

Satelliti sentinelle dell'ambiente: le tecnologie per il futuro del pianeta

L'utilizzo dei satelliti per il monitoraggio atmosferico e terrestre offre nuove opportunità per prevenire disastri ambientali, migliorare la gestione delle risorse e sostenere politiche per il cambiamento climatico. La recente sensibilizzazione di massa su temi cruciali come la sostenibilità ambientale ha stimolato un notevole interesse in ricerche e studi volti ad esplorare le potenzialità degli sviluppi in campo tecnologico nella lotta contro il cambiamento climatico. Uno dei grandi problemi legati alla realizzazione dello sviluppo sostenibile è il controllo e il monitoraggio dei dati ambientali. Ad esempio, occorrono misure del livello del biossido di carbonio e di altri gas nell'atmosfera dell'intero pianeta per calcolare l'andamento dell'effetto serra. Occorre studiarne la distribuzione. Occorre monitorare e capire il comportamento del buco nell'ozono. In altri termini, occorre raccogliere dati scientifici relativi al mutamento dei fenomeni atmosferici nel corso degli anni per valutare i risultati del progresso tecnologico a supporto della sostenibilità ambientale. Oggi questo è possibile, grazie ai satelliti. Questi sono in grado di analizzare l'ambiente attraverso l'uso di raggi infrarossi, microonde, e riconoscono campi gravitazionali, livelli di inquinamento, flussi oceanici, e tipi di terreno, in qualsiasi condizione climatica. L'obiettivo è quello di ottenere informazioni complete sullo stato della Terra, il più precise possibile, graficamente intuitive (spesso le immagini sono in 3D) e specifiche, concentrandosi su parametri specifici per ogni progetto come, ad esempio, il livello di metano nell'aria e la temperatura nelle foreste tropicali.

Indice degli argomenti

La tecnologia come prevenzione dei disastri ambientali

Le immagini satellitari, se combinate con informazioni provenienti direttamente dalla Terra, possono essere usate non solo per studiare la trasformazione di luoghi di interesse per la scienza e la loro topografia, ma anche per prevedere e prevenire eventi e catastrofi naturali. Ad oggi, infatti, il monitoraggio del nostro pianeta è immediato, e si avvale di tutte le tecnologie disponibili. La missione HypSIRI della NASA è un esempio. La missione HypSIRI della National Aeronautics and Space Administration degli Stati Uniti (NASA), i cui satelliti, tramite immagini ad infrarosso, erano in grado di identificare la vegetazione presente in un territorio e capire se fosse o non fosse in buona salute. Inoltre, è stato utile per monitorare le aree caratterizzate da attività vulcanica, così da poter segnalare nuove eruzioni. Erano quindi a disposizione informazioni importanti sullo stato ambientale di diversi ecosistemi, che hanno reso più facile proteggere l'ambiente e anche prevenire catastrofi. La missione CSES dell'Agenzia Spaziale Cinese (CNSA) è un altro esempio. La missione CSES dell'Agenzia Spaziale Cinese (CNSA) che nasce con lo scopo di identificare precursori sismici di tipo elettromagnetico, ionosferico e magnetosferico e studiare possibili correlazioni spazio-temporali tra le variazioni di questi parametri fisici e l'avvento di terremoti di grande intensità.

Studio ed osservazione del pianeta Terra: la missione EarthCARE

In corso è la missione EarthCARE dell'agenzia Spaziale Europea (ESA) e della Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) per lo studio delle nubi e degli aerosol che è stata lanciata dalla base di Vandenberg, in California, lo scorso 29 maggio. Le nuvole sono masse visibili composte da minuscole goccioline d'acqua o cristalli di ghiaccio sospese nell'atmosfera che assumono forme e dimensioni diverse. Le nubi svolgono un ruolo cruciale nel sistema climatico terrestre riflettendo la luce solare nello spazio, noto come effetto albedo, e intrappolando il calore irradiato dalla superficie terrestre, parte dell'effetto serra. Lo studio delle nubi e degli aerosol al centro della missione EarthCARE, mira a comprendere il loro ruolo nel riflettere la radiazione solare incidente nello spazio e rispondere all'effetto dei fenomeni di raffreddamento o riscaldamento del nostro pianeta. Il progetto Copernicus

Uno dei più importanti progetti europei oggi esistenti è Copernicus, nato dalla collaborazione tra un pool di agenzie spaziali e Commissione Europea nel 1998. Precedentemente conosciuto come GMES (Global Monitoring for Environment and Security), è un complesso programma di osservazione satellitare della Terra, lanciato nel 1998 dalla Commissione Europea e da un pool di agenzie spaziali. Si inserisce, in veste di contributo del Vecchio Continente, nel più vasto progetto GEOSS, che mira allo sviluppo di un Sistema dei sistemi per l'osservazione globale della Terra. Ma ha come principale obiettivo quello di garantire all'Europa una sostanziale indipendenza nel rilevamento e nella gestione dei dati sullo stato di salute del pianeta, supportando le necessità delle politiche pubbliche europee attraverso la fornitura di servizi precisi e affidabili sugli aspetti ambientali e di sicurezza. Obiettivi del progetto Copernicus

I suoi satelliti combinano informazioni ricavate dall'osservazione satellitare della Terra con quelle ricavate da sistemi in-situ, con gli obiettivi finali di studiare l'atmosfera, l'ambiente marino, il territorio, monitorare cambiamenti climatici e sicurezza sia ambientale sia intesa come sorveglianza delle frontiere, e offrire gli strumenti per intervenire



prontamente in caso di emergenze. Le scoperte dei satelliti e degli strumenti terrestri sono elaborate da scienziati e policy makers per pianificare e sviluppare azioni in una varietà di aree, dall'agricoltura alla salute e al turismo. Un altro esempio riguarda il succitato aiuto che le immagini satellitari danno ai governi locali per adottare regole che prevengano situazioni pericolose per l'ambiente e per gli umani, come nel caso del monitoraggio degli incendi. In collaborazione con centri di ricerca locali, amministrazioni, e unità per il pronto intervento in caso di incendi, i satelliti di Copernicus monitorano la situazione del territorio e forniscono informazioni che possono essere usate per stabilire come e in che misura gli incendi siano possibili se usati per attività umana, e come prevenire invece quelli non controllati. Il programma è coordinato e gestito dalla Commissione europea ed è attuato in collaborