò è dovuto alla sua enorme importanza per il clima della Terra e per le conseguenze dei cambiamenti climatici sull'umanità. Lo scudo di ghiaccio dell'Antartide è la più grande riserva d'acqua dolce della Terra e contiene più di 26 milioni di chilometri cubi, ovvero il 70% di tutta l'acqua dolce. Il riscaldamento globale porta allo scioglimento dello scudo di ghiaccio, che finora ha interessato soprattutto

il più piccolo scudo antartico occidentale. Tra il 2012 e il 2017 ogni anno si sono sciolti 220 miliardi di tonnellate di ghiaccio, contribuendo all'innalzamento del livello del mare. Dove i ghiacciai dell'Antartide incontrano l'Oceano Antartico, si trovano le piattaforme di ghiaccio. Le piattaforme di ghiaccio sono grandi corpi di ghiaccio stabili che galleggiano sull'acqua, con uno spessore che varia da 100 a diverse centinaia di metri. Il riscaldamento degli oceani riduce la stabilità delle piattaforme di ghiaccio e porta al distacco di grandi iceberg.

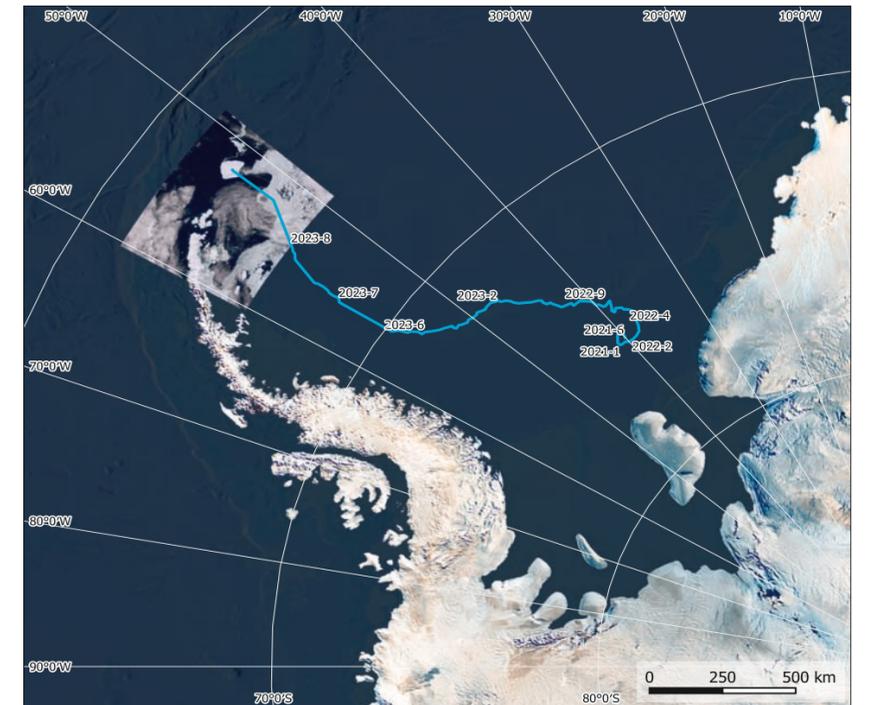


Iceberg in movimento

Il grande iceberg tabulare A23a si è staccato dalla piattaforma di ghiaccio Filchner-Ronne nel 1986. Dopo il distacco, la base di ricerca Druzhnaya I, che si trovava su questo iceberg, dovette essere rimossa e fu rinominata Druzhnaya III. Per molti anni l'iceberg è rimasto bloccato sul fondo marino, prima di iniziare a muoversi nel 2020. Con una superficie di quasi 4.000 chilometri quadrati, nel 2024 era uno dei più grandi iceberg mai monitorati.

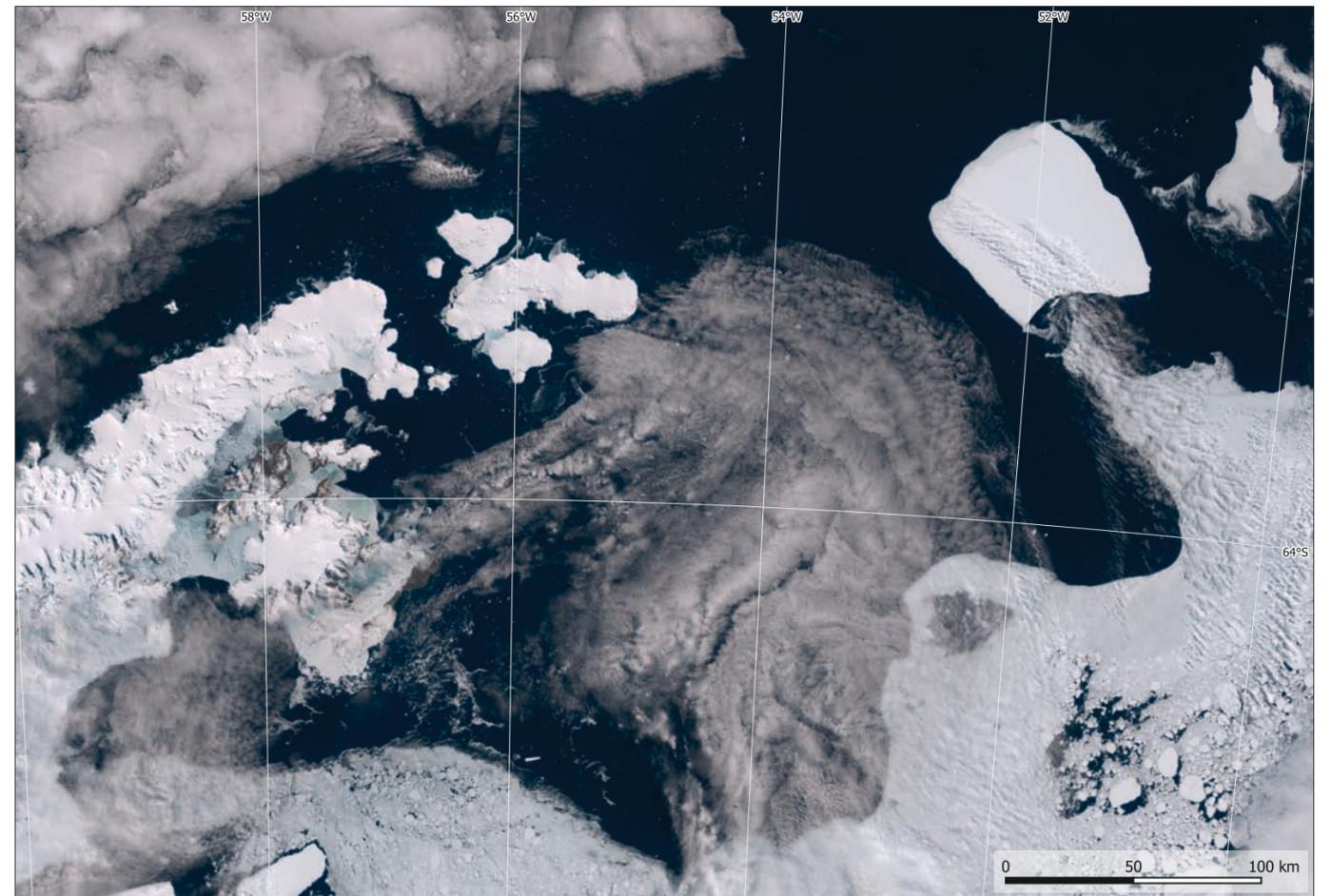
Alla fine del 2020, A23a ha iniziato il suo viaggio verso nord, seguendo approssimativamente la costa della Penisola Antartica. Nel novembre 2023, l'iceberg ha superato la punta settentrionale della Penisola Antartica, dirigendosi verso nord. Durante il suo viaggio di allontanamento dall'Antartide, A23a raggiungerà acque più calde e successivamente si scioglierà.

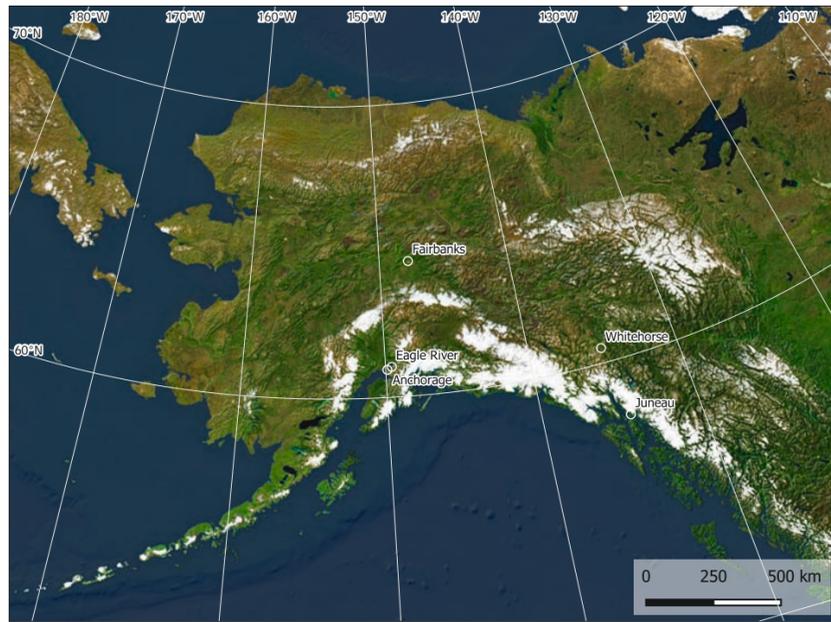
Sebbene lo scioglimento delle piattaforme di ghiaccio non contribuisca direttamente al livello dell'acqua marina (l'acqua sciolta sostituisce solo il volume della parte sommersa del ghiaccio), svolge un importante ruolo indiretto, in quanto le piattaforme fungono da barriera stabilizzante per i ghiacciai che scorrono verso il mare. La perdita di questa barriera può portare a un aumento del flusso di ghiaccio.



4. Percorso dell'iceberg A23a nel 2022 e 2023. Immagine di sfondo: Sentinel-3, 15/11/2023.

5. L'iceberg A23a passa davanti alla Penisola Antartica mentre si dirige verso l'Oceano Atlantico meridionale. Dati: Sentinel-3, 15/11/2023.

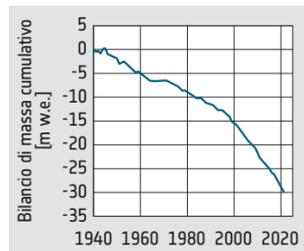




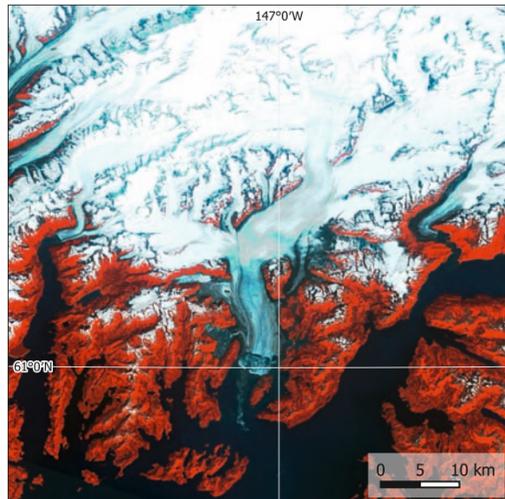
1. Mappa dell'immagine satellitare dell'Alaska. I ghiacciai sono concentrati nelle catene montuose lungo la costa meridionale dell'Alaska. Dati: SPOT Vegetation.



2. Immagine satellitare dettagliata della parte terminale del ghiacciaio Columbia. Si noti l'onda circolare che si propaga dal centro della terminazione, dove si è formato un iceberg. Dati: Sentinel-2, 30/07/2023.



3. Media globale della perdita di massa cumulativa dei ghiacciai dal 1940. L'unità "metro di acqua equivalente" corrisponde approssimativamente alla perdita di spessore dei ghiacciai.



4. Immagine all'infrarosso in falsi colori del ghiacciaio Columbia, Alaska, nel 1986. Dati: Landsat 5, 28/07/1986.

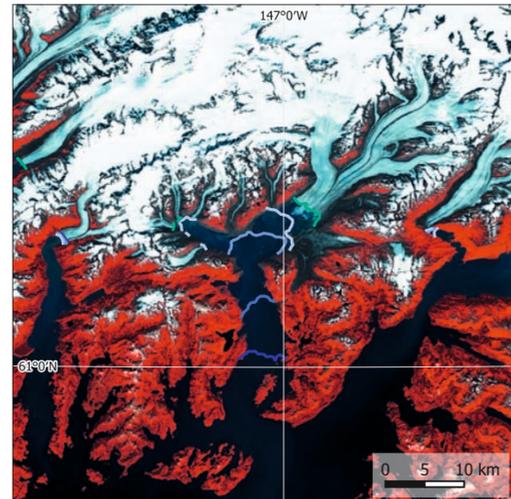
Ghiacciaio Columbia, Alaska

Da decenni i ghiacciai di tutto il mondo si stanno ritirando, un fenomeno direttamente collegato al cambiamento climatico. In media, i ghiacciai di tutto il mondo hanno perso circa 30 metri del loro spessore dal 1940. Attualmente, in media, perdono circa un metro all'anno.

Il ritiro di diversi ghiacciai di marea, che terminano in mare, è particolarmente spettacolare. I ghiacciai di marea esistono in Alaska, in Patagonia e lungo le coste della Groenlandia. Questi ghiacciai terminano direttamente sul livello del mare; pertanto, il loro ambiente è relativamente caldo durante l'estate. Di conseguenza, le zone terminali di questi ghiacciai sono tra i flussi di ghiaccio più veloci della Terra. La loro parte inferiore galleggia sull'acqua del mare e segue il movimento delle maree. Questo movimento favorisce la formazione di crepe e il distacco di iceberg che si riversano in mare.

Il ghiacciaio Columbia si trova in Alaska. Scendendo da oltre 3000 metri di altitudine, sfocia nel stretto di Prince William, sulla costa dell'Oceano Pacifico. Per molto tempo, l'estremità del ghiacciaio è rimasta stabile vicino all'imboccatura della Columbia Bay. Tuttavia, dagli anni '80 si è ritirato di oltre 20 chilometri.

Il ghiacciaio Columbia dimostra che la combinazione di diversi effetti può portare a un'evoluzione altamente dinamica. All'inizio, il naso del ghiacciaio era sostenuto dalla ghiaia della morena terminale. Dopo la fase iniziale dell'arretramento, ha galleggiato sull'acqua, rendendo più efficaci le forze di marea e aumentando così la velocità dell'arretramento, tanto più che questo ha permesso all'acqua più calda dell'oceano di scorrere sotto il ghiaccio.



5. Immagine all'infrarosso in falsi colori del ghiacciaio Columbia, Alaska, nel 2023. La sovrapposizione mostra i bordi dei ghiacciai in anni diversi. Dati: Sentinel-2, 30/07/2023.



Ghiacciaio dell'Aletsch, Svizzera

Con una lunghezza totale di quasi 23 chilometri e una superficie di circa 80 chilometri quadrati, il ghiacciaio dell'Aletsch è il più grande delle Alpi. Il suo ghiaccio raggiunge uno spessore di 900 metri, formando un fiume ghiacciato che si snoda attraverso l'aspro paesaggio montano.

Gli effetti del cambiamento climatico si ripercuotono sul ghiacciaio dell'Aletsch, come avviene per la maggior parte dei ghiacciai alpini. Nell'ultimo secolo si è ritirato a un ritmo crescente di circa 100 metri all'anno. I dati satellitari hanno mostrato che il ghiacciaio dell'Aletsch ha perso quasi 2 chilometri di lunghezza dagli anni Ottanta. L'aumento delle temperature globali sta facendo sì che il ghiacciaio perda più ghiaccio attraverso lo scioglimento di quello che guadagna con le nevicate. Questo squilibrio minaccia non solo le dimensioni del ghiacciaio, ma anche gli ecosistemi che dipendono da esso.



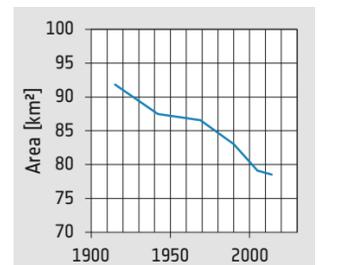
6. Vista del ghiacciaio dell'Aletsch, che mostra i crepacci e i detriti delle morene.



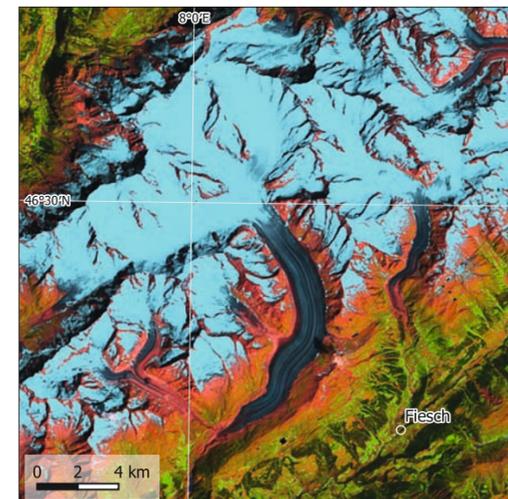
7. Immagine a colori reali dell'estensione del ghiacciaio dell'Aletsch nel 1985. Dati: Landsat 5, 26/07/1985.



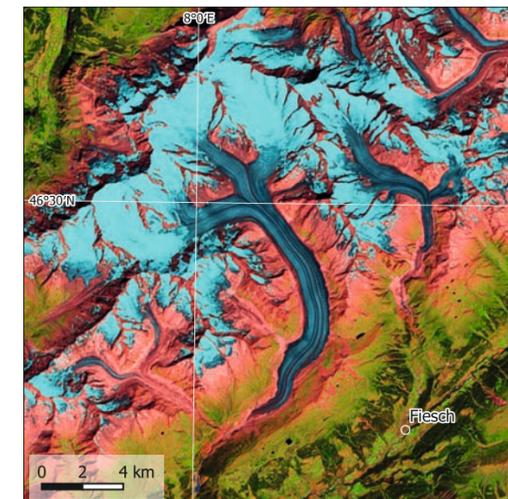
8. Immagine a colori reali dell'estensione del ghiacciaio dell'Aletsch nel 2022. Dati: Sentinel-2, 13/07/2022.



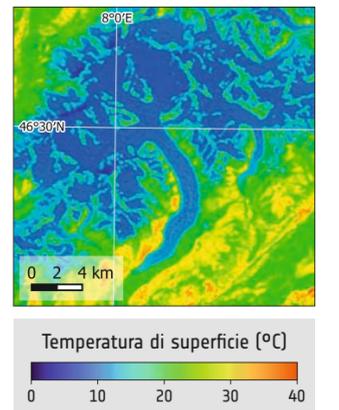
11. Ghiacciaio dell'Aletsch, variazione della superficie dal 1915.



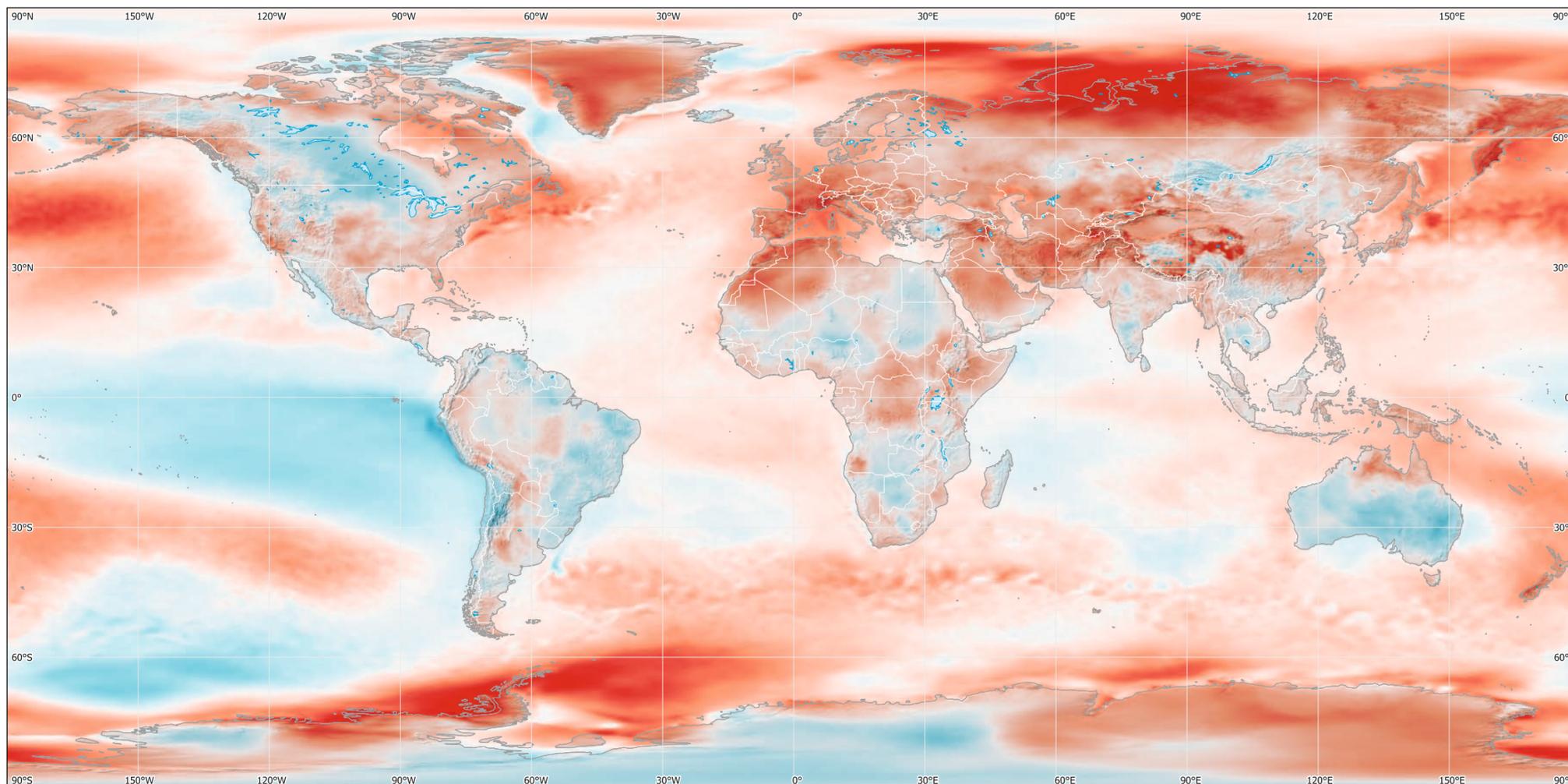
9. Immagine in falsi colori all'infrarosso (bande 5-4-3) del ghiacciaio dell'Aletsch nel 1985, che evidenzia il ghiaccio in blu scuro e la neve in azzurro. Dati: Landsat 5, 16/07/1985.



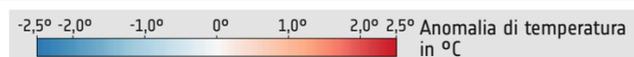
10. Immagine in falsi colori all'infrarosso (bande 11-7-4) del ghiacciaio dell'Aletsch nel 2022, che evidenzia il ghiaccio in blu scuro e la neve in azzurro. Dati: Sentinel-2, 13/07/2022.



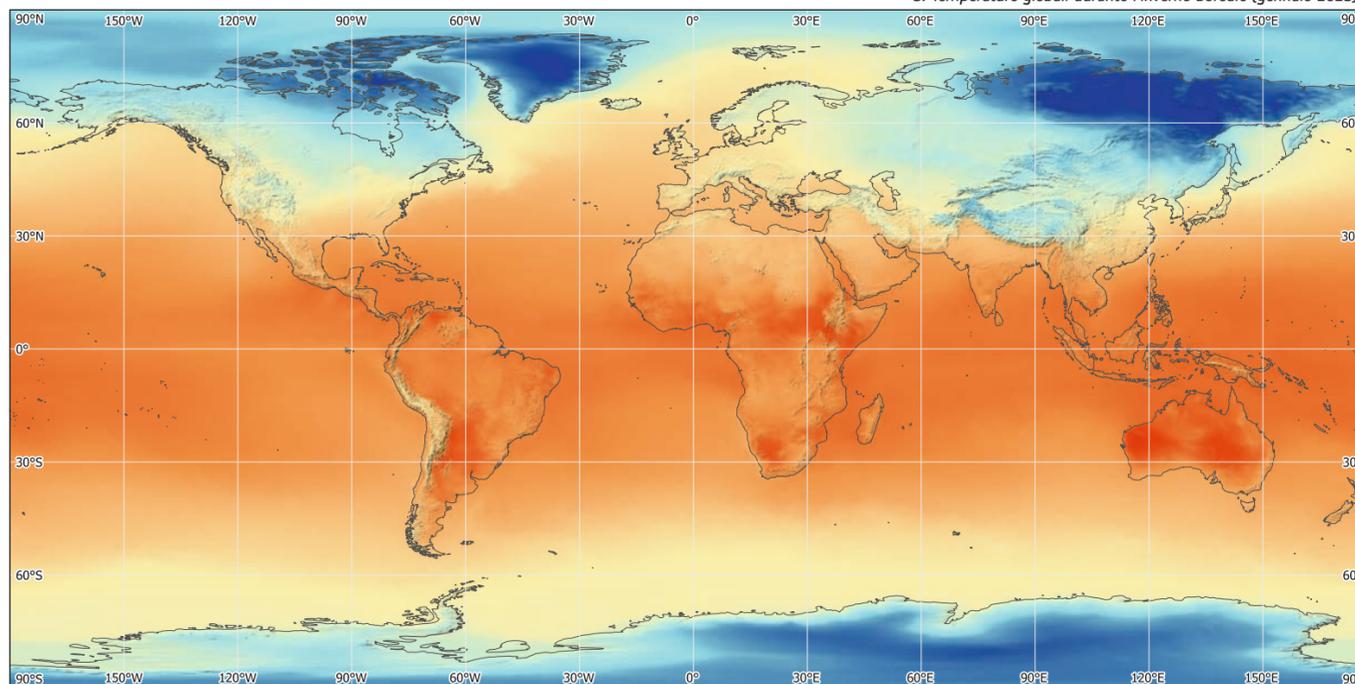
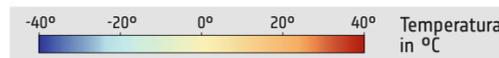
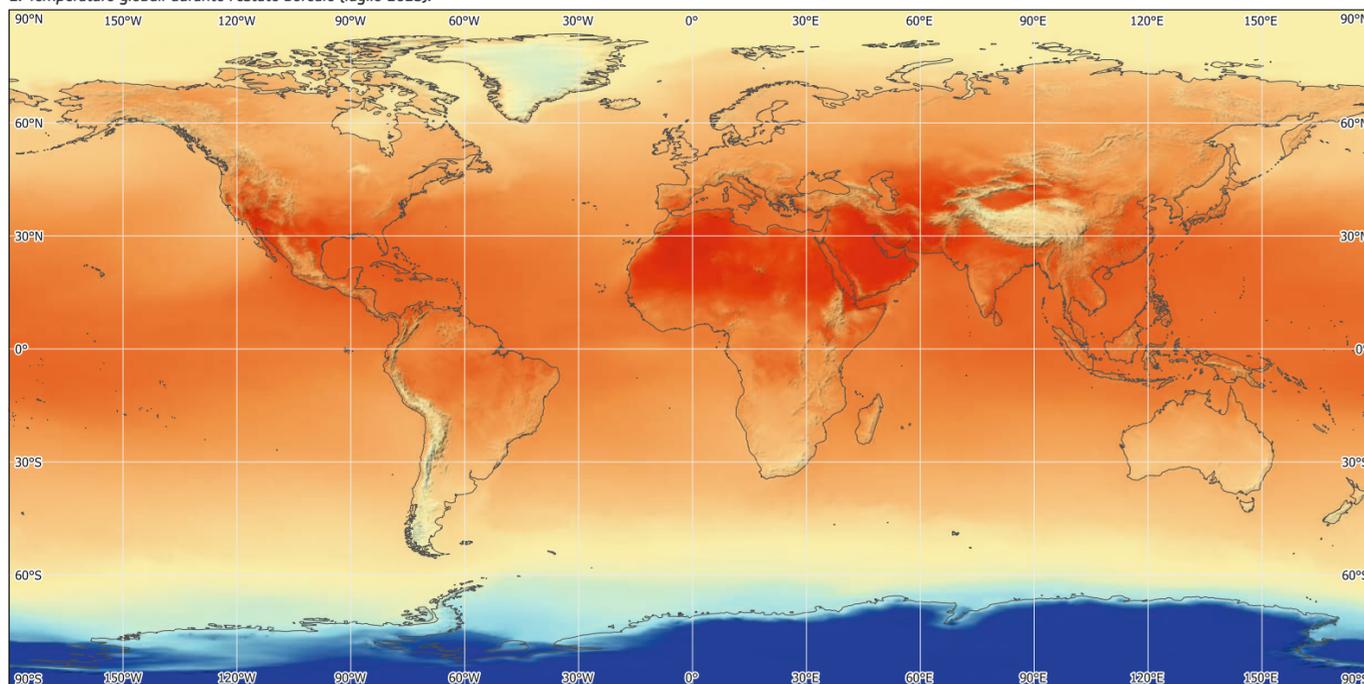
12. Immagine all'infrarosso termico del ghiacciaio dell'Aletsch nel luglio 1985 (blu scuro: temperatura -0 °C). Dati: Landsat 5, 26/07/1985.



1. Mappa globale delle anomalie di temperatura misurate nel 2022 rispetto al periodo 1960-1990.



2. Temperature globali durante l'estate boreale (luglio 2023).



3. Temperature globali durante l'inverno boreale (gennaio 2023).

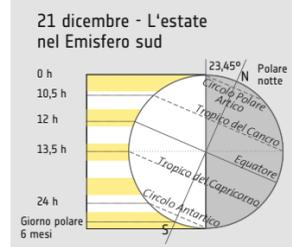
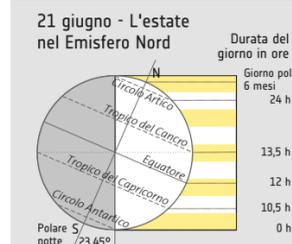
Temperature e anomalie di temperatura

Le temperature globali sono tra i parametri più importanti del sistema climatico terrestre, in grado di plasmare i modelli meteorologici e gli ecosistemi. L'irradiazione solare, l'energia emessa dal Sole, influenza le temperature globali fornendo l'energia necessaria a sostenere la vita e a guidare i processi atmosferici.

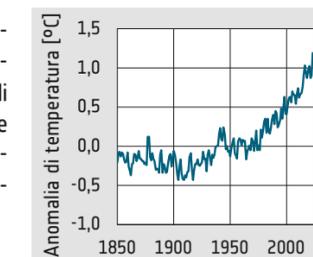
Le variazioni della produzione solare, determinate da fenomeni ciclici come le macchie solari e le eruzioni solari, modulano la quantità di energia che raggiunge l'atmosfera terrestre. Queste fluttuazioni influenzano i modelli di circolazione atmosferica, le correnti oceaniche e la distribuzione del calore sulla superficie del pianeta.

Il fattore dominante dei recenti cambiamenti nelle temperature globali è l'aumento delle concentrazioni di gas serra derivanti dalle attività umane. La combustione di combustibili fossili, la deforestazione e i processi industriali hanno portato a un rapido aumento delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) e altri gas serra.

L'aumento dei gas serra amplifica l'effetto serra naturale, intrappolando il calore nell'atmosfera terrestre e provocando un aumento delle temperature globali. Dagli anni Cinquanta, la temperatura media della superficie terrestre è aumentata di circa 1,1 gradi Celsius, con variazioni significative tra regioni e stagioni. L'ultimo decennio (2010-2019) è stato il più caldo mai registrato.



4. L'angolo dell'asse terrestre rispetto alla direzione del sole varia con le stagioni, e con esso l'angolo di irradiazione solare e la lunghezza dei giorni. Questo influenza l'energia solare ricevuta in un punto e, di conseguenza, la temperatura.

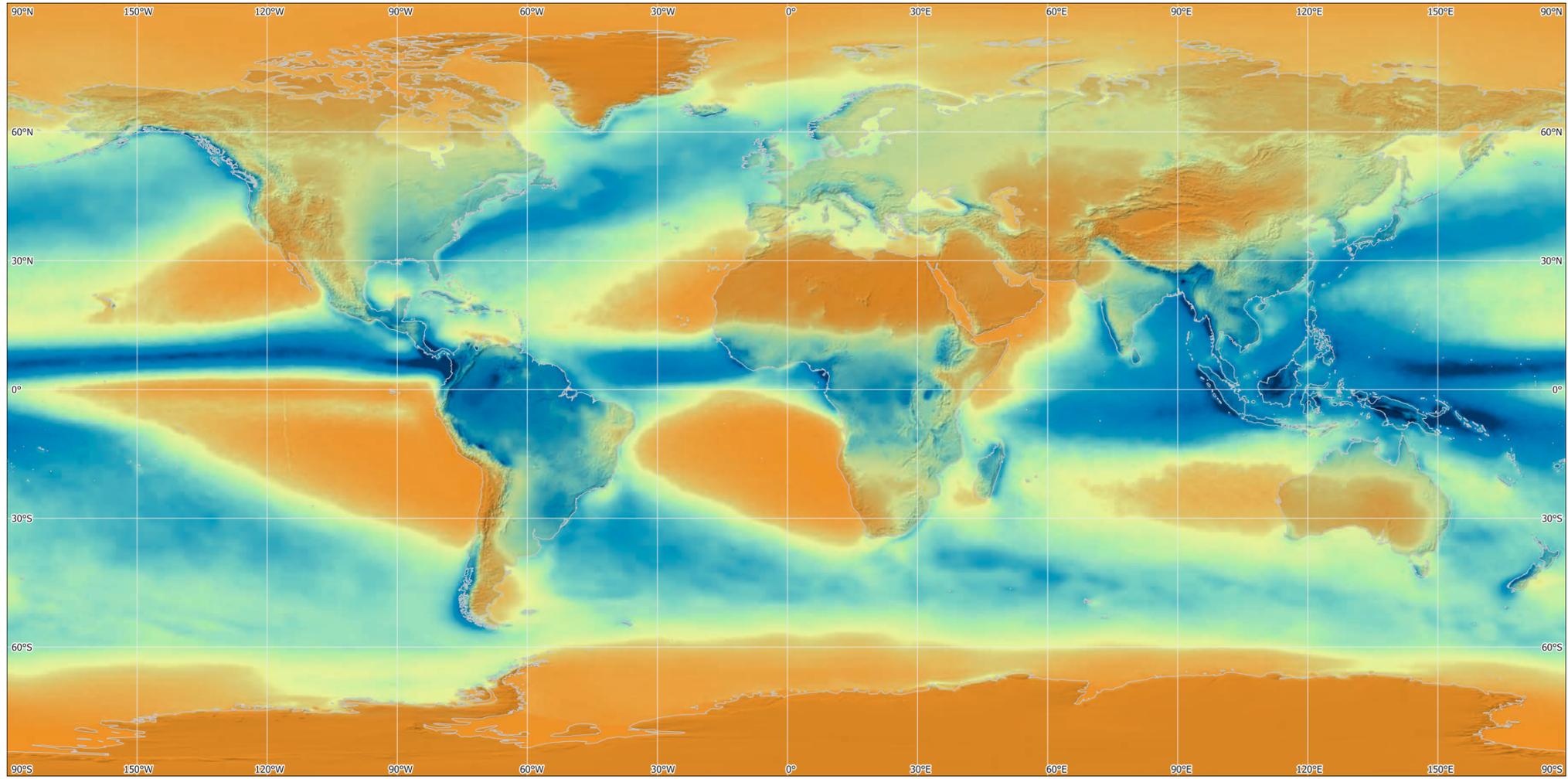


5. Anomalia della temperatura media annuale rispetto al periodo 1950-1980.



ATMOSFERA

ATMOSFERA



1. Precipitazioni medie annue per gli anni dal 2000 al 2023, misurate da satellite.

Distribuzione globale delle precipitazioni

La distribuzione delle precipitazioni sulla Terra è influenzata da diversi fattori, tra cui la latitudine, la vicinanza a grandi corpi idrici, l'altitudine e i modelli di vento prevalenti. Le regioni equatoriali registrano tipicamente alti livelli di precipitazioni a causa della convergenza di masse d'aria calde e umide, con conseguenti precipitazioni

abbondanti durante tutto l'anno. Al contrario, le regioni vicine ai poli tendono ad avere tassi di precipitazione più bassi a causa delle temperature più fredde e della limitata disponibilità di umidità. Le aree costiere ricevono spesso precipitazioni significative, poiché l'aria umida proveniente dagli oceani è costretta a salire sopra le masse terrestri, portando a

una maggiore formazione di nubi e precipitazioni. Al contrario, le regioni continentali interne possono registrare modelli di precipitazione più variabili, con alcune aree che ricevono abbondanti precipitazioni mentre altre sono relativamente asciutte a causa delle ombre di pioggia causate dalle catene montuose o dai modelli di vento prevalenti.

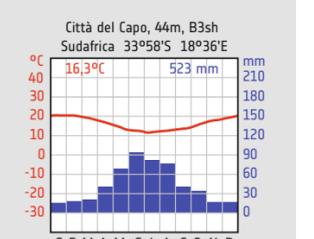
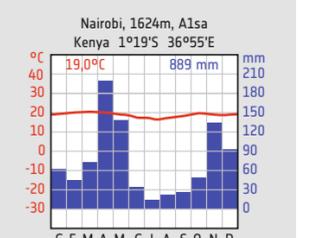
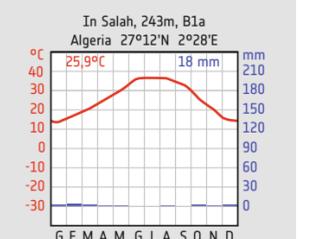
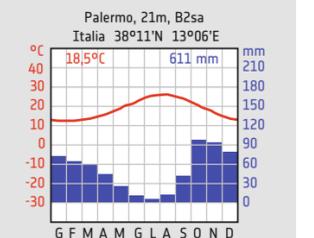
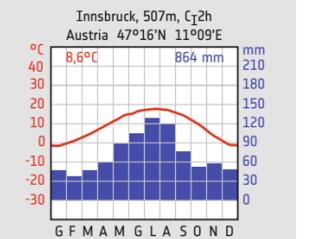
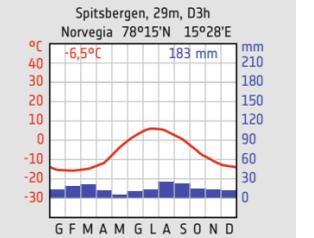
Formazione delle nuvole e precipitazioni

La relazione tra clima, copertura nuvolosa e precipitazioni è un'interazione complessa che influenza gli ecosistemi e i modelli meteorologici della Terra. Il clima è legato a fenomeni atmosferici come la formazione delle nuvole e le precipitazioni. La copertura nuvolosa, ovvero la misura in cui le nuvole coprono la superficie terrestre, svolge un ruolo importante nel bilancio energetico del pianeta, riflettendo la luce solare nello spazio e intrappolando il calore in uscita. Le precipitazioni, comprese le piogge, le neviccate e altre forme di umidità, sono una componente fondamentale del ciclo dell'acqua sulla Terra e dei climi ed ecosistemi regionali.

Questi processi interconnessi sono essenziali per i cambiamenti climatici, i modelli meteorologici e il loro impatto sulle società umane e sugli ambienti naturali. I satelliti per l'osservazione della Terra monitorano questi fenomeni su scala globale. Dotati di sensori avanzati, questi satelliti forniscono dati sulla copertura nuvolosa, sui tassi di precipitazione e sulle condizioni atmosferiche su diverse scale spaziali e temporali.

Le osservazioni satellitari offrono una visione della distribuzione spaziale e della variabilità temporale della copertura nuvolosa, consentendo di studiare i processi di formazione delle nuvole, le loro interazioni con i modelli di circolazione atmosferica e il loro ruolo nel clima terrestre. Le misure satellitari delle precipitazioni forniscono informazioni cruciali per la gestione delle risorse idriche, la previsione delle inondazioni e la pianificazione agricola.

Combinando le osservazioni satellitari con modelli climatici avanzati, gli scienziati possono migliorare la comprensione dei complessi meccanismi di feedback tra clima, copertura nuvolosa e precipitazioni. In questo contesto, i satelliti per l'osservazione della Terra sono strumenti importanti per il monitoraggio e lo studio del sistema climatico terrestre.

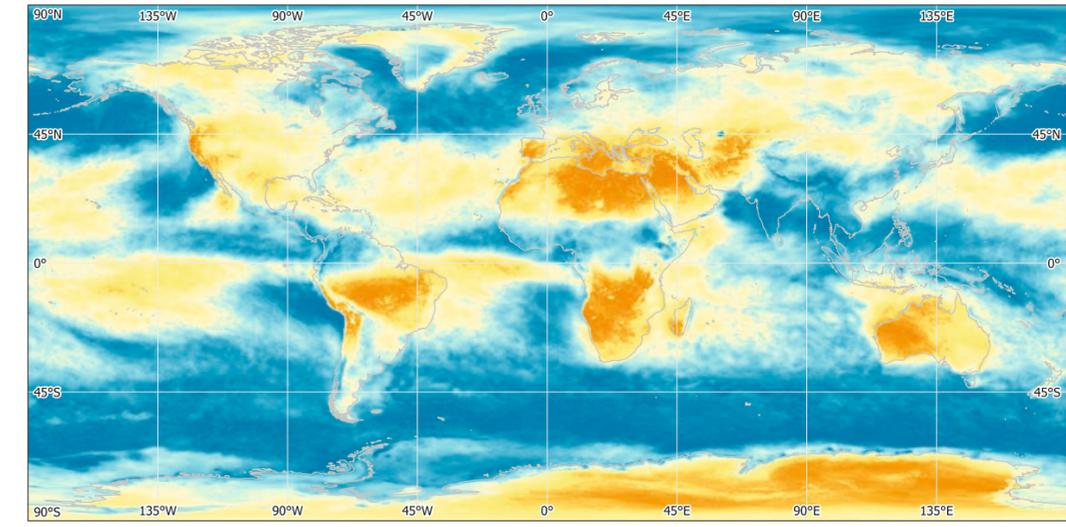
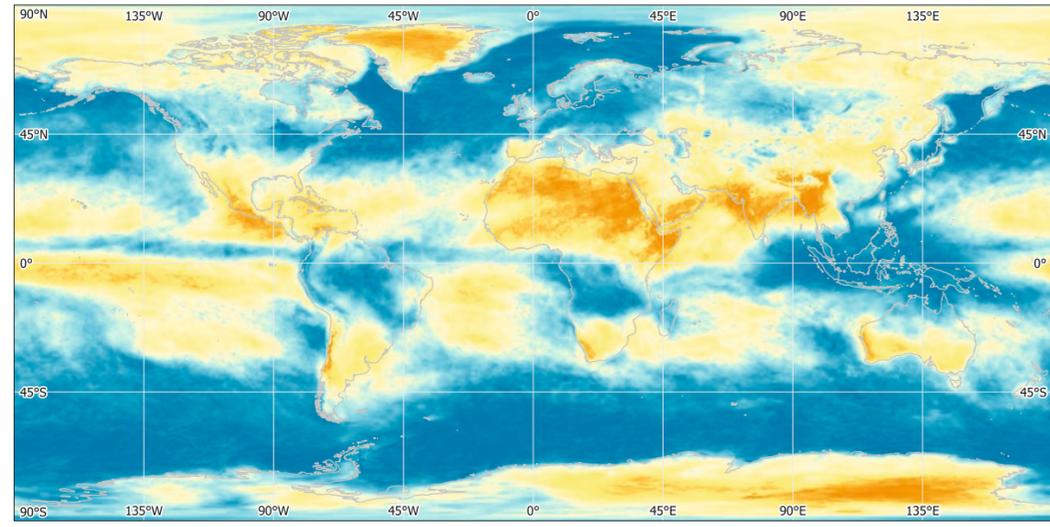


44m Altitudine della stazione climatica
B3sh Zona climatica della stazione climatica
■ Precipitazioni medie mensili
— Temperatura media mensile
523 mm Precipitazioni medie annuali
16,3°C Temperatura media annuale

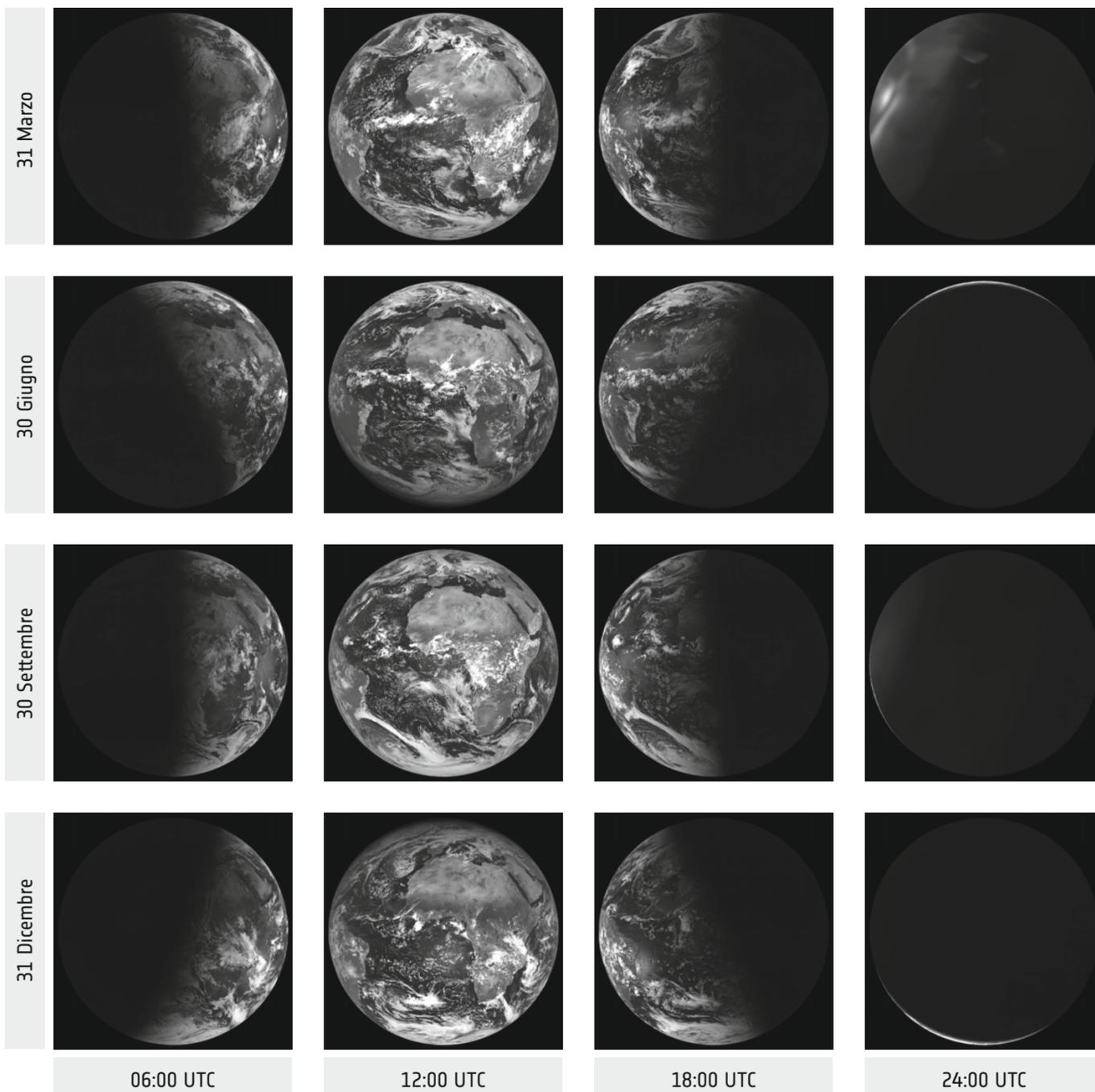
2. Diagrammi climatici per aree di interesse a diverse latitudini.



3. Copertura nuvolosa media, gen. 2016.



4. Copertura nuvolosa media, luglio 2016.



1. Variazioni stagionali e diurne dell'illuminazione della terra. Meteosat (meridiano 0°, luce visibile).

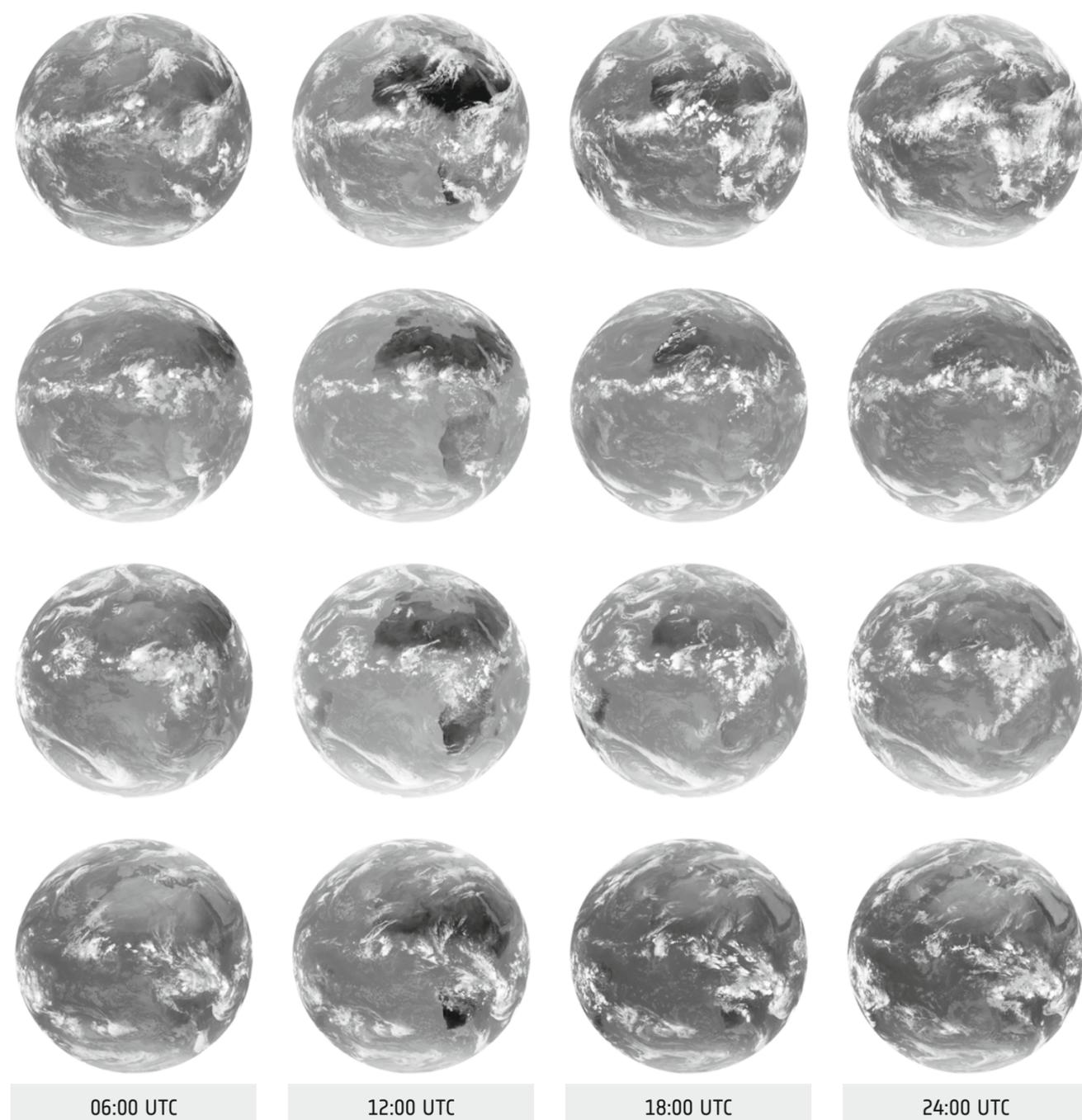
La Terra in luce visibile

I satelliti Meteosat forniscono informazioni sulle dinamiche della Terra attraverso immagini nello spettro visibile, catturando le caratteristiche della superficie del pianeta e le condizioni atmosferiche con notevoli dettagli. Nello spettro visibile, queste immagini rivelano una visione dei fenomeni naturali, illustrando il paesaggio in continua evoluzione influenzato dalle variazioni stagionali e dai cicli diurni.

Nel corso di un anno, le immagini Meteosat mostrano l'interazione dinamica delle stagioni della Terra. Il cambiamento dell'angolo di irradiazione della luce solare è

molto ben visibile. Durante gli equinozi di primavera e d'autunno l'intero emisfero è illuminato alle 12:00 UTC. Inoltre, sono visibili i cambiamenti stagionali della vegetazione e della copertura nevosa.

Il ciclo diurno, con la sua sequenza di giorno e notte, può essere seguito anche nelle immagini Meteosat. Le stagioni e le ore del giorno si intersecano nelle immagini Meteosat. Alle alte latitudini, la transizione dalla notte polare al giorno polare durante l'estate si traduce in una luce diurna continua, mentre i mesi invernali rimangono bui. Nelle regioni equatoriali, il ciclo diurno rimane relativamente costante durante tutto l'anno.



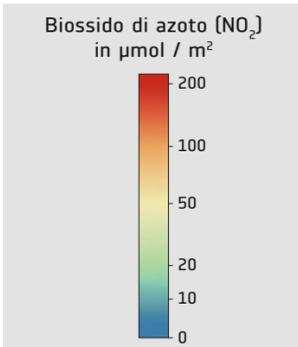
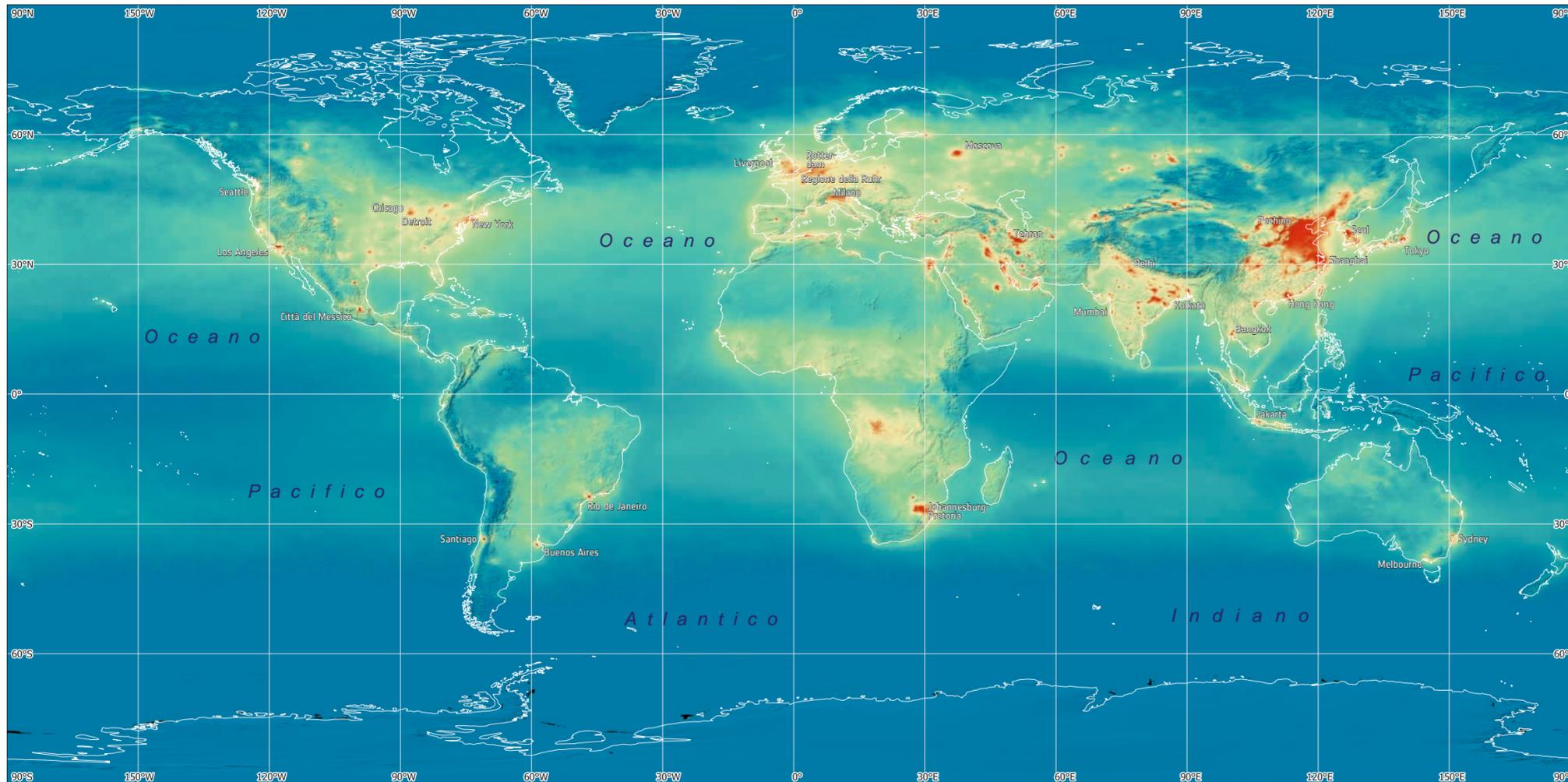
La Terra nella luce infrarossa

Le immagini Meteosat all'infrarosso mostrano le nuvole e le dinamiche atmosferiche, offrendo una visione dei modelli meteorologici e dei fenomeni climatici. Operando nello spettro dell'infrarosso, queste immagini rilevano la radiazione termica emessa dalla superficie e dall'atmosfera terrestre, fornendo una prospettiva sulla copertura nuvolosa e sulle temperature atmosferiche.

La copertura nuvolosa domina le immagini Meteosat all'infrarosso, apparendo come sfumature di grigio o bianco su uno sfondo più scuro. I diversi tipi di nubi,

come i cumuli, gli stratus e i cirri, presentano firme termiche distinte, che permettono di distinguere la loro altezza, spessore e composizione. Le nubi spesse e di alta quota appaiono più fredde nelle immagini a infrarossi, mentre le nubi basse e la nebbia sono solitamente più calde. La zona di convergenza intertropicale (ITCZ), una regione vicina all'equatore dove convergono gli alisei, appare nelle immagini come una fascia di temporali e nubi cumulonebbi. La posizione della ITCZ si sposta nel corso dell'anno con l'inclinazione dell'asse terrestre, influenzando i modelli meteorologici globali e la distribuzione delle precipitazioni.

2. Cambiamenti nella distribuzione della temperatura e migrazione dell'ITCZ durante l'anno. Le temperature più elevate appaiono più scure. Meteosat (0° meridiano, banda dell'infrarosso termico).



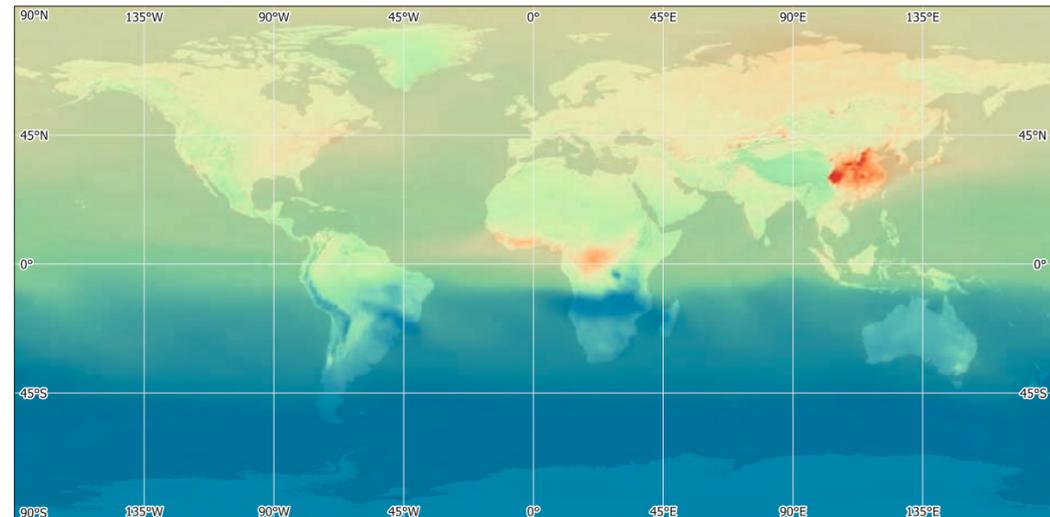
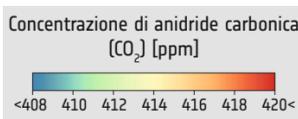
1. Mappa globale della distribuzione del biossido di azoto (NO₂). L'NO₂ è prodotto da processi di combustione ad alta temperatura nell'industria e nel traffico e riflette l'attività industriale di una regione. Dati: Sentinel-5P.

Componenti dell'atmosfera

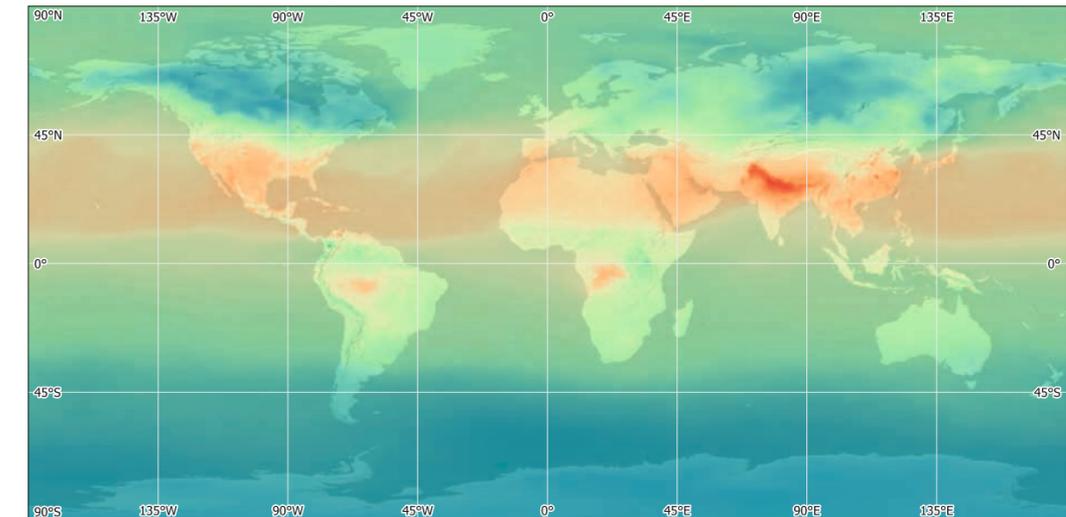
L'atmosfera terrestre è composta principalmente da azoto (N₂, 78,08%), ossigeno (O₂, 20,95%) e argon (Ar, 0,93%). Il restante 0,04% è costituito dai cosiddetti gas in traccia, che nonostante le loro piccole concentrazioni svolgono ruoli importanti nell'atmosfera.

L'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O) sono importanti gas serra che contribuiscono al riscaldamento globale. Negli ultimi decenni, soprattutto la CO₂ ha acquisito consapevolezza, poiché la sua concentrazione è aumentata da 320 ppm (parti per milione) negli anni '60 a 420 ppm nel 2023.

L'ozono (O₃) svolge un ruolo importante nella stratosfera. Agisce come un filtro per la radiazione ultravioletta (UV) solare, che può distruggere le biomolecole. Il buco dell'ozono antartico, un deficit di O₃ che si verifica ogni anno intorno a ottobre, è stato intensificato dal gas traccia CFC (clorofluorocarburi) prodotto dall'uomo.

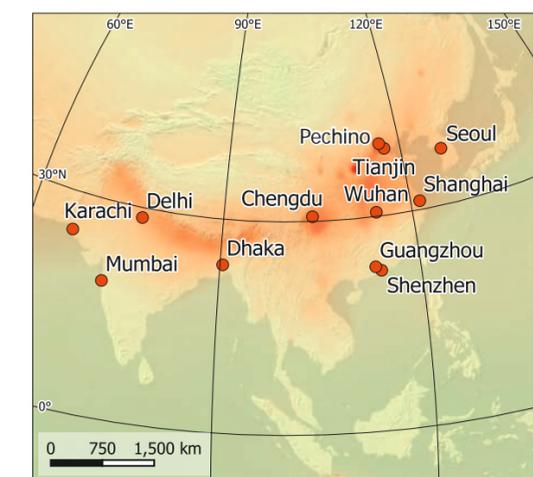
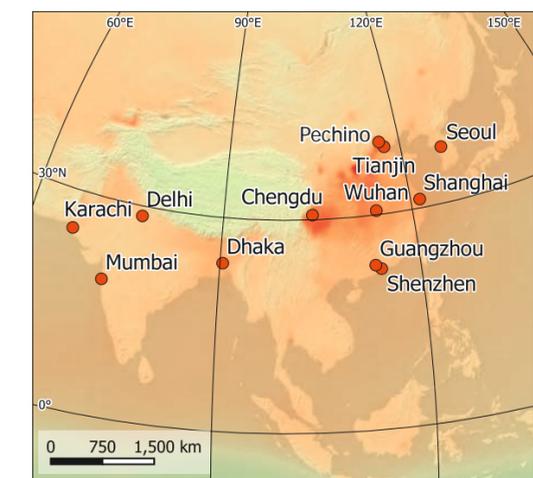


2. Mappa globale della distribuzione del biossido di carbonio (CO₂) nel gennaio 2020.

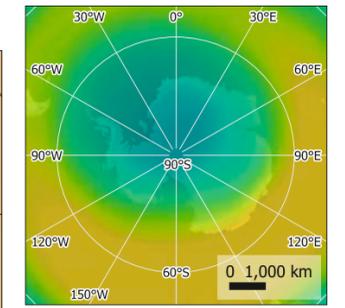


3. Mappa globale della distribuzione del biossido di carbonio (CO₂) nel luglio 2020.

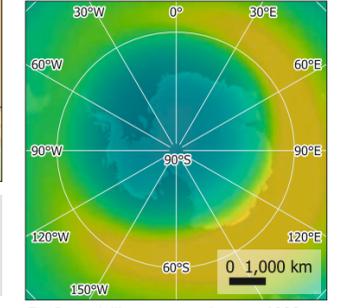
5. Evoluzione del buco dell'ozono antartico dal 1970.



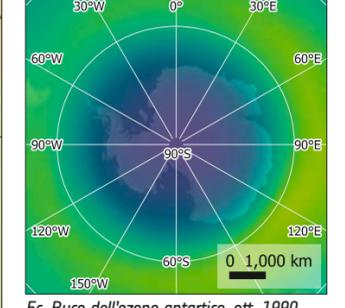
4. Variazione stagionale della concentrazione di metano (CH₄) nel sud-est asiatico, gennaio 2020 (in alto) e luglio 2020 (in basso). La coltivazione del riso è una delle fonti più importanti di CH₄.



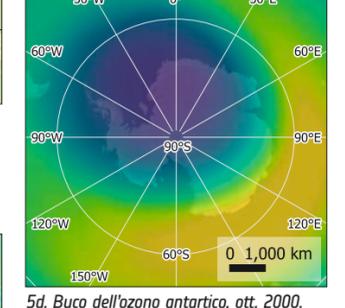
5a. Buco dell'ozono antartico, ott. 1970.



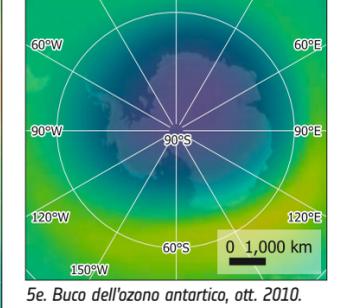
5b. Buco dell'ozono antartico, ott. 1980.



5c. Buco dell'ozono antartico, ott. 1990.

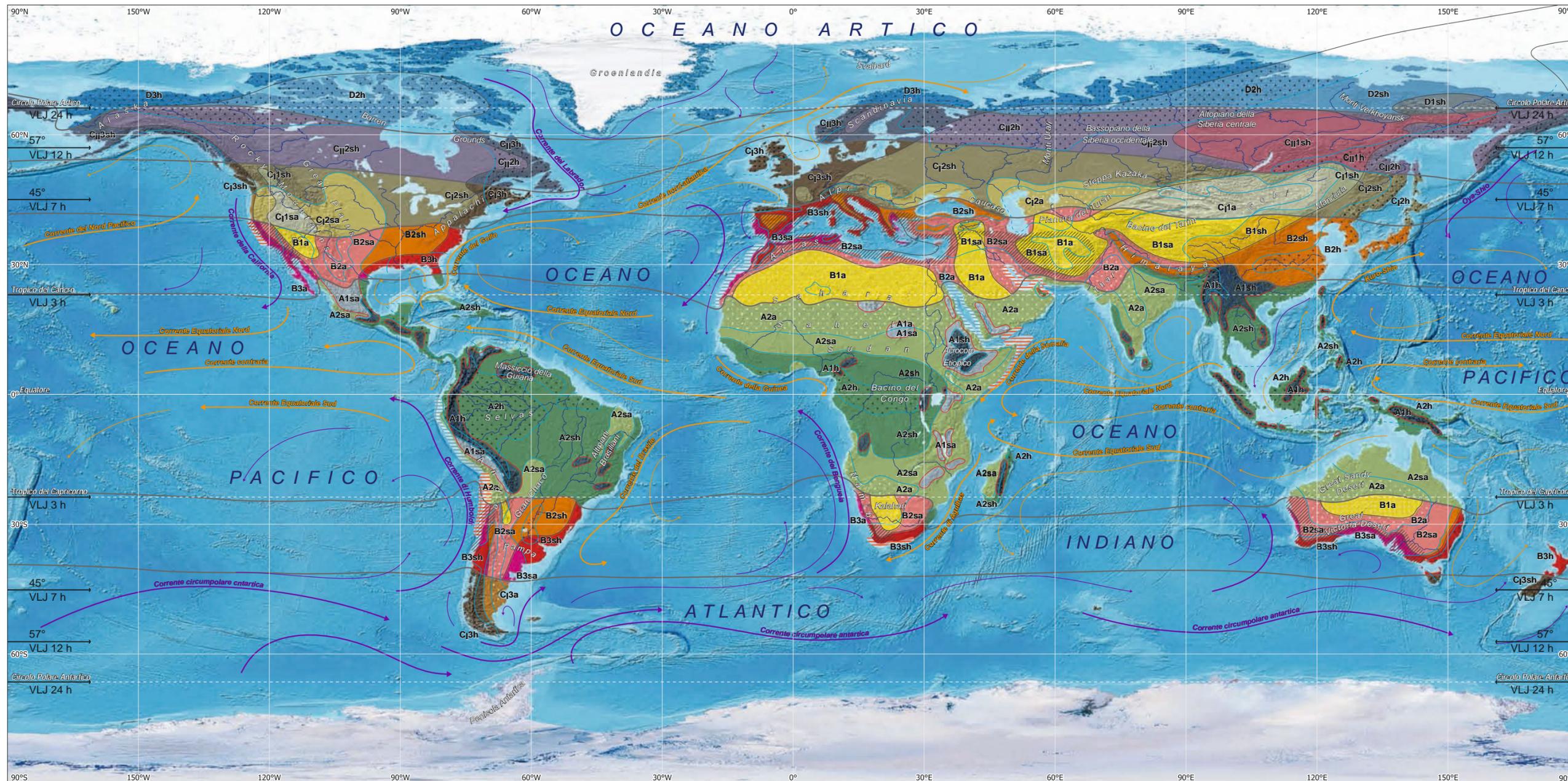


5d. Buco dell'ozono antartico, ott. 2000.



5e. Buco dell'ozono antartico, ott. 2010.





1. Global map of climate zones according to Lauer and Frankenberg.

Zone climatiche

C₃sh Esempio: C₃sh è un clima marittimo, semi-umido, temperato caldo delle medie latitudini.

57° VLJ 12 h Variazioni annuali della lunghezza del giorno (VLJ) in ore (limite del clima solare)

— Limite climatico termicamente corretto che tiene conto dell'influenza delle montagne e delle correnti oceaniche

— C: grado di continentalità (in %) come misura delle variazioni annuali di temperatura

— Mesi umidi: precipitazioni > evaporazione nel passaggio reale

▨ Regione di precipitazioni invernali subtropicali

▨ Nebbia costiera (inverno/estate)

Correnti oceaniche

- Corrente principale fredda
- Corrente fredda
- Corrente principale calda
- Corrente calda

Zone climatiche

Il termine clima comprende tutte le caratteristiche meteorologiche responsabili dello stato medio a lungo termine dell'atmosfera in un determinato luogo. Il clima è influenzato da numerosi fattori. Il più importante è la posizione geografica che influenza la temperatura: maggiore è la distanza dall'equatore e maggiore è l'altitudine, minore è la temperatura. La distanza dall'oceano, la continentalità, ha un'importanza simile: le masse terrestri si riscaldano e si raffreddano più velocemente dell'acqua dell'oceano, il che fa sì che le variazioni di temperatura nel continente siano maggiori rispetto alle coste. Pertanto, nelle regioni costiere le estati sono generalmente più fresche e gli inverni più miti. Le regioni con condizioni climatiche simili vengono as-

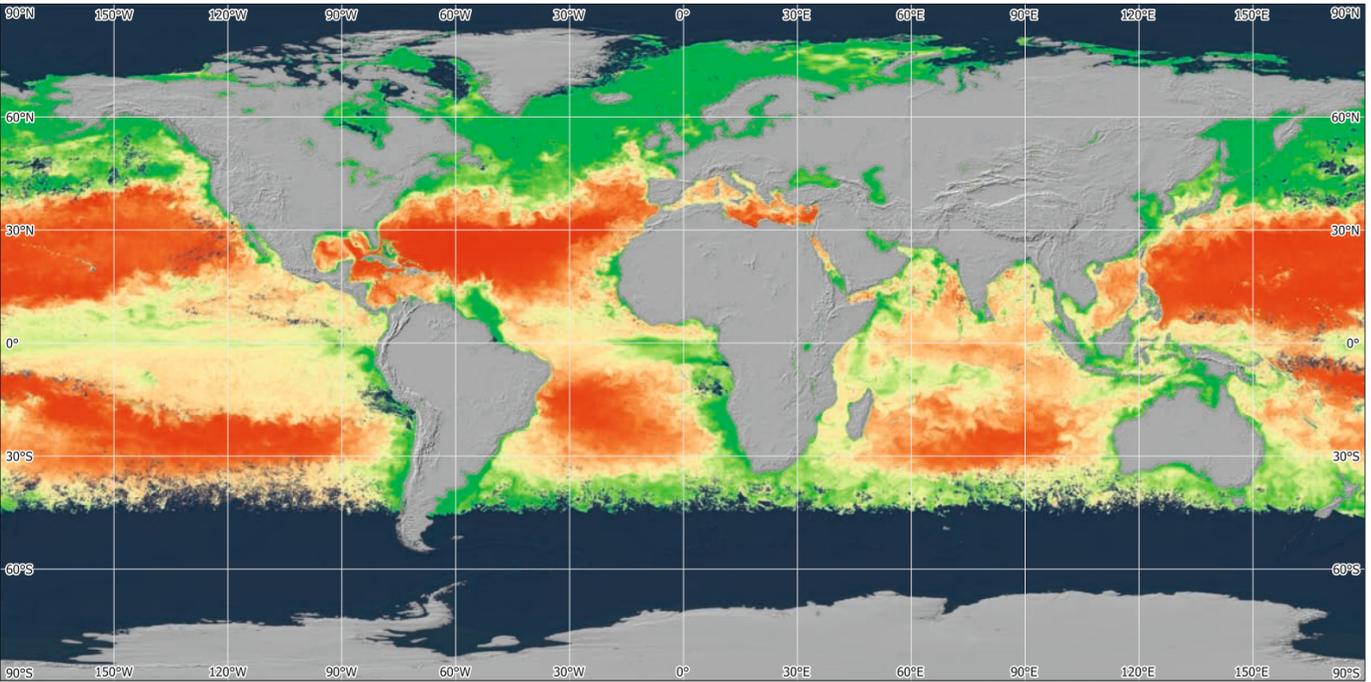
segnate alla stessa zona climatica. La classificazione dei climi di Lauer e Frankenberg (1987) definisce in un primo approccio le zone climatiche tropicali, subtropicali, temperate e polari.

I criteri di classificazione si riferiscono alla vegetazione reale. Il principio di base della classificazione climatica è l'inclusione delle condizioni climatiche solari di radiazione e illuminazione. Il confine dei tropici è definito dalla variazione tra estate e inverno (ampiezza annuale) è maggiore della variazione tra giorno e notte (ampiezza diurna). I climi tropicali sono quindi climi diurni, mentre i climi non tropicali sono climi annuali. Secondo questa classificazione climatica, la Terra può essere suddivisa

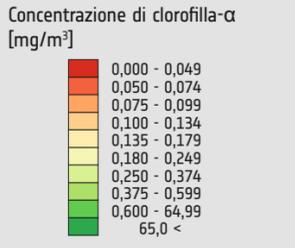
approssimativamente in quattro zone climatiche, definite dalla radiazione solare: climi tropicali, subtropicali, temperati e polari. Queste zone sono sottoclassificate in base alle loro proprietà termiche.

Il sistema climatico della Terra è molto complesso: i satelliti meteorologici sono di grande utilità per misurare le condizioni atmosferiche ed estrapolare l'evoluzione sulla base di queste misurazioni. Si tratta di misurare la copertura nuvolosa, le temperature e l'umidità, nonché la concentrazione di ozono e di gas serra con il loro impatto a lungo termine sullo sviluppo del clima.

Zona climatica (irradiazione solare globale)	Regione climatica (bilancio termico)	Bilancio idrico (numero di mesi umidi)				Confine climatico
		a (arido) 0-2	sa (semi-arido) 3-5	sh (semi-umido) 6-9	h (umido) 10-12	
A Tropicale	1 Tropici freddi 2 Tropici caldi					Linea di gelo assoluta VLJ 3 ore
B Subtropicale	1 alto-continentale					C=200%
	2 continentale					C=100%
	3 marittimo					VLJ 7 ore
C Medie latitudini	I temperato caldo	1 alto-continentale				C=200%
		2 continentale				C=100%
		3 marittimo				VLJ 12 ore
	II temperato freddo	1 alto-continentale				C=200%
		2 continentale				C=100%
		3 marittimo				VLJ 6 ore
D Regioni polari	1 alto-continentale				C=200%	
	2 continentale				C=100%	
	3 marittimo				Linea della neve	

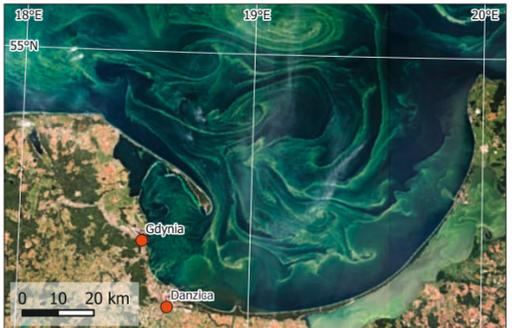


1. Concentrazione di clorofilla-a nella superficie dell'oceano, giugno 2023. Dati: Sentinel-3.

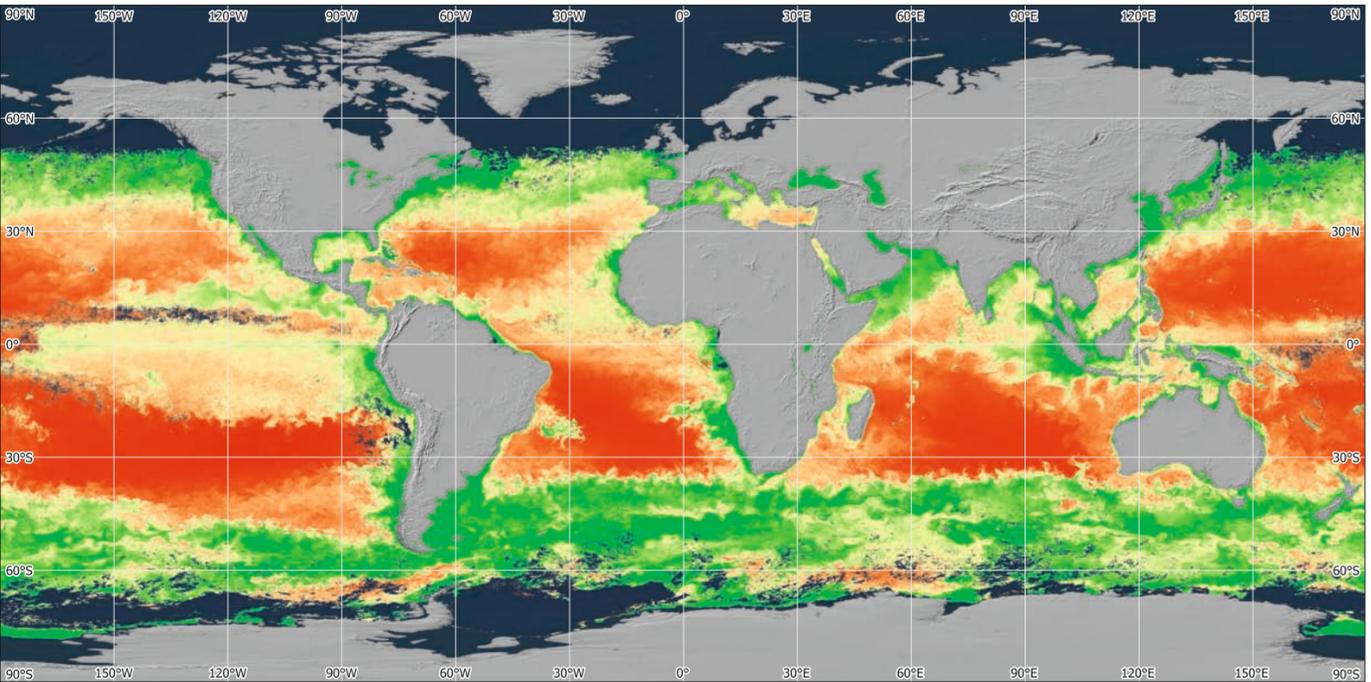


La vita nell'acqua

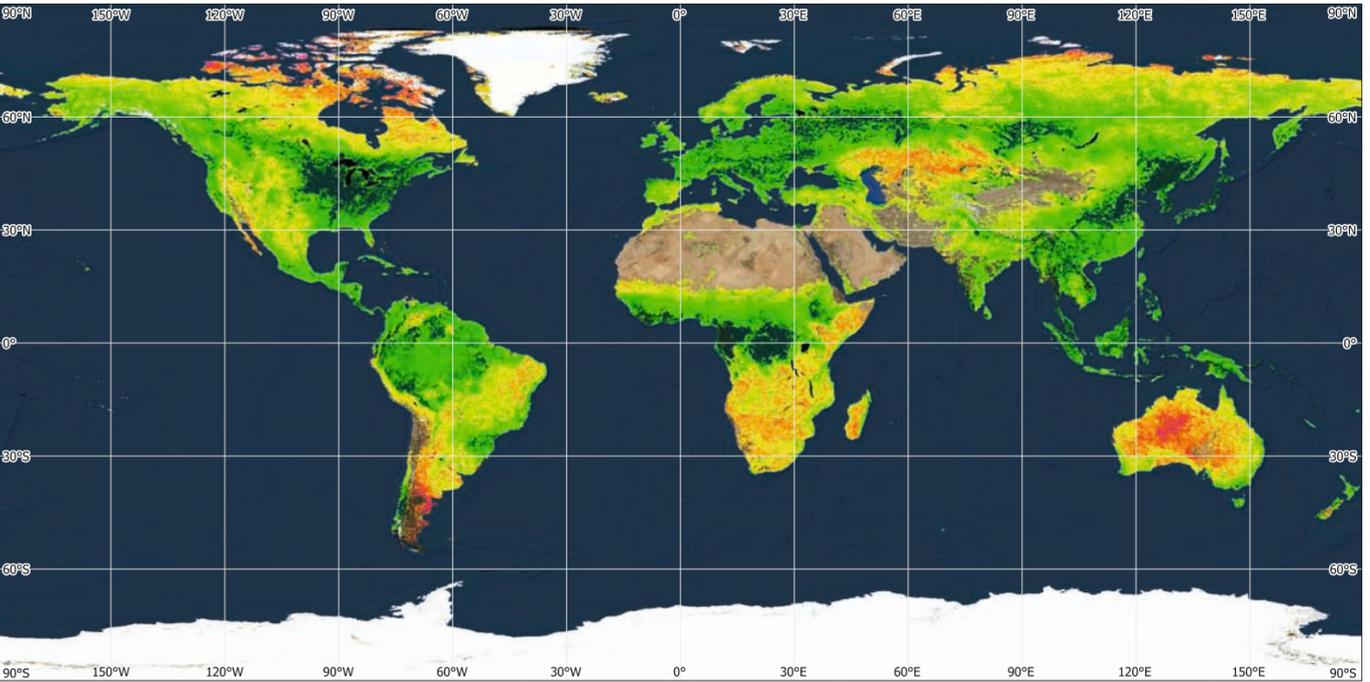
Il fitoplancton, piante acquatiche microscopiche, è fondamentale per gli ecosistemi acquatici...



3. Vortici di una fioritura algale nel Mar Baltico vicino a Danzica, Polonia. Dati: Sentinel-2, 20/07/2019.



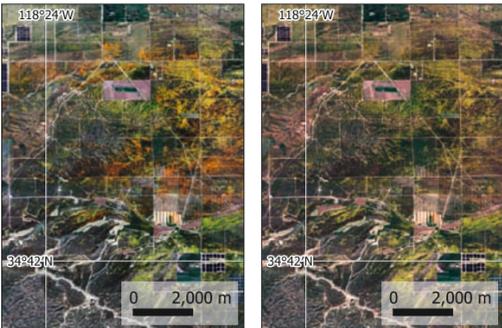
2. Concentrazione di clorofilla-a nella superficie dell'oceano, dicembre 2023. Dati: Sentinel-3.



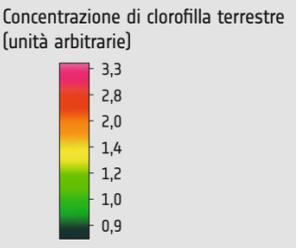
4. Intensità della vegetazione mostrata dall'indice di clorofilla terrestre, luglio 2018. Dati: Sentinel-3.

Vegetazione del terreno

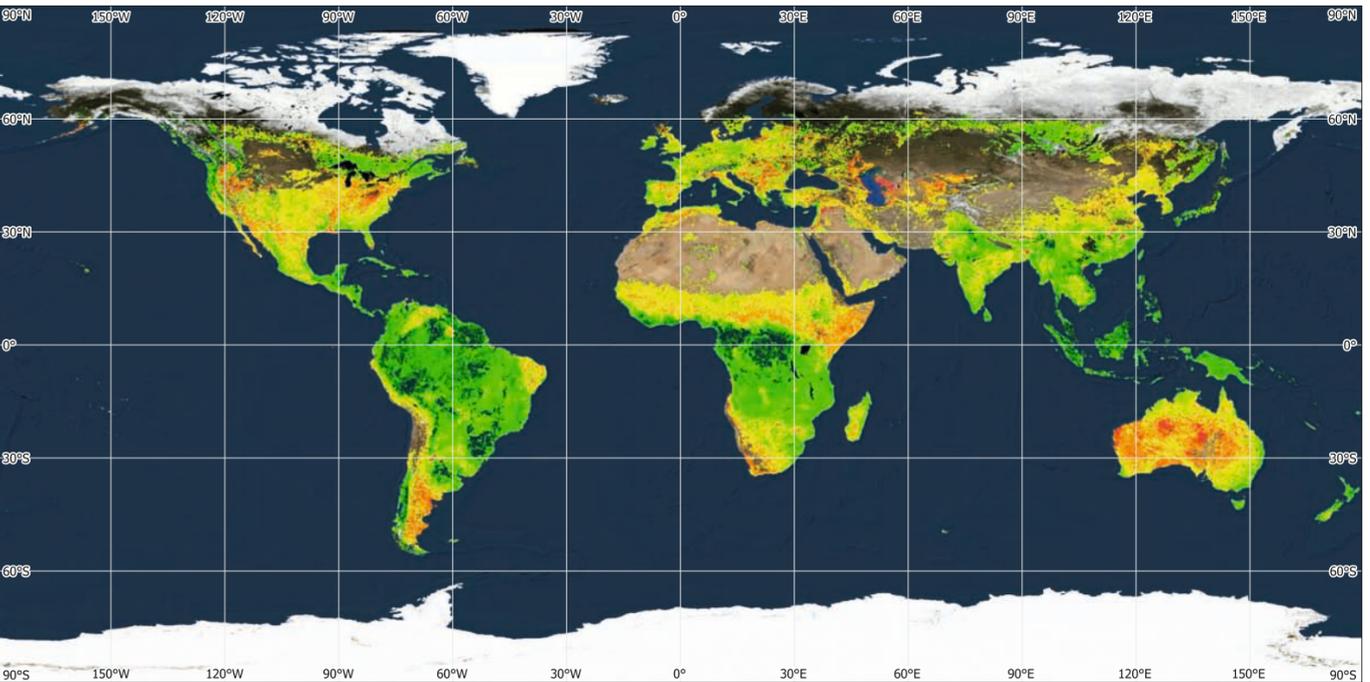
Le piante coprono la maggior parte della superficie solida della Terra, ben adattate alle rispettive condizioni date dal clima e dai suoli della regione.



6. Colori durante (08/04/2023, sinistra) e dopo un evento di super fioritura (13/04/2023, destra) in California, Stati Uniti. Dati: Sentinel-2.

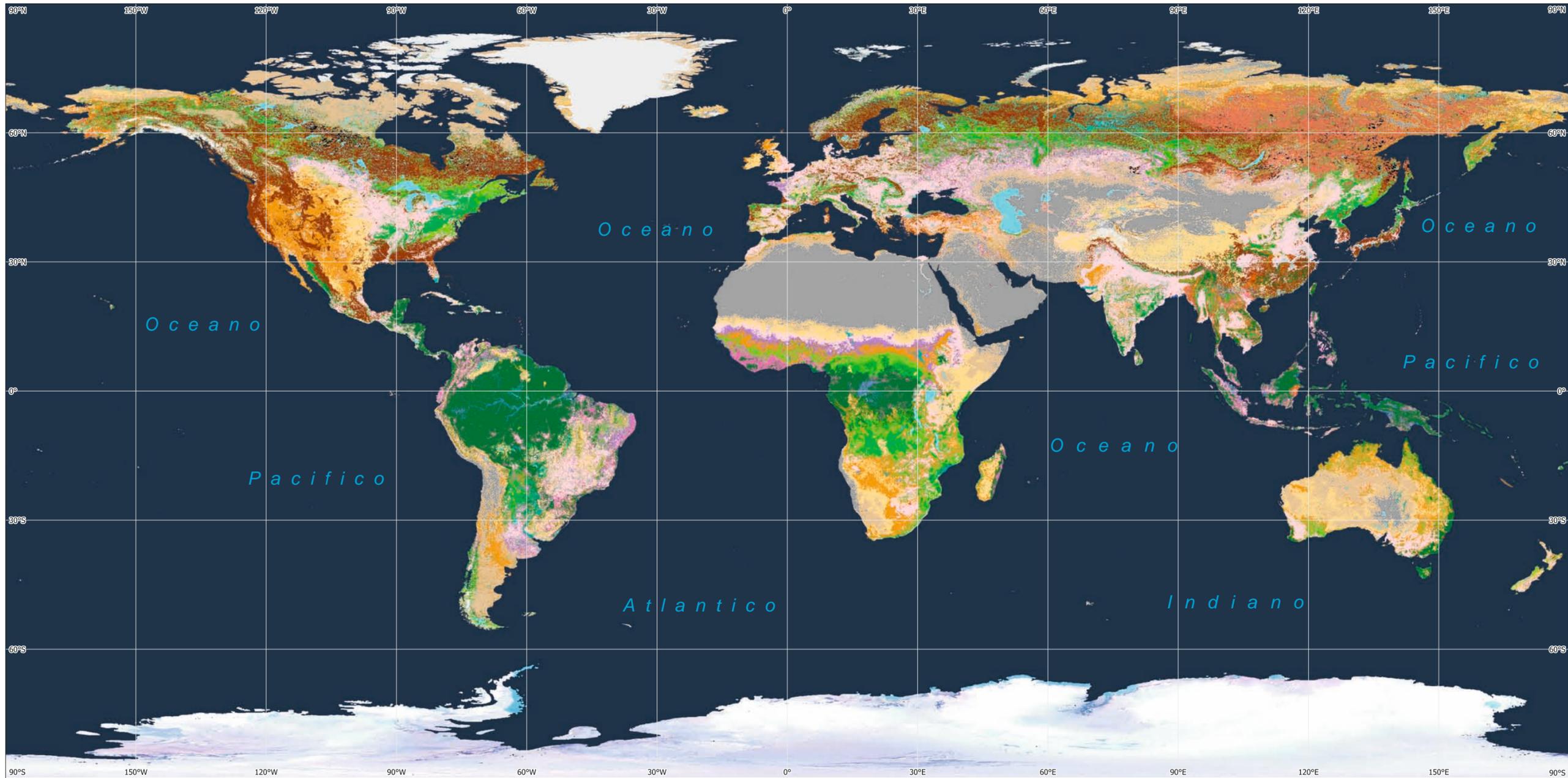


5. Intensità della vegetazione mostrata dall'indice di clorofilla terrestre, gennaio 2018. Dati: Sentinel-3.





BIOSFERA



1. Mappa globale della copertura/uso del suolo derivata da dati satellitari.

- Neve e ghiaccio
- Superficie dell'acqua
- Copertura erbacea o arbustiva rada
- Copertura arborea, conifere, decidua
- Copertura arborea di tipo misto
- Copertura arborea, latifoglie, decidua, chiusa
- Copertura arborea, conifera, sempreverde
- Copertura arborea, bruciata
- Mosaico: copertura arborea / altra vegetazione naturale
- Terreno nudo
- Superficie artificiale e area associata
- Area coltivata e gestita
- Copertura erbacea, chiusa-aperta
- Copertura arbustiva e/o erbacea regolarmente inondata
- Copertura arborea, latifoglie, decidua, aperta
- Copertura arborea, latifoglie, sempreverde
- Mosaico: terreni coltivati / copertura arborea / altra vegetazione naturale
- Mosaico: terreno coltivato / copertura arbustiva e/o erbacea
- Copertura arbustiva, chiusa-aperta, sempreverde
- Copertura arbustiva, chiusa-aperta, decidua
- Copertura arborea, regolarmente inondata, acqua salina
- Copertura arborea, regolarmente inondata, acqua dolce
- Nessun dato

BIOSFERA



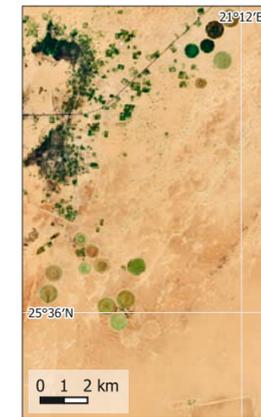
2. Kiruna, Svezia. Copertura arborea, agricoltura estensiva, attività mineraria (Sentinel-2, 08/09/2023).



3. Pärnu, Estonia. Pino, betulla e abete rosso, silvicoltura intensiva (Sentinel-2, 27/09/2023).



4. Salonicco, Grecia. Coltivazione intensiva di colture e frutti (Sentinel-2, 20/09/2023).



5. Tazirbu, Libia. L'agricoltura dell'oasi si basa sull'irrigazione (Sentinel-2, 27/09/2023).



6. Abéché, Ciad. Allevamento di bestiame nella savana intorno alla città (Sentinel-2, 24/09/2023).



7. Boende, R.D. Congo. Coltivazioni itineranti nella foresta pluviale (Sentinel-2, 08/09/2023).

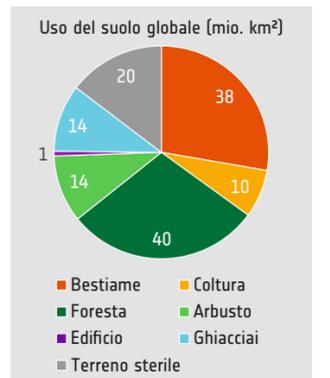


8. Marchand, Sudafrica. Agricoltura irrigua lungo il fiume (Sentinel-2, 31/03/2023).

Copertura e uso del suolo a livello globale

La copertura del suolo si riferisce alle caratteristiche fisiche della superficie terrestre, tra cui la vegetazione, i corpi idrici e il terreno nudo. Nel suo stato naturale, dipende dal suolo, dal clima e dalla fauna che abita una regione.

L'uso del suolo descrive il modo in cui l'uomo utilizza il territorio, ad esempio per l'agricoltura o lo sviluppo urbano. In molti casi l'uso del suolo è strettamente correlato ai cambiamenti nella copertura del suolo, come l'aumento dei terreni agricoli e la crescita delle superfici impermeabilizzate a causa dello sviluppo degli insediamenti. I cambiamenti nella copertura e nell'uso del suolo possono avere un impatto sugli ecosistemi, sulla biodiversità e sul clima.



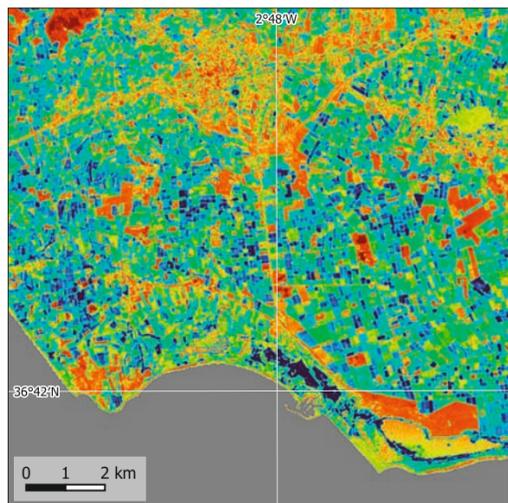
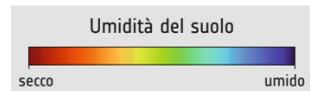
9. Superfici coperte da importanti classi di copertura e uso del suolo (aree in mio. km²).



1. Il Mar de Plástico intorno a El Ejido, Spagna. Dati: Sentinel-2, 10/09/2022.



2. Indice di umidità del suolo (NDMI) della regione di El Ejido. Dati: Sentinel-2, 10/09/2022 (a sinistra).



3. Il Mar de Plástico intorno a El Ejido, Spagna, nel 1985. Dati: Landsat 5, 17/10/1985 (a destra).



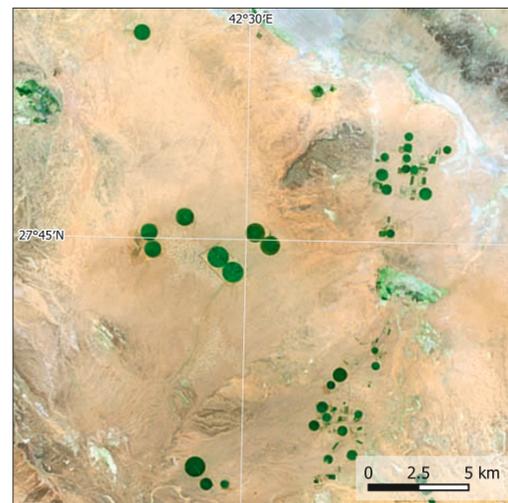
4. Vista delle serre di plastica vicino a El Ejido.

El Mar de Plástico – El Ejido, Spagna

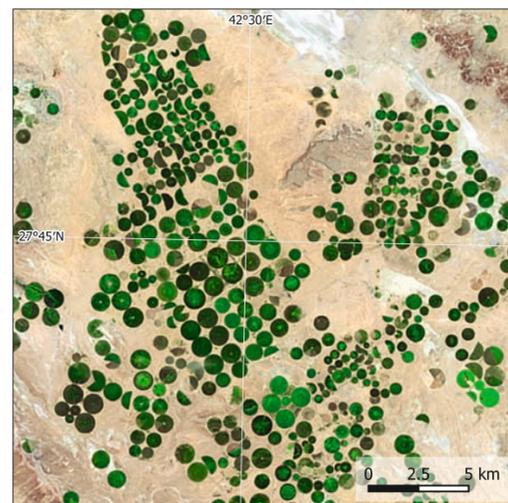
Famosa per le sue estese serre, il cosiddetto Mar de Plástico. La regione ha un clima mediterraneo secco e mite ed è ulteriormente protetta a nord dalle montagne della Sierra de Gador. Con poco più di 200 mm di precipitazioni annuali, l'agricoltura si basa sulle acque sotterranee, alimentate dall'acqua della Sierra adiacente.

Con una superficie di 30.000 ettari, la regione ha subito cambiamenti significativi, ben visibili nelle immagini satellitari. Importante protagonista dell'economia spagnola, il Mar de Plástico sostiene oltre 40.000 posti di

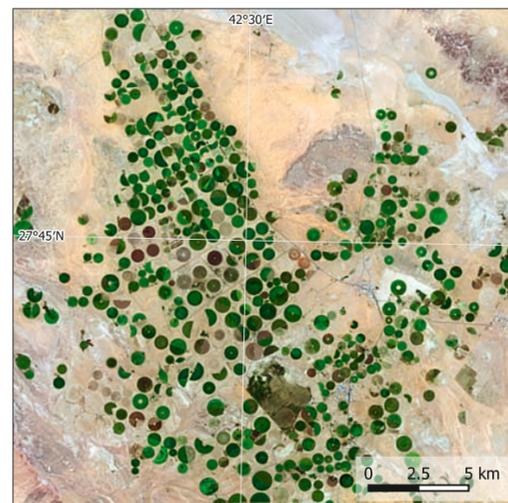
lavoro. La maggior parte dei produttori sono aziende a conduzione familiare con superfici di circa 1-1,5 ettari. Si coltivano soprattutto ortaggi (ad esempio, pomodori) in un terreno sabbioso artificiale. Lo sviluppo del Mar de Plástico ha impatti diversi. Il paesaggio sociale è in evoluzione, con dinamiche occupazionali e strutture comunitarie mutevoli, in parte legate alla migrazione illegale. Contemporaneamente, emergono considerazioni di carattere ecologico, tra cui i modelli di utilizzo dell'acqua e le preoccupazioni per il deflusso di sostanze chimiche, che spingono ad approfondire l'analisi del delicato equilibrio tra progresso e sostenibilità ambientale.



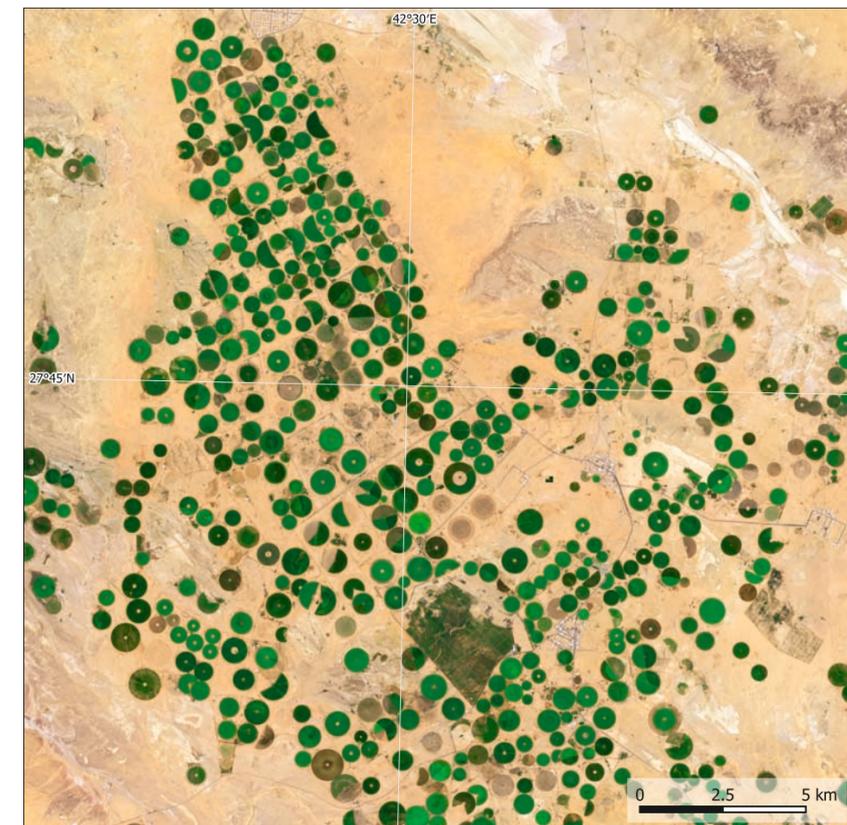
5. Primi campi di irrigazione a perno centrale nei pressi di Ha'il, Arabia Saudita, nel 1985. Dati: Landsat 5, 15/04/1985.



6. Fino al 1995, il numero di campi irrigati è cresciuto in modo significativo. In questo periodo, l'esportazione di grano ha raggiunto il suo massimo. Dati: Landsat 5, 27/04/1995.



7. Dopo il 1995, l'intensità della coltivazione è diminuita a causa della situazione economica e dei problemi di salinizzazione. Dati: Landsat 5, 18/04/2015.



Agricoltura del deserto – Ha'il, Arabia Saudita

L'Arabia Saudita è uno dei Paesi più aridi del mondo ed è per lo più coperta da deserti. L'ambiente desertico va di pari passo con una densità di popolazione relativamente bassa. L'economia del Paese dipende in gran parte dall'esportazione di combustibili fossili (petrolio e gas), ma l'Arabia Saudita esporta anche grano. Con l'eccezione delle oasi, l'agricoltura in Arabia Saudita si è basata principalmente sull'agricoltura estensiva. Con lo sfruttamento dei giacimenti di acque sotterranee fossili per l'irrigazione è stato possibile intensificare la produzione di grano e di altre colture.

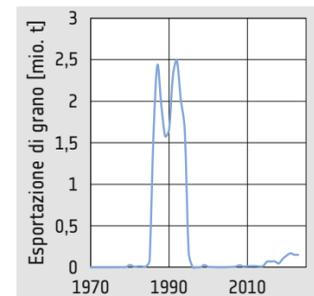
L'area intorno alla città di Ha'il si trova al di sopra di un'ampia falda acquifera che è stata sfruttata con crescente intensità a partire dagli anni Settanta. Mentre le tecniche applicate inizialmente portavano all'evaporazione di gran parte dell'acqua e a una significativa salinizzazione del suolo, i metodi utilizzati oggi sono più adatti all'ambiente. Tuttavia, l'uso di acque sotterranee fossili terminerà una volta esaurite le falde acquifere.

Le immagini satellitari mostrano un buon contrasto tra la vegetazione e il deserto circostante, come dimostrano i numerosi campi di irrigazione a perno. Sono molto adatte a monitorare lo sviluppo dei campi irrigati e lo stato delle colture. Ciò consente di utilizzare i dati per l'agricoltura di precisione, in quanto permettono di capire dove è necessario ottimizzare l'apporto di acqua e fertilizzanti.

8. Situazione dei campi di irrigazione nei pressi di Ha'il, Arabia Saudita, nel 2023. Dati: Sentinel-2, 26/04/2023.



9. L'indice NDVI (normalised difference vegetation index) aiuta a monitorare lo stato delle colture.



10. Sviluppo dell'esportazione di grano dall'Arabia Saudita.



1. Campo Novo de Rondônia, Brasile, 28/06/1991. L'immagine ripresa da Landsat 5 mostra le strutture a "liscia di pesce" durante la fase iniziale della deforestazione.

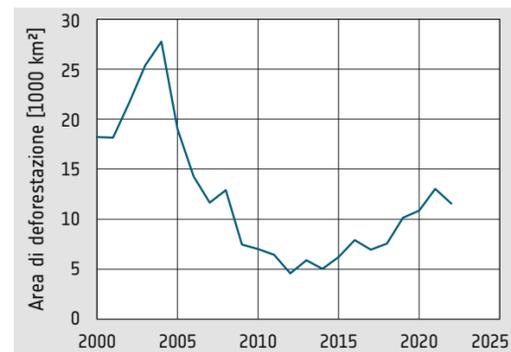


2. Campo Novo de Rondônia, Brasile. Vista aerea degli incendi durante la deforestazione.

Rondônia, Brasile

Rondônia è uno degli Stati del Brasile, situato nella parte sud-occidentale del bacino amazzonico. Lo Stato ha visto un aumento della popolazione da circa 40.000 abitanti nel 1950 a più di 1,8 milioni nel 2021. Questo sviluppo è andato di pari passo con un cambiamento nella copertura vegetale. In origine quasi il 90% della superficie era coperto dalla foresta pluviale. Ormai è diventato uno degli esempi più noti di deforestazione nel bacino amazzonico. Circa un terzo dell'area è ancora coperto da foreste.

Le mappe satellitari mostrano lo sviluppo intorno a Campo Novo de Rondônia, che nel 2020 contava 14.200 abitanti. La serie di immagini mostra come la deforestazione sia iniziata con la costruzione di strade, lungo le quali i coloni iniziano a disboscare le foreste per ottenere terreni agricoli. Solo nella parte meridionale dell'area riportata nelle mappe satellitari sono rimaste delle foreste: si tratta di una parte del Territorio Indigeno Uru-Eu-Uaw-Uaw, istituito dal governo brasiliano per proteggere la popolazione indigena. Il primo contatto con una delle tribù che vivono qui, gli Uru-Eu-Uaw-Uaw, è avvenuto nel 1981.



3. Area disboscata in Brasile all'anno.



4. Campo Novo de Rondônia nel 1984. Linea gialla: confine del Territorio Indigeno Uru-Eu-Uaw-Uaw. Dati: Landsat 5, 24/06/1984.



5. Campo Novo de Rondônia nel 2010. Ampie zone dell'area sono state disboscate per sviluppare terreni agricoli. Dati: Landsat 5, 15/05/2010.



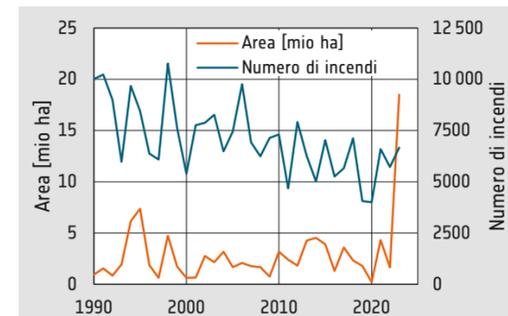
6. Campo Novo de Rondônia nel 2023. La maggior parte della foresta nel nord è stata rimossa, solo nel territorio indigeno di Uru-Eu-Uaw-Uaw è rimasta un'area forestale ampia e per lo più omogenea. Dati: Sentinel-2, 07/10/2023.



Columbia Britannica, Canada

Gli incendi boschivi sono un problema ricorrente nella provincia canadese della British Columbia. Gli incendi boschivi si verificano quando la vegetazione, le condizioni di siccità e altri fattori si combinano, dando origine a fiamme incontrollate che si diffondono in vaste aree. Nel 2023, gli incendi forestali in Canada durante la prima metà dell'anno hanno interessato un'area di 48.000 km², rispetto all'area di 21.000 km² bruciata durante un anno medio. Si presume che il cambiamento climatico abbia giocato un ruolo significativo, creando condizioni più calde e secche che aumentano il rischio di accensione e diffusione degli incendi. Anche i fulmini e le attività umane, come i falò e la negligenza, sono stati fattori che hanno contribuito.

Gli impatti degli incendi boschivi sono di vasta portata. Rappresentano una minaccia per gli habitat della fauna selvatica, degradano la qualità dell'aria e danneggiano i bacini idrici. Le particelle rilasciate nell'aria possono viaggiare per migliaia di chilometri. Gli incendi boschivi colpiscono le comunità locali, interrompono i trasporti e hanno un impatto sull'economia, in particolare sull'industria del legname.



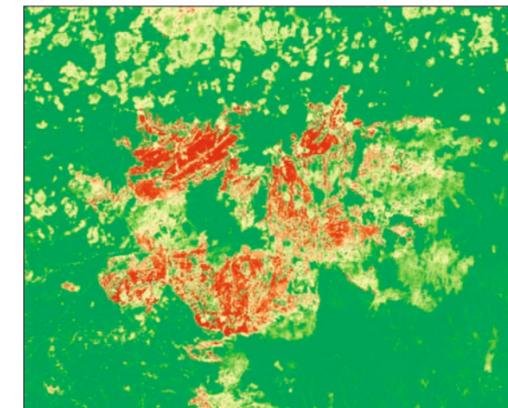
7. Numero di incendi boschivi e area bruciata all'anno in Canada. Nel 2023 l'area bruciata è aumentata drasticamente.



10. Visualizzazione a colori reali di un incendio boschivo nella Columbia Britannica. Dati: Sentinel-2, 07/06/2023.



8. Immagine di dettaglio all'infrarosso in falsi colori di un fronte di fuoco nella British Columbia. Dati: Sentinel-2, 18/05/2023.



9. Indice di area bruciata di un incendio boschivo nella Columbia Britannica. Dati: Sentinel-2, 07/06/2023.



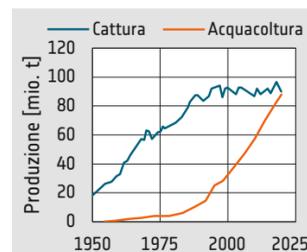
11. Immagine all'infrarosso in falsi colori con penetrazione del fumo di un incendio boschivo nella Columbia Britannica. Dati: Sentinel-2, 07/06/2023.



12. Gli incendi boschivi di grandi dimensioni possono essere molto difficili da combattere.



1. Immagine satellitare panoramica della costa meridionale della Baia di Bohai che mostra le aree di acquacoltura lungo la costa. I colori del mare mostrano un elevato carico di sedimenti nelle acque poco profonde. Dati: Sentinel-2, 29/04/2023.



Acquacoltura – Baia di Bohai

L'acquacoltura globale è aumentata costantemente nel corso degli anni, producendo pesci, gamberi, cozze e piante acquatiche. La produzione globale ha raggiunto quasi 90 milioni di tonnellate nel 2020 (FAO), la metà della produzione totale di pesce per il consumo umano. I principali Paesi produttori di acquacoltura sono Cina, India, Indonesia, Vietnam, Bangladesh e Norvegia. Questa industria fornisce mezzi di sussistenza a milioni di persone ed è una fonte vitale di cibo e reddito.

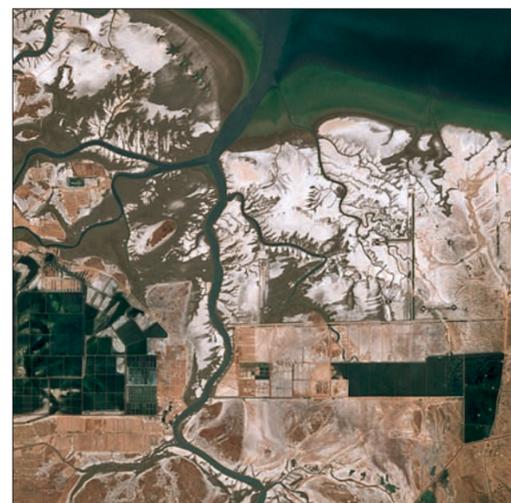
L'acquacoltura è un importante contributo all'economia della regione della Baia di Bohai, con la Cina che è il più grande produttore di frutti di mare d'allevamento al mondo. Compresa le alghe, nel 2020 la Cina ha prodotto oltre 64 milioni di tonnellate di frutti di mare d'allevamento. La Baia di Bohai è circondata da vaste aree costiere pianeggianti adatte all'acquacoltura, con allevamenti che vanno dalle piccole operazioni tradizionali alle grandi imprese commerciali.

2. La crescita della domanda e la riduzione delle risorse naturali hanno portato a uno spostamento della produzione dalla pesca di cattura all'acquacoltura.

3. L'immagine radar satellitare della costa meridionale della Baia di Bohai mostra l'uso intensivo del territorio in un mix di insediamenti, agricoltura e acquacoltura. Le attività offshore, come i pescherecci e i parchi eolici, appaiono come punti luminosi nel mare. Dati: Sentinel-1, 26/04/2023.



4. Costa meridionale della Baia di Bohai nel 2007. L'uso del suolo è cambiato in modo significativo. Dati: Landsat 5, 05/05/2007.



5. Sezione della costa meridionale della Baia di Bohai durante la fase iniziale delle attività di acquacoltura nel 1989, che mostra le estese pianure di fango della zona intertidale originale. Dati: Landsat 5, 17/05/1989.



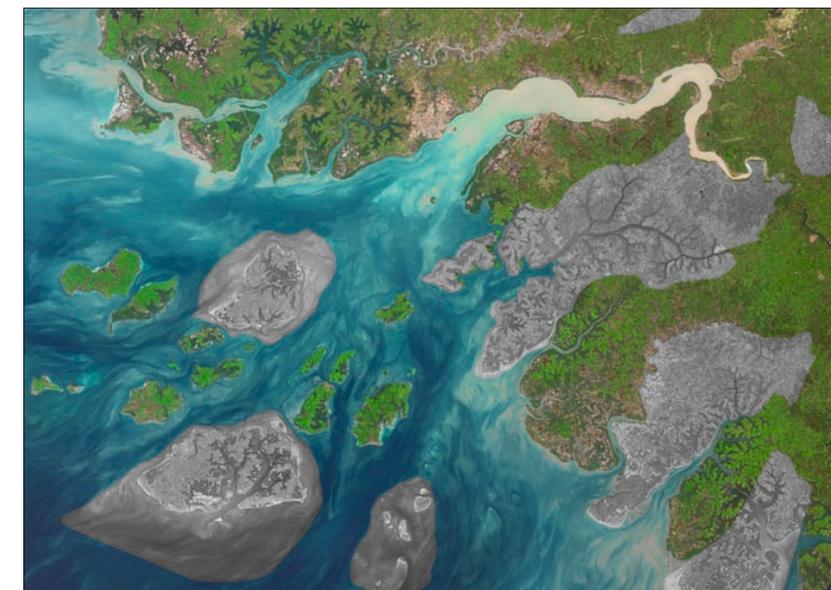
6. Ilha de Orango, arcipelago di Bissago, durante l'alta marea. Dati: Sentinel-2, 24/04/2023.



7. Ilha de Orango durante la bassa marea. Sono visibili estese pianure di fango. Dati: Sentinel-2, 14/04/2023.

Protezione della natura

La protezione della natura è importante per preservare la biodiversità e mantenere la salute degli ecosistemi. Una protezione efficace della natura richiede sforzi di collaborazione a livello locale, nazionale e internazionale. Ciò comporta l'attuazione di politiche che bilanciano la conservazione con le esigenze socioeconomiche, il coinvolgimento delle parti interessate e la sensibilizzazione sull'importanza della conservazione della biodiversità. In questi compiti, i satelliti sono diventati uno strumento importante. Ciò risulta evidente quando si considerano habitat unici come le mangrovie e le regioni alpine. Le mangrovie sono ecosistemi costieri vitali e fungono da vivaio per la vita marina, proteggono dall'erosione costiera e immagazzinano carbonio. Sono minacciate da attività umane come l'urbanizzazione, l'acquacoltura e l'inquinamento. Gli sforzi di conservazione si concentra-



9. L'immagine a infrarossi in falsi colori mostra le mangrovie in rosso scuro. Dati: Sentinel-2, 24/04/2023.

Categoria dell'area protetta	
Parco nazionale terrestre	Parco nazionale marino
Sito Ramsar (zona umida)	Area marina protetta comunitaria
Riserva forestale	Area di pesca riservata
Corridoio migratorio per la fauna	UNESCO Riserva della biosfera

8. Aree naturali protette della costa di Bissago. Dati: Sentinel-2, 24/04/2023.



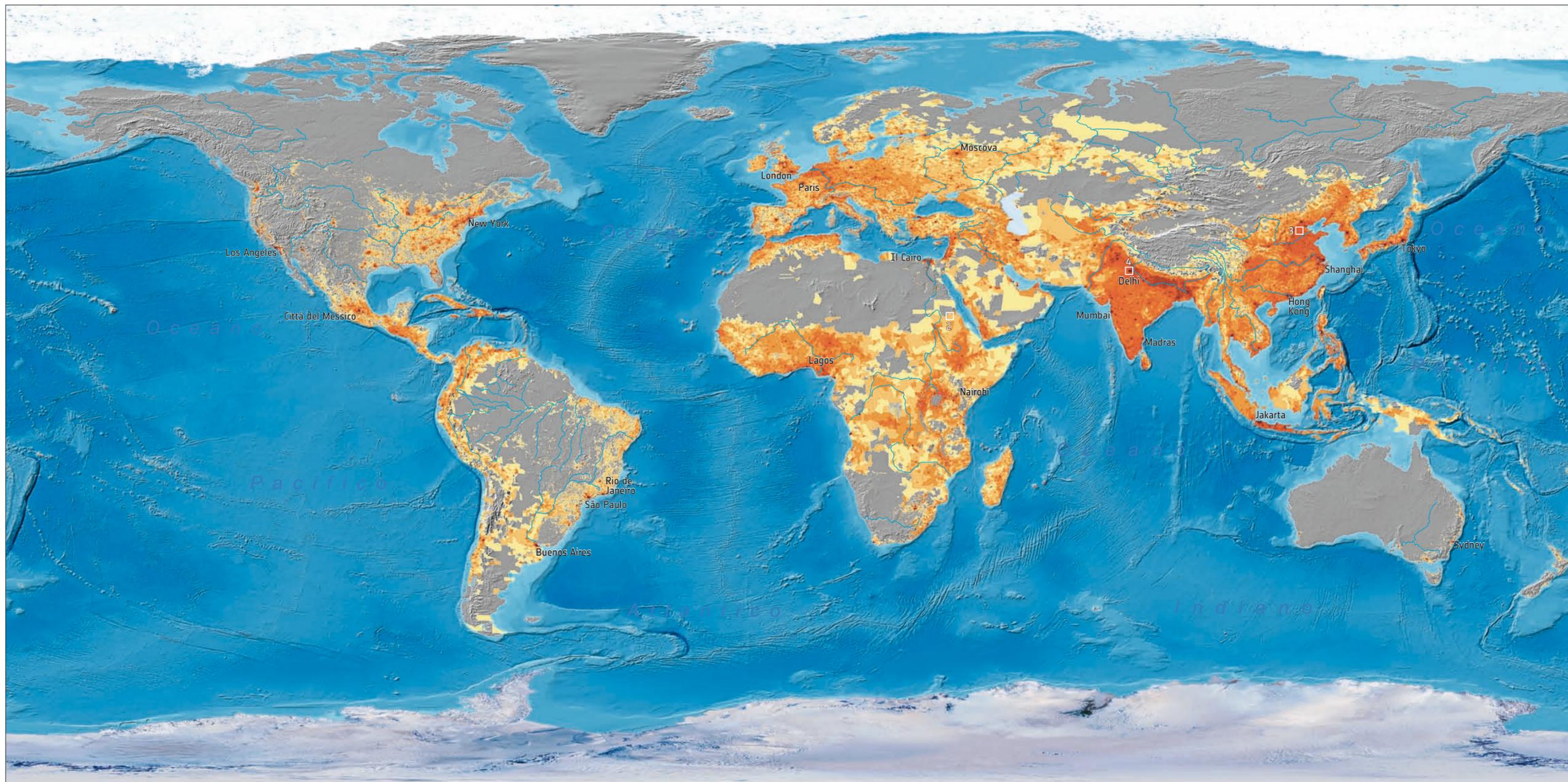
10. Vista della piana intertidale lungo la costa di Bissago.



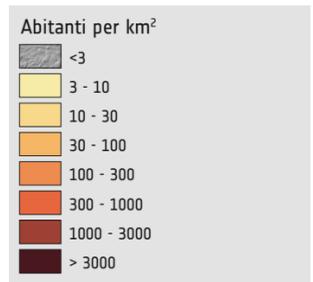
11. Vista sul Grossglockner, la vetta più alta del Parco Nazionale degli Alti Tauri.

12. Il Parco Nazionale degli Alti Tauri, in Austria, si estende sulle zone alpine del Paese. Data: Sentinel-2, 2023.

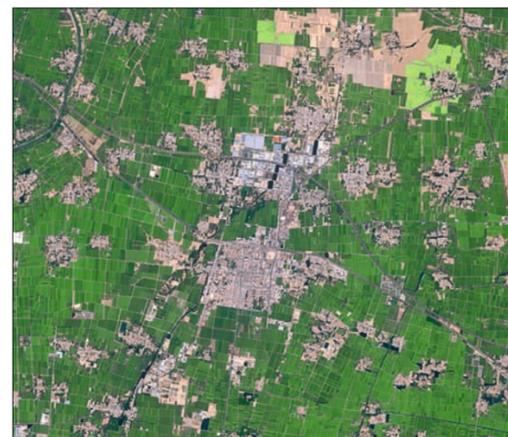
no sulla creazione di aree protette, sul ripristino degli habitat degradati e sul coinvolgimento delle comunità locali in pratiche di gestione sostenibile. Gli habitat alpini, con la loro biodiversità e le loro funzioni di regolazione delle acque, sono sotto pressione a causa dei cambiamenti climatici, del turismo e dei cambiamenti nell'uso del suolo. Le iniziative di conservazione mirano a preservare gli ecosistemi creando zone protette e promuovendo procedure economiche sostenibili.



1. Densità della popolazione (Dati: Gridded Population of the World, 2020).



2. Derudeb, Sudan. Dati: Sentinel-2, 13/04/2024. Densità di popolazione 3-10 abitanti per km².



3. Longhuazhen, Cina. Dati: Sentinel-2, 18/04/2024. Densità di popolazione 100-300 abitanti per km².

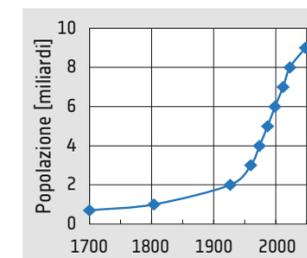


4. Delhi, India. Dati: Sentinel-2, 19/03/2024. Densità di popolazione > 3.000 abitanti per km².

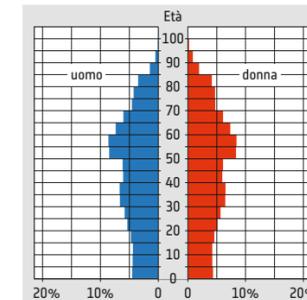
Distribuzione e crescita della popolazione

La popolazione umana della Terra è distribuita in modo molto disomogeneo. Grandi aree sono quasi prive di abitanti, soprattutto i deserti, le regioni polari e le fitte foreste. Ciò è in netto contrasto con le regioni densamente popolate, come ad esempio la Cina orientale, il delta del Gange in India e l'Europa occidentale.

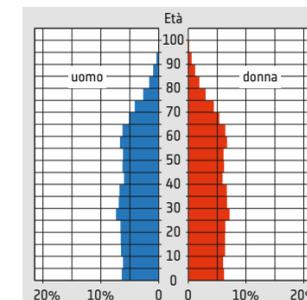
La popolazione mondiale è aumentata enormemente, soprattutto negli ultimi 100 anni. Mentre molte società sulla Terra ristagnano e invecchiano, ci sono società giovani che crescono rapidamente. La maggior parte degli scenari demografici indica che nei prossimi decenni si raggiungerà un numero massimo di 10-11 miliardi di esseri umani.



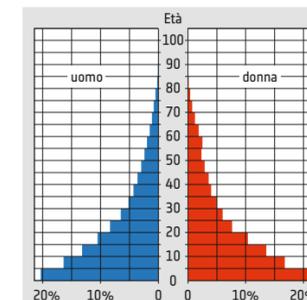
6. Evoluzione della popolazione globale (in miliardi) dal 1700. I punti indicano gli anni in cui è stato raggiunto il miliardo di abitanti.



5a. Piramide della popolazione, Germania 2022.



5b. Piramide della popolazione, Stati Uniti d'America 2021.



5c. Piramide della popolazione, Niger 2021.



1. Niamey, Niger, nel 1984. Dati: Landsat 4, 13/10/1984.

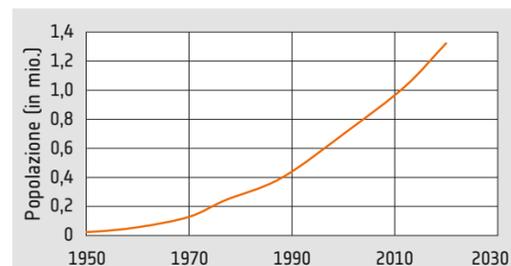


2. Niamey, Niger, nel 2023. L'area della città è aumentata in modo significativo, accompagnata dallo sviluppo di grandi progetti infrastrutturali. Dati: Sentinel-2, 17/02/2023.

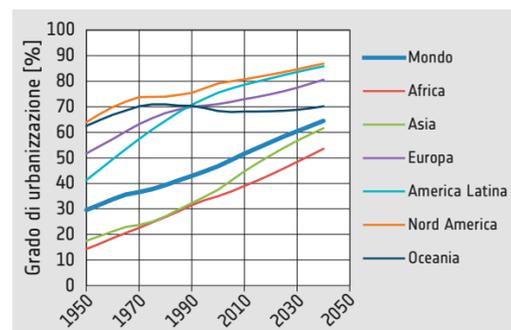
Niamey, Niger

Niamey, la capitale del Niger, ha visto un notevole sviluppo demografico nel corso degli anni. Situata sulle rive del fiume Niger, la città è cresciuta in modo significativo da quando il Niger ha ottenuto l'indipendenza nel 1960. All'inizio del secolo, era diventata una delle città a più rapida crescita dell'Africa.

Diversi fattori hanno contribuito al boom demografico di Niamey, tra cui il miglioramento dei servizi sanitari e delle opportunità educative. Il fattore più importante è la migrazione dalle campagne alle città. Questi fattori hanno aumentato la popolazione complessiva della città e hanno influenzato anche la struttura dell'età, con un'età media di 21 anni. Questa popolazione giovane è una risorsa per lo sviluppo della città, in quanto offre forza lavoro e potenziale di innovazione. Tuttavia, presenta anche enormi sfide in termini di istruzione, occupazione e assistenza sanitaria.



3. Niamey. Evoluzione del numero di abitanti dal 1900. Si noti il forte aumento a partire dalla metà del XX secolo.



4. Sviluppo registrato e previsto del grado di urbanizzazione in diverse parti del mondo.



5. Il ponte di Niamey che attraversa il fiume Niger, uno dei progetti infrastrutturali della città.



Sviluppo della città in Cina

La città di Suqian si trova nella provincia di Jiangsu, nella Cina orientale, ed è un tipico esempio del rapido sviluppo e della crescita urbana di questo Paese. Le radici di Suqian risalgono all'antichità, quando fungeva da nodo di trasporto lungo il Grande Canale, che collegava la Cina settentrionale a quella meridionale. Nel corso dei secoli, si è evoluta in un centro regionale per il commercio e gli scambi.

Negli ultimi decenni, Suqian ha vissuto un boom economico, che si riflette nei cambiamenti di uso del suolo visibili nelle immagini satellitari. Il prodotto interno lordo (PIL) è passato da 1 miliardo di euro nel 2000 a oltre 30 miliardi di euro nel 2020. Questa crescita è stata trainata dagli investimenti nell'industria, nell'agricoltura e nella tecnologia, con valori di esportazione annuali che superano i 20 miliardi di euro. La posizione strategica della città, le eccellenti infrastrutture e le politiche favorevoli alle imprese hanno attirato oltre 10.000 imprese nazionali e internazionali.

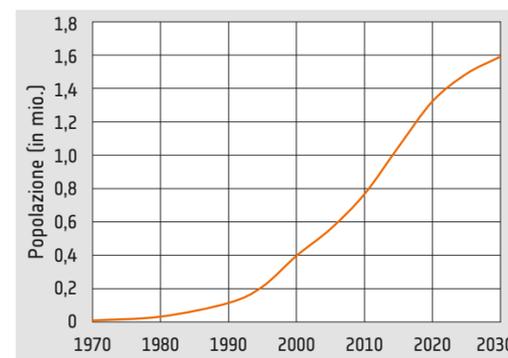
Suqian si è impegnata nello sviluppo sostenibile e nelle iniziative ecologiche, tra cui la creazione di una copertura forestale di oltre 800 chilometri quadrati e l'adozione di fonti di energia rinnovabili, che soddisfano il 30% del suo fabbisogno energetico. Gli sforzi di pianificazione urbana hanno già portato a una riduzione dei livelli di inquinamento e a un aumento degli spazi verdi.



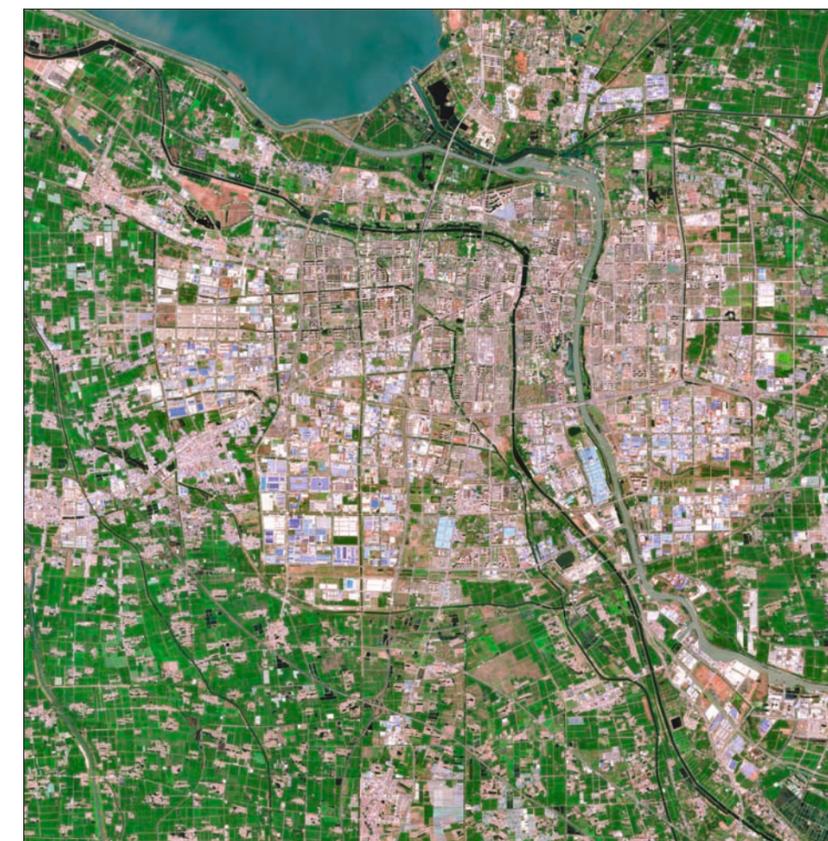
8. Suqian, Cina, nel 1987. Dati: Landsat 4, 21/04/1987.



6. Vista di Suqian.



7. Suqian. Evoluzione dei dati sulla popolazione dal 1970. La rapida crescita è iniziata con l'apertura della Cina dopo il 1990.



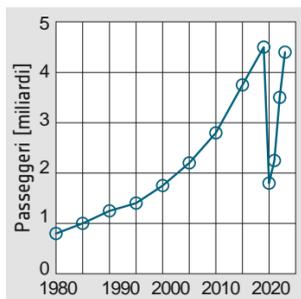
9. Suqian, Cina, nel 2023. Dati: Sentinel-2, 16/04/2023.



1. Mappa panoramica dell'immagine satellitare del Bosforo e di Istanbul, in Turchia. Dati: Sentinel-2, 23/07/2023.

Nuovo aeroporto di Istanbul

Inaugurato nel 2019, il Nuovo aeroporto di Istanbul è diventato rapidamente l'aeroporto più trafficato d'Europa in termini di traffico passeggeri, con oltre 64 milioni di passeggeri nel 2022. La costruzione del Nuovo Aeroporto di Istanbul è stata un'enorme impresa finanziaria, costata oltre 10 miliardi di euro.



2. Negli ultimi decenni, il numero globale di passeggeri dei voli ha registrato un aumento significativo. Una breve interruzione di questo sviluppo è stata causata dalla pandemia di Covid-19 del 2020/22.

3. Veduta aerea del nuovo aeroporto Istanbul Havalimani, guardando verso ovest.



4. Regione a nord-ovest di Istanbul, Turchia. Immagine satellitare a colori reali che mostra le foreste e i terreni agricoli prima della costruzione del nuovo aeroporto. Dati: Landsat 5, 18/09/2010.



5. Cantiere del nuovo aeroporto di Istanbul nel 2017. Immagine satellitare a colori reali che evidenzia l'entità dei lavori di costruzione. Dati: Sentinel-2, 24/07/2017.



6. Aeroporto di Istanbul, Turchia, nel 2023. Mappa dell'immagine satellitare a colori reali. Dati: Sentinel-2, 23/07/2023.

L'aeroporto è stato progettato per il lungo periodo, con una capacità potenziale di servire più di 200 milioni di passeggeri all'anno una volta raggiunto il pieno funzionamento. Ciò lo rende uno degli aeroporti più trafficati al mondo, evidenziando il ruolo di Istanbul come importante centro di viaggi e commercio globale. Si prevede che il Nuovo Aeroporto di Istanbul avrà una profonda influenza economica e contribuirà in modo sostanziale al PIL della Turchia. Inoltre, genererà migliaia di opportunità di lavoro dirette e indirette.

La mappa satellitare mostra l'enorme impatto dell'aeroporto sul paesaggio. Situato a circa 30 chilometri a nord-ovest del centro città, il nuovo aeroporto ha sostituito foreste e terreni agricoli su un'area di quasi 40 chilometri quadrati. Inoltre, la rete stradale che serve l'aeroporto è stata notevolmente potenziata.



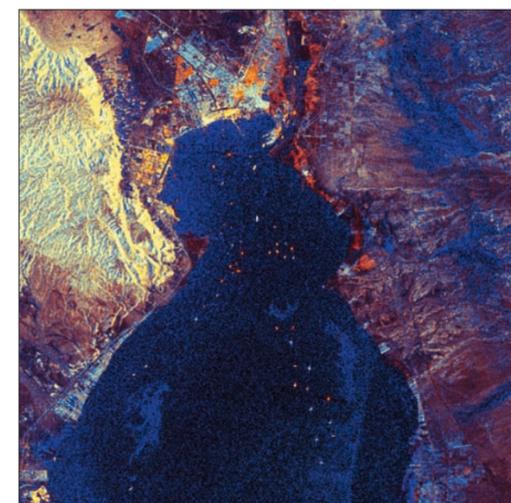
Canale di Suez, Egitto

Il Canale di Suez è una via d'acqua artificiale che collega il Mar Mediterraneo al Mar Rosso. Aperto nel 1869, il canale ha accorciato drasticamente la rotta marittima tra Europa e Asia, permettendo alle navi di evitare il lungo e pericoloso viaggio intorno all'Africa. La posizione strategica del canale lo ha reso un collegamento vitale tra l'Oriente e l'Occidente, contribuendo in modo significativo al commercio globale.

Nel marzo 2021, la Ever Given, una nave portacontainer di 400 metri di lunghezza e in grado di trasportare oltre 20.000 container, si è incagliata nella sezione meridionale del canale a causa delle condizioni meteorologiche avverse. Questo ha portato alla chiusura temporanea del canale, causando una significativa interruzione delle catene di approvvigionamento globali. I satelliti ottici e radar hanno ripreso la Ever Given, che ha bloccato l'intero canale, e l'ingorgo causato dall'incidente per le navi in attesa agli ingressi del canale.



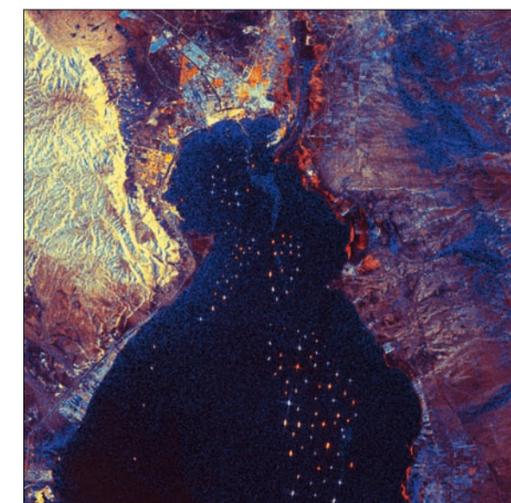
7. Suez, Egitto, con l'estremità meridionale del Canale di Suez, 29/03/2021. L'immagine satellitare a colori reali mostra la nave portacontainer Ever Given bloccata nel canale, bloccando tutto il traffico. Dati: Sentinel-2.



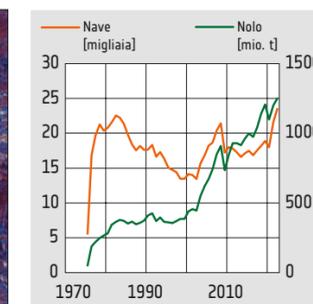
8. Immagine radar di Suez, Egitto, con l'estremità meridionale del Canale di Suez il 21/03/2021. L'immagine mostra il normale traffico attraverso il canale e solo poche navi in attesa. Dati: Sentinel-1.



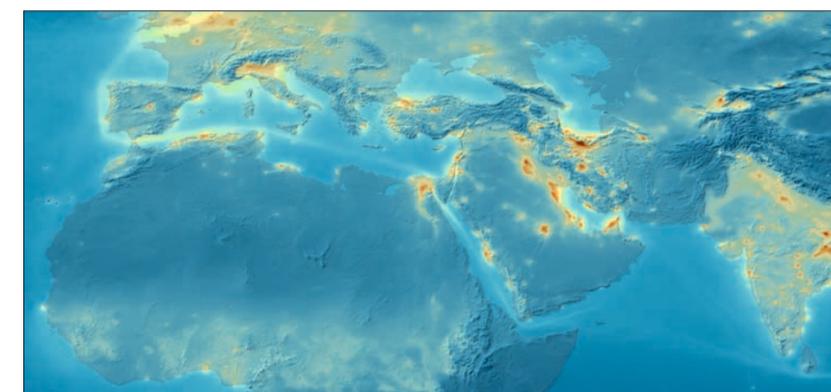
11. La Ever Given, una nave portacontainer della compagnia di navigazione Evergreen. Con i suoi quasi 400 metri di lunghezza, è una delle navi portacontainer più grandi del mondo e può trasportare più di 20.000 container standard.



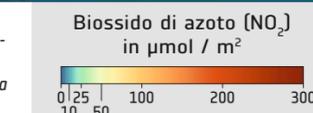
9. Immagine radar di Suez, Egitto, con l'estremità meridionale del Canale di Suez il 27/03/2021. Si è creato un ingorgo a causa del blocco del canale. Dati: Sentinel-1.



10. La crescente importanza del traffico internazionale si riflette nello sviluppo del trasporto di merci attraverso il Canale di Suez. Allo stesso tempo, il numero di navi che passano per il canale è cambiato molto meno, perché sono state utilizzate navi più grandi.



12. Concentrazione di NO₂ nella regione mediterranea, misurata dal sensore TROPOMI a bordo di Sentinel-5P. NO₂ è prodotto dai processi di combustione nell'industria e nel traffico. I gas di combustione delle navi sono visibili come una debole banda di NO₂ che circonda la penisola iberica e prosegue fino al Canale di Suez.





1. Lavori di costruzione lungo il Rio Xingu vicino ad Altamira nel 2015. Dati: Landsat 5, 15/07/2015.

Energia idroelettrica – Diga di Belo Monte, Brasile

La centrale di Belo Monte, nello stato brasiliano del Pará, è una delle più grandi centrali idroelettriche del mondo. La sua costruzione è iniziata nel 2011 ed è stata completata nel 2019. La centrale utilizza l'acqua del fiume Xingu, un importante affluente del Rio delle Amazzoni. La capacità totale installata di oltre 11.000 megawatt (MW) è sufficiente a fornire elettricità a oltre 60 milioni di persone. La centrale dispone di 18 unità di generazione di energia, ciascuna con una capacità di 611 MW.

La costruzione della centrale di Belo Monte è stata molto controversa. Ambientalisti e gruppi indigeni hanno espresso preoccupazione per l'impatto della centrale sull'ecosistema locale e sui mezzi di sussistenza delle popolazioni indigene della zona. La costruzione della centrale ha comportato l'inondazione di una vasta area forestale e lo sfollamento di migliaia di persone. Inoltre, il cambiamento del regime idrico ha avuto un impatto sull'ecosistema del Rio Xingu al di sotto della diga.

Nonostante queste preoccupazioni, il governo brasiliano ha difeso la costruzione della centrale di Belo Monte come necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico del Paese e promuovere lo sviluppo economico. La centrale è stata anche promossa come un modo per ridurre la dipendenza del Brasile dai combustibili fossili e per contribuire a combattere il cambiamento climatico.



5. Vista della centrale elettrica di Belo Monte durante la costruzione.



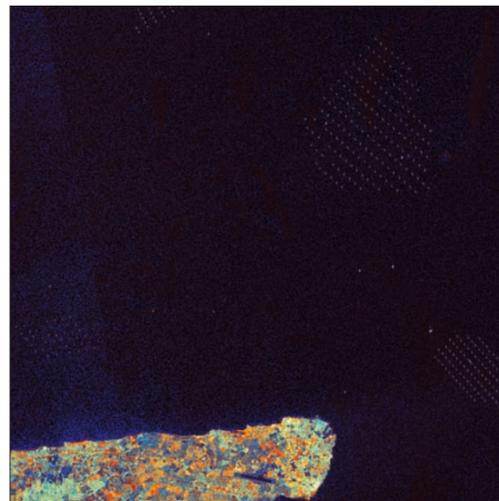
2. Il Rio Xingu vicino ad Altamira nel 2011. Immagine satellitare a colori reali che mostra le foreste e i terreni agricoli prima della costruzione della diga. Dati: Landsat 5, 27/07/2011.



3. Rio Xingu vicino ad Altamira dopo il completamento della diga. Immagine satellitare a colori reali che mostra corpi idrici, foreste e terreni agricoli. Dati: Sentinel-2, 28/07/2017.



4. Rio Xingu vicino ad Altamira dopo il completamento della diga. La sovrapposizione mostra le nuove superfici d'acqua (blu) e i corsi d'acqua caduti in secca (verde chiaro). Immagine satellitare a colori reali. Dati: Sentinel-2, 28/07/2017.



6. Immagine radar dei parchi eolici nell'estuario del Tamigi. Dati: Sentinel-1, 02/03/2024.

Raccolta di energia eolica sul mare

L'estuario del Tamigi, situato nel sud-est dell'Inghilterra, è diventato un sito importante per l'installazione di parchi eolici offshore. Questi parchi eolici sfruttano le forti e costanti correnti di vento presenti nell'estuario.

La vicinanza a zone densamente popolate come Londra garantisce una distribuzione efficiente dell'elettricità generata, riducendo al minimo le perdite di trasmissione. In secondo luogo, la posizione offshore riduce l'inquinamento visivo e acustico rispetto ai parchi eolici onshore. I parchi eolici offshore contribuiscono agli obiettivi di energia rinnovabile, aiutando a ridurre le emissioni di carbonio e a combattere il cambiamento climatico. Lo sviluppo di parchi eolici nell'estuario del Tamigi pone anche delle sfide, tra cui il potenziale impatto sugli ecosistemi marini e sugli habitat della fauna selvatica.



9. La regione a sud della città di Lipsia è stata interessata da un'intensa attività di estrazione della lignite a cielo aperto, che ha modellato il paesaggio. Alcune parti delle ex aree minerarie sono state ricoltivate e trasformate in zone ricreative. Sentinel-2, 27/05/2017.



7. Immagine satellitare panoramica dell'estuario del Tamigi con i suoi parchi eolici offshore. Dati: Sentinel-2, 07/07/2023.

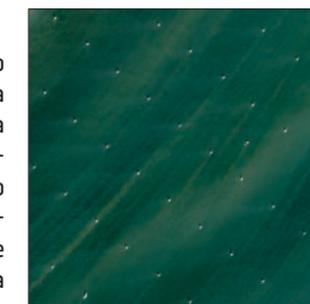
Dalla lignite all'energia solare

Situato nello stato della Sassonia, il parco solare vicino a Böhlen (Solarpark Böhlen) sfrutta la luce solare della regione per generare elettricità pulita e sostenibile. La centrale solare, la più grande del suo genere in Germania, comprende pannelli fotovoltaici (PV) che convertono la luce solare direttamente in energia elettrica. L'impianto si estende su circa 100 ettari di terreno e ospita oltre 300.000 pannelli fotovoltaici. Con una capacità installata totale di oltre 100 megawatt (MW), questo impianto può generare elettricità pulita sufficiente ad alimentare oltre 30.000 abitazioni all'anno.

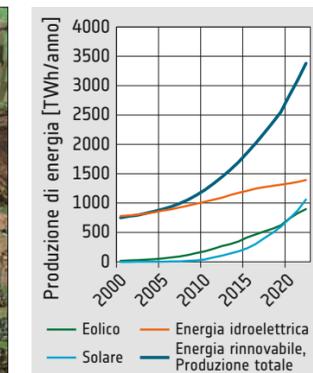
L'installazione dell'impianto solare vicino a Böhlen è in linea con gli ambiziosi obiettivi tedeschi di *Energiewende* (transizione energetica), che mirano ad abbandonare i combustibili fossili a favore delle fonti rinnovabili.



10. Una parte dell'area di un'ex miniera di lignite ospita oggi una centrale solare (Solarpark Böhlen), mentre altre parti sono utilizzate come aree ricreative. Dati: Sentinel-2, 28/01/2024.



8. Dettaglio dell'immagine Sentinel-2 del parco eolico London Array. Le correnti di marea smuovono i sedimenti.



11. La produzione globale di energia elettrica da fonti rinnovabili, in particolare da energia eolica e solare, è in rapida crescita.

GLOSSARIO

A

acqua dolce - Acqua liquida o congelata contenente basse concentrazioni di sali e altri solidi disciolti.

acquacoltura - Coltivazione di organismi acquatici, vale a dire l'allevamento, la crescita e la raccolta di pesci, crostacei e piante acquatiche.

acquatico - legato all'acqua.

aerosol - Colloide di particelle solide o liquide sospese in un gas (ad es. fumo, nebbia).

albedo - Rapporto tra la radiazione solare assorbita riflessa da un oggetto e la radiazione solare entrante incidente su di esso.

altimetro - Strumento attivo utilizzato per misurare l'altitudine di un satellite al di sopra di un livello fisso. Unitamente alla conoscenza esatta dell'orbita, consente di determinare la topografia.

ampiezza - La grandezza dello spostamento di un'onda rispetto a un valore medio. Per un'onda armonica semplice, è lo spostamento massimo rispetto alla media.

apogeo - Punto dell'orbita ellittica di un satellite in cui la sua distanza dalla Terra è massima.

Ariane - Veicoli di lancio sviluppati per l'ESA da una filiale della Società europea per la difesa aeronautica e lo spazio (EADS) e lanciati dal centro spaziale di Kourou, nella Guyana francese.

arido - Secco. Un sottotipo di clima in cui vi è un forte eccesso di evaporazione rispetto alle precipitazioni.

ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*) - un sensore radar sul satellite ENVISAT che opera in banda C.

assorbimento - Processo in cui l'energia radiante viene trattenuta da una sostanza.

ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) - Strumento di imaging presente su Terra della NASA. ASTER viene utilizzato per ottenere mappe dettagliate della temperatura della superficie terrestre, dell'emissività, della riflettanza e dell'elevazione.

attenuazione - La diminuzione della potenza di un segnale in trasmissione. L'attenuazione può essere espressa in decibel e può essere causata da interferenze come pioggia, nuvole o segnali a radiofrequenza.

AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) - Strumento a scansione a cinque canali che misura quantitativamente la radiazione elettromagnetica sui satelliti ambientali NOAA. Determina la copertura nuvolosa e la temperatura superficiale. I rilevatori visibili e infrarossi osservano la vegetazione, le nuvole, i laghi, le coste, la neve e il ghiaccio.

azimut - La direzione, in gradi riferita al nord vero, in cui deve essere puntata un'antenna per ricevere un segnale satellitare. La distanza an-

golare si misura in senso orario.

B

backscatter - Processo attraverso il quale fino al 25% dell'energia radiante del sole viene riflessa o dispersa dalle nuvole lontano dalla superficie.

banda - Regione dello spettro elettromagnetico a cui risponde un sensore remoto; un sensore multispettrale effettua misurazioni in diverse bande spettrali.

Banda C - parte dello spettro elettromagnetico delle microonde compresa tra 500 MHz e 1000 MHz.

Banda Ku - Banda radar e microonde in cui le lunghezze d'onda variano tra 1,67 e 2,4 cm.

Banda S - Gamma di frequenze da 4 a 2 GHz (lunghezza d'onda da 7 a 20 cm) nella porzione dello spettro elettromagnetico a microonde (radar). I radar in banda S sono utilizzati per applicazioni meteorologiche a medio raggio, ad esempio per la misurazione delle precipitazioni.

banda spettrale - Segmento finito di lunghezze d'onda nello spettro elettromagnetico.

Banda X - Banda di frequenza radar tra 12,5 e 8 GHz (lunghezza d'onda 2,4-3,75 cm).

batimetria - Mappatura della topografia del fondo oceanico.

bilancio radiativo - Misura degli ingressi e delle uscite di energia radiativa relativa a un sistema, come la Terra.

biodiversità - diversità biologica, varietà di tutti gli esseri viventi e delle loro interazioni in un'area.

Biomass - Fa parte della missione Earth Explorer dell'ESA, creata per osservare e analizzare le foreste del mondo utilizzando la tecnologia radar.

biomassa - ecologia: massa totale di organismi biologici viventi in una determinata area o ecosistema; produzione di energia: massa biologica utilizzata come fonte di energia rinnovabile.

C

calibrazione - Atto che consiste nel confrontare l'accuratezza di misura di uno strumento con uno standard noto.

Cambiamento climatico - Variazione a lungo termine delle temperature e dei modelli meteorologici dovuta a effetti naturali o causati dall'uomo.

campo visivo - La gamma di angoli che vengono scansionati o rilevati da un sistema o da uno strumento, misurata in gradi d'arco.

carico utile - Gli strumenti che sono alloggiati su un veicolo spaziale.

clima - Condizioni meteorologiche medie per una determinata località in un lungo periodo di

tempo, ad esempio 30 anni.

clorofilla - Molecola presente nelle piante verdi che conferisce loro il colore. Permette alle piante di assorbire l'energia del sole durante il processo di fotosintesi.

colore dell'oceano - La capacità del fitoplancton di apparire di colori diversi in determinate bande dello spettro elettromagnetico a causa delle loro concentrazioni di clorofilla.

Copernicus (ex nome GMES, Global Monitoring for Environment and Security) - il programma di osservazione della Terra Copernicus dell'UE.

copertura del suolo - Le caratteristiche di una superficie terrestre determinate dalla sua firma spettrale (il modo unico in cui un determinato tipo di copertura del suolo riflette e assorbe la luce).

costante solare - La costante che esprime la quantità di radiazione solare che raggiunge la Terra dal sole, circa 1370 W/m².

CryoSat - satellite di ricerca dell'ESA che mappa la criosfera terrestre e raccoglie dati in particolare sul volume delle calotte glaciali nell'Artico e nell'Antartico (dal 2010).

D

declinazione - La distanza angolare dall'equatore al satellite.

deflusso - Drenaggio di acqua o di sostanze in essa trasportate dalla superficie di un'area.

degrado - Declino del valore di un ambiente biofisico dovuto a processi indotti dall'uomo.

delta - Foce fluviale di forma triangolare formata dai sedimenti trasportati dal fiume.

demografia - studio statistico delle popolazioni umane (dimensioni, composizione etnica, età) e dei loro cambiamenti.

diurno - In un ciclo giornaliero.

DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) - Programma satellitare meteorologico dell'Aeronautica Militare degli Stati Uniti con satelliti in orbita sincrona con il sole. Le immagini vengono raccolte nella banda del visibile e del vicino infrarosso (da 0,4 a 1,1 µm) e nella banda dell'infrarosso termico (da 8 a 13 µm circa) con una risoluzione di circa 3 km.

E

EAC - European Astronaut Centre, Colonia; struttura centrale dell'ESA per l'addestramento degli astronauti.

Earth Explorer - Una missione dell'ESA che fa parte del Living Planet Programme, che comprende le missioni satellitari che forniscono nuovi dati di osservazione sulla Terra.

EarthCARE - Missione spaziale programmata per la ricerca di aerosol e nuvole e del loro impatto sulle radiazioni nell'atmosfera terrestre, nell'ambito del programma Living Planet

dell'ESA. Data di lancio: 2024.

eccentricità *e* - Descrive la forma di un'orbita. L'orbita di un satellite è un'ellisse e l'eccentricità definisce la forma dell'ellisse. Quando *e* = 0, l'ellisse è un cerchio. Quando *e* si avvicina a 1, l'ellisse è molto lunga e sottile.

emissività - Rapporto tra la radiazione emessa da una superficie e quella emessa da un corpo nero alla stessa temperatura.

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) - Radiometro a scansione multispettrale a otto bande a bordo del satellite Landsat 7 che fornisce informazioni di imaging ad alta risoluzione della superficie terrestre.

Envisat (*Environmental Satellite*) - missione satellitare dell'ESA, 2002-2012; grande piattaforma di monitoraggio dei cambiamenti ambientali sulla terra e nell'atmosfera, missione scientifica per studiare le applicazioni di osservazione della Terra.

equatoriale - Regione vicina all'equatore.

erosione - Processi superficiali (ad esempio, flusso d'acqua o vento) che rimuovono suolo, roccia o materiale disciolto dalla crosta terrestre e lo trasportano in un altro luogo dove viene depositato.

ERS (*European Remote Sensing Satellite*) - due satelliti radar gestiti dall'ESA, dal 1991 al 2011, precursori di Sentinel-1.

ESA - Agenzia spaziale europea

ESOC - Centro operativo spaziale europeo

ESRIN - Istituto Europeo di Ricerca Spaziale

ESTEC - Centro europeo di ricerca e tecnologia spaziale

estensivo (agricoltura) - Sistema di produzione agricola che utilizza piccoli apporti di manodopera, fertilizzanti e capitale e che produce una piccola quantità di prodotti rispetto alla superficie coltivata.

F

Falso colore - Processo di imaging a colori che produce un'immagine di un colore che non corrisponde al colore vero o naturale della scena (come visto dai nostri occhi).

finestre atmosferiche - La gamma di lunghezze d'onda alle quali i gas atmosferici assorbono solo leggermente le radiazioni. Le finestre atmosferiche permettono alla radiazione terrestre di sfuggire nello spazio, a meno che le nuvole non assorbano la radiazione.

firma spettrale - Si riferisce alla forma particolare dello spettro di potenza calcolato a partire dai dati che compongono la serie temporale di un processo.

fitoplancton - Componenti vegetali della comunità del plancton che costituiscono una parte fondamentale degli ecosistemi oceanici e d'ac-

qua dolce.

fluviale - Relativo ai fiumi.

Frazione di radiazione fotosinteticamente attiva (FPAR) - Radiazione tra 400 e 700 nm utilizzata dalla chioma verde nel processo fotosintetico.

frequenza di ripetizione (periodo orbitale) - Tempo necessario a un satellite per completare un'orbita.

frequenza *f* - Numero di cicli e parti di cicli completati al secondo; *f* = 1/*T*, dove *T* è la durata di un ciclo in secondi.

G

Galileo - Sistema di navigazione satellitare europeo, composto da 30 satelliti su 3 orbite.

gas a effetto serra - Sostanze gassose presenti nell'atmosfera che influenzano le radiazioni e contribuiscono al riscaldamento dell'atmosfera terrestre, noto come effetto serra.

geocodifica - Un elemento della georeferenziazione, in cui i dati privi di georiferimento vengono tradotti nel sistema di riferimento desiderato.

geomorfologia - studio dell'origine e dell'evoluzione delle caratteristiche topografiche e batimetriche generate da processi che operano sulla superficie terrestre o in prossimità di essa.

geosincrono - Sincrono rispetto alla rotazione della Terra.

geostazionario - Descrive un'orbita in cui un satellite si trova sempre nella stessa posizione rispetto alla Terra in rotazione. Il satellite viaggia intorno alla Terra nella stessa direzione, a un'altitudine di circa 35.790 km, perché questo produce un periodo orbitale pari al periodo di rotazione della Terra. Viene utilizzato per i satelliti meteorologici e per la maggior parte dei satelliti commerciali per le telecomunicazioni.

GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) - Osserva gli Stati Uniti e le aree oceaniche adiacenti da punti di osservazione a 35.790 km sopra l'equatore a 75 gradi ovest e 135 gradi ovest. I satelliti GOES hanno un'orbita equatoriale, sincrona con la Terra, con un periodo di 24 ore, una risoluzione visibile di 1 km e una risoluzione IR di 4 km.

GOME (*Global Ozone Monitoring Experiment*) - Strumento a bordo di ERS.

GPS (*Global Positioning System*) - Sistema composto da 25 satelliti in 6 piani orbitali a 20.000 km di altitudine con periodi di 12 ore, utilizzato per fornire informazioni altamente precise su posizione, velocità e tempo.

H

hotspot - Area del mantello terrestre da cui salgono pennacchi caldi che formano vulcani sulla crosta sovrastante.

I

inclinazione - L'inclinazione è l'angolo tra l'orbi-

ta di un satellite e l'equatore.

indigeno - Gruppo di persone originarie di una specifica regione.

infrarosso lontano (FIR) - Radiazione elettromagnetica più lunga dell'infrarosso termico, con lunghezza d'onda compresa tra circa 25 e 1000 micrometri.

infrarosso medio (MIR) - Radiazione elettromagnetica compresa tra l'infrarosso vicino e l'infrarosso termico, circa 2-5 µm.

infrarosso termico (TIR) - Radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa tra 3 e 25 µm.

infrarosso vicino (NIR) - Radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda da poco più lunga del visibile (circa 0,7 µm) a circa 2 µm.

inquinante - sostanza che inquina qualcosa, in particolare l'acqua, l'atmosfera o il suolo.

interferometria - Metodo di analisi dei dati che sfrutta la differenza di fase tra due fasci ottici; viene utilizzato, ad esempio, per ricavare differenze o variazioni di quota.

interferometria radar - Lo studio dei modelli di interferenza causati dai segnali radar; una tecnica che consente agli scienziati di generare immagini tridimensionali della superficie terrestre.

ISS (*International Space Station*) - Un progetto congiunto tra 16 Paesi concepito come laboratorio scientifico nello spazio.

L

Landsat - Satellite di telerilevamento terrestre, gestito dalla società statunitense Earth Observation Satellite Company (EOSAT). Commercializzato nell'ambito del Land Remote-Sensing Commercialisation Act del 1984, Landsat è una serie di satelliti (precedentemente chiamati ERTS) progettati per raccogliere dati sulle risorse della Terra in modo regolare e sistematico.

larghezza di banda - L'intervallo totale di frequenza necessario per far passare uno specifico segnale modulato senza distorsione o perdita di dati.

luce visibile - La parte dello spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano (da 0,4 µm a 0,7 µm).

lunghezza d'onda - Distanza tra due massimi di un'onda.

M

mappa di immagini satellitari - Mappa creata sulla base di dati di immagini satellitari.

MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) - Strumento a bordo di Envisat per l'osservazione dell'oceano e della vegetazione.

METEOSAT (*METE*o**R**ological *SAT*ellite) - satellite meteorologico geostazionario europeo, lanciato dall'Agenzia Spaziale Europea e gestito da Eumetsat.

GLOSSARIO

microonde - Radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa tra circa 1000 µm e 1 m.

modello climatico - Modello informatico per calcolare e proiettare il clima per un periodo specifico.

modello digitale di elevazione (DEM) - Rappresentazione della topografia della Terra in formato digitale, ossia mediante coordinate e descrizioni numeriche dell'altitudine.

MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) - Sensore che vola a bordo di Terra e osserva l'intera superficie della Terra ogni 1-2 giorni, effettuando osservazioni in 36 bande spettrali, a risoluzione moderata (0,25 - 1 km), della temperatura della superficie terrestre e oceanica, della produttività primaria, della copertura della superficie terrestre, delle nuvole, degli aerosol, del vapore acqueo, dei profili di temperatura e degli incendi.

Multispectral Scanner (MSS) - Strumento a scansione lineare in dotazione ai satelliti Landsat, che scansiona continuamente la Terra in un'area di 185 km. Sui satelliti Landsat 1, 2, 4 e 5, l'MSS aveva quattro bande spettrali nel visibile e nel vicino infrarosso con un IFOV di 80 metri. Landsat-3 aveva una quinta banda nell'infrarosso termico con un IFOV di 240 metri.

multispettrale - Comprende dati provenienti da diverse bande spettrali.

multitemporale - Comprende dati provenienti da diversi momenti.

N

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) - La NASA, istituita nel 1958 con sede a Washington D.C., è l'agenzia responsabile del programma spaziale pubblico degli Stati Uniti. La sua missione è pianificare, dirigere e condurre attività aeronautiche e spaziali.

NDVI (*normalized difference vegetation index*) - Un metodo per convertire le misurazioni satellitari in tipi di vegetazione di superficie. A tale scopo, l'NDVI utilizza un rapporto complesso di riflettanza nelle porzioni rosse e vicine all'infrarosso dello spettro. È una grandezza che misura il verde e il vigore della vegetazione.

NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) - Il NOAA è stato istituito nel 1970 all'interno del Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti. Si occupa delle condizioni degli oceani e dell'atmosfera. I due componenti principali sono il NWS (National Weather Service) e il NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service).

O

Obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS) - invito all'azione adottato dalle Nazioni Unite nel 2015 per proteggere il pianeta e migliorare le vite e le prospettive dell'umanità.

onda - Variazione mobile di un parametro, periodica nello spazio e nel tempo, ad esempio la radiazione elettromagnetica.

Operational Land Imager (OLI) - Sensore di immagini multispettrali a bordo di Landsat 8 e 9.

orbita - Il percorso descritto da un corpo celeste nella sua rivoluzione periodica. Le orbite dei satelliti terrestri con inclinazioni prossime a 0º sono dette orbite equatoriali perché il satellite rimane quasi sopra l'equatore. Le orbite con inclinazioni vicine ai 90º sono dette orbite polari perché il satellite passa quasi sopra i poli nord e sud.

orbita ellittica - I corpi nello spazio orbitano in orbite ellittiche piuttosto che circolari a causa di fattori quali la gravità e la resistenza. Il punto in cui il satellite orbitante è più vicino alla Terra è il perigeo, mentre il punto in cui il satellite è più lontano dalla Terra è chiamato apogeo.

orbita polare - Un'orbita con un'inclinazione orbitale prossima ai 90º in cui la traccia a terra del satellite attraverserà entrambe le regioni polari una volta durante ogni orbita.

P

pancromatico - Sensibile a tutto o alla maggior parte dello spettro visibile.

perigeo - Il punto dell'orbita in cui un satellite è più vicino alla Terra.

periodo - Tempo necessario a un satellite per compiere un'orbita completa.

piano orbitale - Un gigantesco piano immaginario che contiene l'orbita di un satellite terrestre. Il piano orbitale passa per il centro della Terra.

piattaforma - Un satellite che può trasportare strumenti.

pixel - "Elemento dell'immagine", area di terra corrispondente a un singolo elemento di un set di dati di un'immagine digitale.

precipitazione - Acqua che cade dall'atmosfera al suolo in forma liquida (pioggia) o solida (neve, grandine).

PROBA (*Project for On-Board Autonomy*) - satellite dimostrativo di tecnologia su piccola scala dell'ESA, che trasporta diversi strumenti di osservazione della Terra con risoluzioni al suolo fino a 20 m (CHRIS, multispettrale) e 5 m (HRV, pancromatico).

Prodotto interno lordo (PIL) - Valore monetario dei beni e dei servizi finali prodotti in un Paese in un determinato periodo di tempo (ad esempio un anno), una misura del potere economico di un Paese.

R

radiazione - Trasferimento di energia sotto forma di onde o particelle elettromagnetiche che rilasciano energia quando vengono assorbite da un oggetto.

radiazione a onde corte - La radiazione ricevuta dal sole ed emessa nelle lunghezze d'onda spettrali inferiori a 4 µm. È chiamata anche radiazione solare.

GLOSSARIO

radiazione elettromagnetica - Energia che si propaga come campi elettrici e magnetici variabili nel tempo alla velocità della luce. La luce e il radar sono esempi di radiazioni elettromagnetiche che differiscono solo per la lunghezza d'onda (o frequenza).

radiazione infrarossa (IR) - L'infrarosso è una radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda da circa 0,7 a 1000 µm (tra la radiazione visibile e quella a microonde), suddivisa in visibile e vicino infrarosso, medio infrarosso e lontano infrarosso.

radiazione solare - Energia ricevuta dal sole. L'energia si presenta in diverse forme, come la luce visibile. Altre forme di radiazioni sono le onde radio, gli infrarossi, le onde ultraviolette e i raggi x.

radiazione terrestre - La radiazione infrarossa totale emessa dalla Terra e dalla sua atmosfera nell'intervallo di temperatura di circa 200-300 K.

radiazione ultravioletta (UV) - Parte dello spettro elettromagnetico con lunghezza d'onda inferiore alla regione del violetto; contiene circa il 5% dell'energia irradiata dal Sole ed è la principale fonte di energia nella stratosfera e nella mesosfera.

radiometro a scansione - Sistema di imaging composto da lenti, specchi mobili e sensori di immagine a stato solido utilizzato per ottenere osservazioni della Terra e della sua atmosfera.

radiometro passivo a microonde - Sistema che rileva solo la radiazione a microonde emessa dall'oggetto osservato o riflessa dall'oggetto da una sorgente diversa dal sistema.

raggio gamma - Radiazione elettromagnetica ad alta energia, in particolare emessa da un nucleo in transizione tra due livelli energetici.

riflessione - Il ritorno di onde luminose o sonore da una superficie. Se una superficie riflettente è piana, l'angolo di riflessione di un raggio luminoso è uguale all'angolo di incidenza.

riflettanza - La percentuale di radiazione elettromagnetica irradiata riflessa da una superficie.

risoluzione - Nel caso delle immagini, descrive l'area rappresentata da ciascun pixel di un'immagine. Più piccola è l'area rappresentata da un pixel, più precisa e dettagliata è l'immagine.

risoluzione al suolo - Lunghezza del lato di un singolo pixel quadrato in un'immagine. Più questo valore è piccolo, più l'immagine è precisa e dettagliata.

S salinità - Contenuto di sale nell'acqua (oceanica) o nel suolo.

salinizzazione - Aumento della concentrazione di sale nei terreni, con conseguente riduzione della loro fertilità.

SAR (radar ad apertura sintetica) - Tecnica di mappatura del terreno ad alta risoluzione che

sintetizza efficacemente una grande antenna ricevente elaborando la fase del ritorno radar riflesso.

satellite - Oggetto in volo libero in orbita attorno alla Terra, a un altro pianeta o al Sole.

Satellite di osservazione della Terra - Satelliti che osservano la Terra dallo spazio.

satellite meteorologico - satellite di osservazione della Terra che osserva i processi meteorologici.

saturazione - Stato di un sistema, come una soluzione, che contiene la maggior quantità possibile di un'altra sostanza, come un soluto, a una determinata temperatura.

scattering - Processo attraverso il quale la radiazione elettromagnetica interagisce con le molecole dell'atmosfera, dell'oceano o della superficie terrestre e viene reindirizzata.

scatterometro - Strumento radar ad alta frequenza che trasmette impulsi di energia verso l'oceano e misura la retrodiffusione dalla superficie dell'oceano. Rileva la velocità e la direzione del vento sugli oceani analizzando la retrodiffusione delle piccole increspature indotte dal vento sulla superficie dell'acqua.

scena - Spazio oggetto illuminato da un sensore.

sedimentazione - Deposizione di sedimenti come sabbia o limo trasportati dall'acqua, dal vento o dai ghiacciai.

sensore - Dispositivo che produce un'uscita in risposta a una radiazione incidente. I sensori a bordo dei satelliti ottengono informazioni su caratteristiche e oggetti sulla Terra rilevando la radiazione riflessa o emessa in diverse bande dello spettro elettromagnetico.

Sentinel - Serie di satelliti per l'osservazione della Terra sotto la responsabilità dell'ESA nell'ambito del programma Copernicus.

sinrono solare - Un'orbita sincrona solare è un'orbita quasi polare. Ogni volta che attraversa l'Equatore, lo fa alla stessa ora locale.

sistema attivo (sensore attivo) - Un sistema di telerilevamento che trasmette la propria radiazione per rilevare un oggetto o un'area da osservare e riceve la radiazione riflessa o trasmessa. Esempio: Radar.

Sistema informativo geografico (GIS) - Sistema per l'archiviazione, il recupero e la manipolazione di dati memorizzati e indicizzati in base alle coordinate geografiche dei loro elementi. Il sistema può generalmente utilizzare una varietà di tipi di dati, come immagini, mappe, tabelle, ecc.

Sistema passivo - Un sistema che rileva solo la radiazione emessa dall'oggetto visualizzato o riflessa dall'oggetto da una sorgente diversa dal sistema.

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity Mission) - seconda missione Earth Explorer Opportunity dell'ESA per la raccolta di dati di osservazione globale per la modellazione del tempo, del clima e delle correnti oceaniche.

sostenibilità - Soddisfare le esigenze del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni.

spettro elettromagnetico - L'intera gamma di energie radianti o frequenze d'onda, dalle lunghezze d'onda più lunghe a quelle più corte. Lo spettro è solitamente suddiviso in sette sezioni: radiazioni radio, a microonde, infrarosse, visibili, ultraviolette, a raggi X e a raggi gamma.

SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre) - satelliti francesi in orbita polare per l'osservazione della Terra con risoluzione al suolo di 10 m. Le immagini SPOT sono disponibili a livello commerciale e sono destinate a scopi quali la ricerca e il monitoraggio ambientale o la gestione dell'ecologia.

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) - Missione dello Space Shuttle che ha utilizzato radar interferometrici ad apertura sintetica (IFSAR) in banda C e X per acquisire dati topografici sull'80% della massa terrestre (tra 60°N e 56°S) nel febbraio 2000.

suolo - mezzo poroso biologicamente attivo che ricopre lo strato superiore della crosta terrestre.

Swarm - Missione Earth Explorer dell'ESA, per osservare il campo magnetico della Terra.

swath - L'area osservata da un satellite in orbita intorno alla Terra.

T telerilevamento - La tecnologia che consente di acquisire dati e informazioni su un oggetto o un fenomeno tramite un dispositivo senza contatto fisico. Il telerilevamento terrestre si riferisce alla raccolta di informazioni sulla Terra e sul suo ambiente a distanza.

temperatura superficiale del mare (SST) - La temperatura dello strato di acqua marina (circa 0,5 m di profondità) vicino alla superficie.

tettonica - relativa ai processi che determinano la struttura e le proprietà della crosta terrestre e la sua evoluzione nel tempo.

Thematic Mapper (TM) - Sensore di immagini multispettrali con 7 bande spettrali a bordo di Landsat 4 e Landsat 5, che acquisisce dati nelle parti visibili e infrarosse dello spettro elettromagnetico. La risoluzione al suolo delle bande del visibile e dell'infrarosso a onde corte è di 30 m/pixel, quella della banda termica di 120 m/pixel.

tossina - Sostanza velenosa di origine naturale prodotta da cellule o organismi viventi, ad esempio le alghe.

traccia al suolo - L'inclinazione di un satellite, insieme alla sua altitudine orbitale e al periodo della sua orbita, crea una traccia definita da una linea immaginaria che collega il satellite al cen-

tro della Terra.

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) - Programma satellitare lanciato dalla NASA e dalla NASDA nel 1997 per acquisire dati sulle precipitazioni tropicali.

U

Unità Dobson (DU) - Unità standard per la quantità di ozono nell'atmosfera. Una DU corrisponde a 2,7 x 1016 molecole di ozono per cm² e si riferisce a uno strato di ozono spesso 0,001 cm in condizioni di temperatura [0°C] e pressione standard.

urbanizzazione - Aumento della percentuale di persone che vivono nelle città, dovuto al trasferimento di persone dalle aree rurali a quelle urbane.

USGS (United States Geological Survey) - Ufficio americano responsabile dell'acquisizione e della distribuzione di geoinformazioni.

uso del suolo - Le caratteristiche di una superficie terrestre determinate dal suo uso (il modo unico in cui un determinato tipo di terreno è - o non è - sfruttato dall'uomo).

V

vapore acqueo - acqua allo stato gassoso; nell'atmosfera è il fattore più importante dell'effetto serra naturale.

VHR (Very High Resolution) - Dati di osservazione della Terra con una risoluzione al suolo di 1 m o superiore.

VISSR (Visible/Infrared Spin Scan Radiometer) - Sistema di immagini multispettrali ad alta risoluzione, installato a bordo dei satelliti meteorologici GOES (fino a GOES-7).

A
A23a (iceberg) 45
Abéché 60
Addis Abeba 25
Agricoltura del deserto 63
Aitik (miniera) 30
Alessandria 36
Al Fayyūm 36
Altamira 74
Alti Tauri, Parco nazionale 67
Altopiano del Colorado 27
Altopiano di Kaibab 27
Altopiano tibetano 25, 26
Amu Darya 38
Anchorage 46
Anomalie di temperatura 49
Antartide 44
Arcipelago di Bissago 67
Area protetta 67
Ariane 11
Aşgabat 38
Asyūt 36

B

Baia di Bohai 66
Bangkok 55
Belchatów 32
Boende 61
Böhlen 75
Bruxelles 8
Buco dell'ozono 55
Buenos Aires 54, 68

C

Campo Novo de Rondônia 64
Canale di Suez 73
Cantanhaz Forest, Parco nazionale 67
Catania 28
Chengdu 55
Chicago 39, 54
Città del Capo 51
Città del Messico 54, 68
Clorofilla-a 58
Cologne 8, 9
Colorado (fiume) 27
Columbia Bay 46
Columbia Britannica 65
Copenaghen 15
Copertura del suolo 61
Corrente circumpolare antartica 56, 57
Corrente del Benguela 56
Corrente del Brasile 56
Corrente del Golfo 35, 56
Corrente del Labrador 56
Corrente della California 56
Corrente della Guinea 56
Corrente della Somalia 57
Corrente del Nord Pacifico 56
Corrente di Agulhas 57
Corrente di Humboldt 56
Corrente Equatoriale Nord 56, 57
Corrente Equatoriale Sud 56, 57
Corrente Nord Atlantica 35, 56
Cumbre Vieja 29

D

Dallas 39
Danzica 58
Darmstadt 8, 9
Deepwater Horizon 39
Deforestazione 64
Delhi 24, 55, 69
Delta del Mississippi 39

Delta del Nilo 36
Depressione di Toshka 37
Derudeb 68
Deserto Dipinto 27
Detroit 54
Dhaka 55
Diga di Assuan 36
Diga di Belo Monte 74

E

El Ejido 62
El Niño 34
ENSO 35
Estrazione dell'oro 31
Estuario del Tamigi 75
Etna 28

F

Fairbanks 46
Fitoplancton 58
Frascati 8, 9

G

Gällivare 30
Ghiacciaio Columbia 46
Ghiacciaio dell'Aletsch 47
Gibuti 25
Giza 36
Golfo del Messico 39
Grand Canyon 27
Groenlandia 43
Grossglockner 67
Guangzhou 55

H

Ha'il 63
Harwell 8, 9
Havalimanı (Aeroporto di Istanbul) 72
Himalaya 25, 26
Hong Kong 55, 69
Hotspot canario 29
Houston 39
Hubble (telescopio spaziale) 10

I

Iceberg A23a 45
Il Cairo 36, 69
Ilha de Orango 67
Incendio boschivo 65
Industria petrolifera 39
Innsbruck 51
In Salah 51
Isole Canarie 29
Istanbul 72

J

Jakarta 55, 69
Jakobshavn Isbrae 43
James Webb (telescopio spaziale) 10
João Vieira, Parco nazionale marino 67
Johannesburg-Pretoria 54

K

Kabul 24
Karachi 55
Kiruna 8, 60
Kolkata 55
Kontish Flats parco eolico 75
Kourou 9, 11
Kuro-Shio 57

L

Laghi sopraglaciali 43

Lago d'Aral 38
Lago Nasser 37
Lagos 68
Lahore 24
La Niña 34
La Palma 29
Litio 33
Liverpool 54
London 68, 75
London Array parco eolico 75
Longhuazhen 68
Los Angeles 54, 68

M

Madras 69
Madre de Dios 31
Mar Baltico 58
Marchand 61
Mar de Plástico 62
Marino artico 42
Melbourne 55
Messina 28
Milano 54
Miniera di carbone 32
Miniera di lignite 32
Miniera di rame 30
Mississippi (fiume) 39
Mogadiscio 25
Moscova 54, 69
MOSE 41
Mumbai 54, 55, 69

N

Nairobi 25, 51, 69
New Orleans 39
New York 54, 68
Niamey 70
Niger (fiume) 70
Nilo (fiume) 36
Noordwijk 8, 9
Nukus 38
Nuova Valle 37

O

Oscillazione El Niño-Sud (ENSO) 35
Oya-Shio 57

P

Palermo 28, 51
Parco Nazionale 67
Parigi 9
Paris 8, 68
Pärnu 60
Pechino 55
Phoenix 39

Piattaforma di ghiaccio Filchner-Ronne 45
Piramide della popolazione 69
Placca africana 24, 25
Placca antartica 24
Placca araba 24
Placca australiana 25
Placca caraibica 24
Placca dell'Amur 25
Placca delle Caroline 25
Placca delle Filippine 25
Placca di Cocos 24
Placca di Nazca 24
Placca di Ohotsk 25
Placca di Sandwich 24
Placca di Scotia 24
Placca euroasiatica 26
Placca euroasiatica 24, 25
Placca indiana 24, 25, 26

Placca Indocinese 25
Placca nordamericana 24, 25
Placca pacifica 24, 25
Placca somala 24, 25
Placca sudamericana 24
Plattsmouth 40
Poilão, Parco nazionale marino 67
Porto Said 36
Progetto Toshka 37

R

Redu 8, 9
Regione della Ruhr 54
Rift Valley dell'Africa 25
Rio de Janeiro 54, 68
Rio Xingu 74
Rondônia 64
Rosetta 37
Rotterdam 54

S

Salar de Atacama 33
Samarcanda 38
Santiago 54
São Paulo 68
Scudo di ghiaccio della Groenlandia 43
Seattle 54
Sentinel 15
Seul 55
Shanghai 55, 69
Shenzhen 55
Sicilia 28
Siracusa 28
Spitsbergen 51
Stazione Spaziale Internazionale (ISS) 11
Stretto di Prince William 46
Suez 36, 73
Suqian 71
Sydney 55, 69
Syr Darya 38

T

Tazirbu 60
Teheran 54
Thanet parco eolico 75
Thessaloniki 60
Tianjin 55
Tokyo 55, 69
Tripoli 28
Tunisi 28
Türkmenabat 38

U

Uru-Eu-Uaw-Uaw (Territorio Indigeno) 64
Uso del suolo 61

V

Vastitas Borealis (cratere) 10
Vega 11
Velocità dello scudo di ghiaccio 43
Venezia 41
Villafranca 8, 9
Vulcanismo dei punti caldi 29

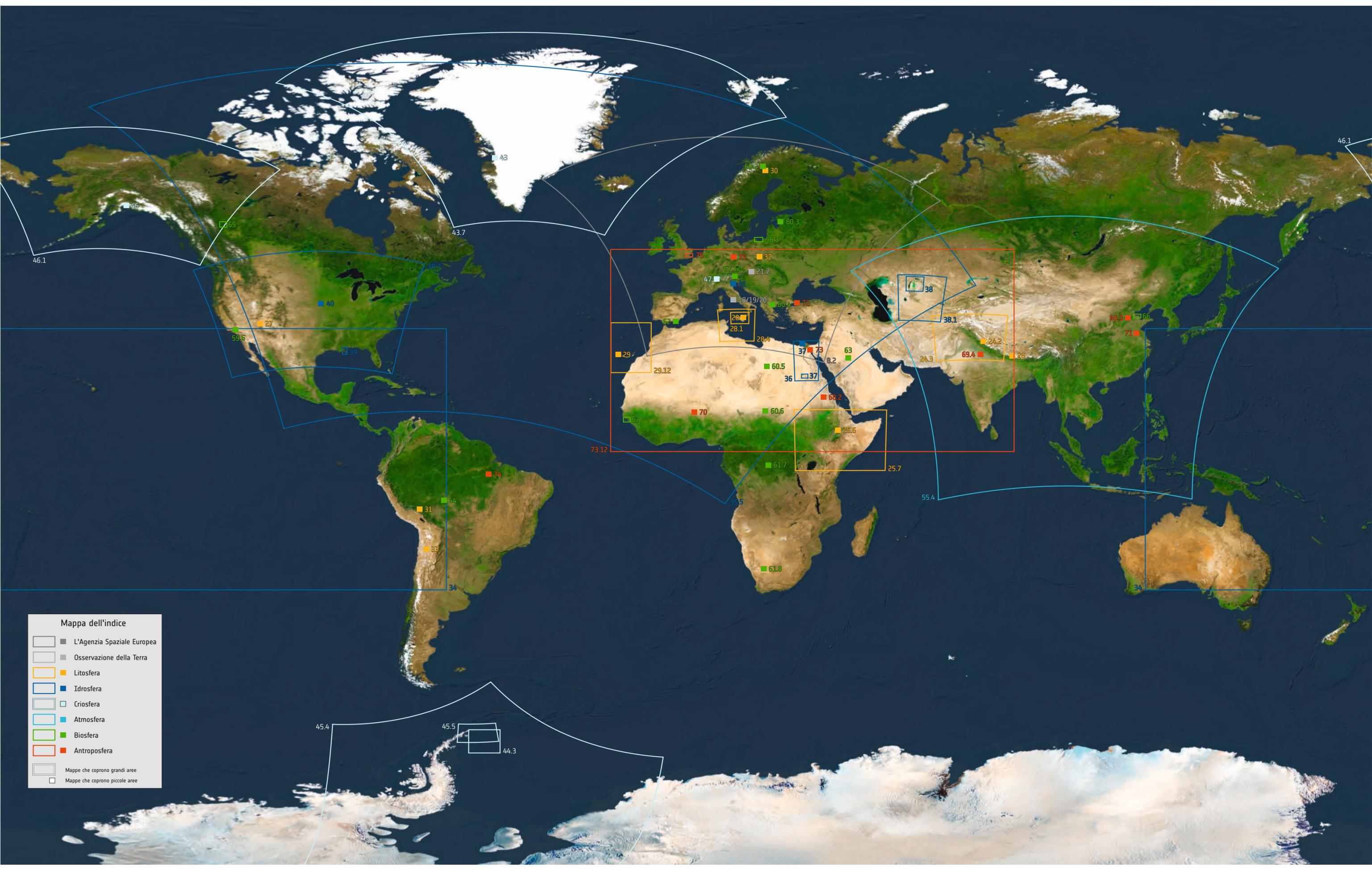
W

Whitehorse 46
Wuhan 55

INDICE GEOGRAFICO

FONTI DI IMMAGINI E DATI

- 8.1:** ESA • **8.2** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **8.3, 9.4:** ESA • **9.5:** ESA - Harwell Campus • **9.6:** ESA • **9.7:** ESA - A. Van Der Geest • **9.8:** ESA • **9.9:** ESA - Philippe Sebirot • **9.10:** ESA - Stephane Corvaja • **9.11, 9.12, 10.1:** ESA • **10.2:** ESA/D. Ducros • **10.3:** ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum) • **10.4:** NASA, ESA, CSA, STScI, J. Diego (Instituto de Física de Cantabria, Spain), J. D'Silva (U. Western Australia), A. Koekemoer (STScI), J. Summers & R. Windhorst (ASU), and H. Yan (U. Missouri) • **10.5:** ESA/ATG medialab • **11.6:** ESA/CNES/Arianespace • **11.7:** ESA/David Ducros, Jacky Huart • **11.8, 12.1** [GOCE | Mosaic]: ESA • **12.2** [Aeolus | 06.05.2020]: ESA/ViRES • **12.3** [SMOS | 01.09.2023]: ESA CCI/Climate from Space • **12.4, 13.5, 13.6, 13.7, 14.1, 14.1, 14.1:** ESA • **14.2:** Copernicus • **15.7:** ESA/P. Carril • **15.3a:** ESA/ATG medialab • **15.3b** [Sentinel-1 | 06.02.2024]: Copernicus • **15.4a:** ESA • **15.4b** [Sentinel-2 | 08.07.2023]: Copernicus • **15.5a:** ESA • **15.5b** [Sentinel-3 | 08.06.2023]: Copernicus • **15.6a:** ESA/P. Carril • **15.6b** [Sentinel-5P | 08.07.2023]: Copernicus • **16.1:** eoVision • **16.2:** Union of Concerned Scientists • **16.3:** ESA • **17.4, 17.5, 18.4:** eoVision/ESA • **18.1a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1c** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1d** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1e** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.2a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.2b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3c** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **19.5** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.6** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.7** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.8** [Sentinel-1 | 23.03.2022]: Copernicus • **19.9:** eoVision/ESA • **20.1** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.2** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.3** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.4** [Sentinel-2 | 21.03.2022]: Copernicus • **21.5** [Modis | Mosaic], **21.6a** [Modis | Mosaic], **21.6b** [Modis | Mosaic], **21.6c** [Modis | Mosaic], **21.6d** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **21.7a:** BEV • **21.7b** [Sentinel-2 | 19.06.2023]: Copernicus • **21.7c:** BEV • **22.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **22.2** [DMSP OLS | Mosaic]: NASA/NOAA/USGS • **22.3** [07.12.1972]: Ron Evans/Harrison Schmitt, NASA • **22.4** [Modis | Mosaic], **24.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **24.2** [Sentinel-2 | 02.08.2023]: Copernicus • **24.3** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **25.4:** eoVision, based on work of American Museum of Natural History • **25.5:** eoVision, based on work by Hannes Grobe • **25.6** [Sentinel-2 | 26.08.2023]: Copernicus • **25.7** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **26.1:** USGS • **26.2** [Sentinel-2 | 22.10.2023]: Copernicus • **26.3, 26.3, 26.4, 26.4, 27.5:** USGS • **27.5** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **27.6** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **27.7:** Copernicus • **27.8, 27.9** [Landsat 7 | 06.06.2000]: USGS • **28.1** [Sentinel-2 | June 2022], **28.2** [Sentinel-2 | 03.06.2022], **28.3** [Sentinel-2 | 21.06.2022], **28.4** [Sentinel-5P | 21.06.2022]: Copernicus • **28.5:** Branca, S., M. Coltelli, G. Gropelli and F. Lentini (2011). Geological map of Etna Volcano • **28.6:** gnuckx • **29.7** [Sentinel-2 | 21.08.2021], **29.8** [Sentinel-2 | 30.09.2021], **29.9** [Sentinel-2 | 03.01.2022], **29.10** [Sentinel-2 | 03.01.2022]: Copernicus • **29.11:** eoVision • **29.12** [Modis | Mosaic]: NASA; Carracedo et al. 1998 • **29.13** [Sentinel-2 | 21.08.2021], **30.1** [Sentinel-2 | 15.06.2023]: Copernicus • **30.2** [Landsat 5 | 05.06.1992]: USGS • **30.3:** Tzorn • **30.4** [2022]: Boliden Summary Report • **30.5** [2024]: USGS, Mineral Commodity Summaries 2024 • **31.6** [Landsat 5 | 03.09.2011]: USGS • **31.7** [Sentinel-2 | 03.06.2023], **31.8** [Sentinel-1 | 25.05.2023], **31.9** [Sentinel-2 | 03.06.2023]: Copernicus • **31.10:** Jason Houston (iLCP Redsecker Response Fund/CEES/CINCIA) • **32.1** [Sentinel-2 | 15.08.2023], **32.2** [Sentinel-2 | 01.07.2020]: Copernicus • **32.3** [Landsat 5 | 22.08.2010], **32.4** [Landsat 5 | 28.07.2001], **32.5** [Landsat 4 | 12.06.1990]: USGS • **32.6:** Copernicus • **32.7:** Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) • **33.8** [Landsat 4 | 25.01.1985], **33.9** [Landsat 5 | 03.01.2000]: USGS • **33.10** [Sentinel-2 | 18.01.2023]: Copernicus • **33.11:** Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) • **33.12** [Sentinel-2 | 18.01.2023]: Copernicus • **34.1** [Multisensor | January 2023]: Copernicus Marine Service/OSTIA • **34.3** [Multisensor | 25.12.2015], **34.4** [Multisensor | 25.12.2011]: Copernicus/ESA SST CCI • **35.2** [Multisensor | July 2023]: Copernicus Marine Service/OSTIA • **35.5** [Multisensor | 01.07.2014]: Copernicus/ESA SST CCI • **35.6:** NOAA • **36.1** [Sentinel-2 | July 2023]: Copernicus • **36.2:** Copernicus Land Monitoring Service • **37.3** [Landsat 5 | 10.06.1985]: USGS • **37.4** [Sentinel-2 | 25.06.2023]: Copernicus • **37.5:** Mohamed Eissa • **37.6** [Sentinel-2 | 05.11.2017], **37.7** [Sentinel-2 | 14.11.2022], **38.1** [Sentinel-2 | 2023], **38.2** [Sentinel-3 | 2023]: Copernicus • **38.3:** Kamshat Tusspova et al., Water 12/2020. • **38.4** [Sentinel-3 | 2023]: Copernicus • **38.5** [Landsat 4 | 1987], **38.6** [Argon | 1964]: USGS • **39.7** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **39.8** [Sentinel-2 | 22.04.2023]: Copernicus; U.S. Department of the Interior, BOEM (Bureau of Ocean Energy Management) • **39.9** [Landsat 4 | 04.05.1985], **39.10** [Landsat 5 | 19.07.1995]: USGS • **39.11** [Sentinel-2 | 08.05.2017], **39.12** [Sentinel-2 | 12.05.2023], **40.1** [Sentinel-2 | 21.03.2023], **40.2** [Sentinel-2 | 31.03.2019], **40.3** [Sentinel-2 | 31.03.2019]: Copernicus • **40.4:** US Army Corps of Engineers (Omaha) • **41.5:** Città di Venezia, Alte Maree • **41.6:** Fusi Sandro • **41.7** [Sentinel-2 | 04.11.2021], **41.8** [Sentinel-2 | 24.11.2022]: Copernicus • **42.1** [1980-2020], **42.2, 42.3:** NSIDC • **42.4** [CryoSat | January 2011], **42.5** [CryoSat | January 2024]: CPOM • **43.6:** Copernicus Climate Change Service • **43.7** [Sentinel-1 | 2020]: Copernicus/ENVEO • **43.8** [Sentinel-2 | 01.09.2023], **43.9** [Sentinel-2 | 01.09.2023]: Copernicus • **44.1** [2004]: NSIDC • **44.2** [CryoSat | 2012]: ESA/Helm et al., The Cryosphere, 2014 • **44.3.1** [Sentinel-1 | 06.08.2023], **44.3.2** [Sentinel-1 | 13.09.2023], **44.3.3** [Sentinel-1 | 19.10.2023], **45.4** [Sentinel-3 | 15.11.2023], **45.5** [Sentinel-3 | 15.11.2023]: Copernicus • **46.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **46.2** [Sentinel-2 | 30.07.2023]: Copernicus • **46.3** [2023]: WGMs Fluctuation of Glaciers database • **46.4** [Landsat 5 | 28.07.1986]: USGS • **46.5** [Sentinel-2 | 30.07.2023]: Copernicus • **47.6:** Dirk Beyer • **47.7** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **47.8** [Sentinel-2 | 13.07.2022]: Copernicus • **47.9** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **47.10** [Sentinel-2 | 13.07.2022]: Copernicus • **47.11** [2023]: WGMs Fluctuation of Glaciers database • **47.12** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **48.1** [Multisensor | 2022]: Copernicus/C3S/ECMWF • **48.2** [Multisensor | July 2023], **48.3** [Multisensor | January 2023]: Copernicus Atmosphere Monitoring Service • **49.4:** eoVision/ESA • **49.5:** NOAA/NCEI • **50.1** [Multisensor | 2000-2023]: NASA • **50.3** [NOAA AVHRR | January 2023]: EUMETSAT/CM SAF • **51.2, 51.2, 51.2, 51.2, 51.2, 51.2:** climat-echarts.net • **51.4** [NOAA AVHRR | 01.07.2023]: EUMETSAT/CM SAF • **52.1** [Meteosat MSG | 2004], **53.2** [Meteosat MSG | 2004]: EUMETSAT • **54.1** [Sentinel-5P | 2023], **54.2** [Multisensor | January 2020], **55.3** [Multisensor | July 2020], **55.4a** [Sentinel-5P | January 2020], **55.4b** [Sentinel-5P | July 2020]: Copernicus Atmosphere Monitoring Service information • **55.5a** [Multisensor | October 1970], **55.5b** [Multisensor | October 1980], **55.5c** [Multisensor | October 1990], **55.5d** [Multisensor | October 2000], **55.5e** [Multisensor | October 2010]: Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store • **56.1:** W. Lauer, P. Frankenberg; USGS • **56.1, 56.1:** 0 • **58.1** [Sentinel-3 | June 2023], **58.2** [Sentinel-3 | December 2023]: Copernicus Marine Service Information, provided by OCTAC/PML production centre • **58.3** [Sentinel-2 | 20.07.2019], **59.4** [Sentinel-3 | July 2018], **59.5** [Sentinel-3 | January 2018], **59.6a** [Sentinel-2 | 08.04.2023], **59.6b** [Sentinel-2 | 13.04.2023]: Copernicus • **60.1** [2019]: Copernicus Land Monitoring Service • **60.2** [Sentinel-2 | 08.09.2023], **60.3** [Sentinel-2 | 26.09.2023], **60.4** [Sentinel-2 | 20.09.2023], **60.5** [Sentinel-2 | 27.09.2023], **60.6** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **61.7** [Sentinel-2 | 08.09.2023], **61.8** [Sentinel-2 | 31.03.2023]: Copernicus • **61.9** [2024]: Our World in Data • **62.1** [Sentinel-2 | 10.09.2022], **62.2** [Sentinel-2 | 10.09.2022]: Copernicus • **62.3** [Landsat 5 | 17.10.1985]: USGS • **62.4:** ANE • **63.5** [Landsat 5 | 15.04.1985], **63.6** [Landsat 5 | 27.04.1995], **63.7** [Landsat 5 | 18.04.2015]: USGS • **63.8** [Sentinel-2 | 26.04.2023], **63.9** [Sentinel-2 | 26.04.2023]: Copernicus • **63.10:** U.S. Dept. Agriculture • **64.1** [Landsat 5 | 28.06.1991]: USGS • **64.2:** Bruno Kelly/Amazônia Real • **64.3:** INPE • **64.4** [Landsat 5 | 24.06.1984], **64.5** [Landsat 5 | 15.05.2010]: USGS • **64.6** [Sentinel-2 | 07.10.2023]: Copernicus • **65.7:** National Forestry Database • **65.8** [Sentinel-2 | 18.05.2023], **65.9** [Sentinel-2 | 07.06.2003], **65.10** [Sentinel-2 | 07.06.2003], **65.11** [Sentinel-2 | 07.06.2003]: Copernicus • **65.12:** Cameron Strandberg • **66.1** [Sentinel-2 | 29.04.2023]: Copernicus • **66.2** [2022]: FAO, The state of world fisheries and aquaculture 2022 • **66.3** [Sentinel-1 | 26.04.2023]: Copernicus • **66.4** [Landsat 5 | 05.05.2007], **66.5** [Landsat 5 | 17.05.1989]: USGS • **67.6** [Sentinel-2 | 24.04.2023], **67.7** [Sentinel-2 | 14.04.2023], **67.8** [Sentinel-2 | 24.04.2023], **67.9** [Sentinel-2 | 24.04.2023]: Copernicus • **67.10:** Powell.Ramsar • **67.11:** Bsmuc64ger • **67.12** [Sentinel-2 | July 2023]: Copernicus • **68.1:** Gridded Population of the World (GPW) v4; NASA/SEDAC • **68.2** [Sentinel-2 | 13.04.2024], **68.3** [Sentinel-2 | 18.04.2024], **69.4** [Sentinel-2 | 19.03.2024]: Copernicus • **69.6:** UNDESA, 2013 • **69.5a, 69.5b, 69.5c:** LivePopulation.com • **70.1** [Landsat 4 | 13.10.1984]: USGS • **70.2** [Sentinel-2 | 27.02.2023]: Copernicus • **70.3:** worldpopulationreview.com • **70.4** [2018]: UNDESA, World Urbanization Prospects 2018 • **70.5:** Noah Maxwell • **71.6:** Sinopitt Xu • **71.7** [2015]: UNDESA • **71.8** [Landsat 4 | 21.04.1987]: USGS • **71.9** [Sentinel-2 | 05.07.2023], **72.1** [Sentinel-2 | 23.07.2023]: Copernicus • **72.2:** ICAO, ACI/Moodie-Davitt-Report • **72.3:** Kulttuurinavigaattori • **72.4** [Landsat 5 | 18.09.2010]: USGS • **72.5** [Sentinel-2 | 24.07.2017], **72.6** [Sentinel-2 | 23.07.2023], **73.7** [Sentinel-2 | 29.03.2021], **73.8** [Sentinel-1 | 21.03.2021], **73.9** [Sentinel-1 | 27.03.2021]: Copernicus • **73.10:** Suez Canal Authority • **73.11:** Wolfgang Fricke • **73.12** [Sentinel-5P | 2023]: Copernicus (SSP-PAL; STAC?) • **74.1** [Landsat 5 | 15.07.2015], **74.2** [Landsat 5 | 27.07.2011]: USGS • **74.3** [Sentinel-2 | 26.07.2017], **74.4** [Sentinel-2 | 26.07.2017]: Copernicus • **74.5:** Fernanda Brandt • **75.6** [Sentinel-1 | 02.03.2024], **75.7** [Sentinel-2 | 07.07.2023], **75.8** [Sentinel-2 | 07.07.2023], **75.9** [Sentinel-2 | 27.05.2017], **75.10** [Sentinel-2 | 28.01.2024]: Copernicus • **75.11** [2024]: IRENA - International Renewable Energy Agency •
- Spiegazione per le fonti di immagini e dati:**
- 19.8** [Sentinel-1 | 23.03.2022]: Copernicus
- 19.8** numero di pagina . numero consecutivo della figura [satellite | data di acquisizione] ... nel caso in cui la figura sia un'immagine satellitare, viene specificato il modello del satellite e la data di acquisizione.
- Copernicus** fonte dei dati/credito delle immagini
- separatore



Mappa dell'indice

- L'Agenzia Spaziale Europea
- Osservazione della Terra
- Litosfera
- Idrosfera
- Criosfera
- Atmosfera
- Biosfera
- Antroposfera
- Mappe che coprono grandi aree
- Mappe che coprono piccole aree

45.4 45.5 44.3

46.1

46

65

43.7

43

39.7

59.6

27

40

39

31

74

33

34

73.12

29

29.12

47

75

67.12

21.7

28

28.1

18/19/20

66.4

72

67

70

60.5

60.6

61.8

61.7

36

37

73

8.2

63

25.6

25.7

68.2

55.4

24.3

69.4

24.2

26

38

38.1

68.3

71

166

34

46.1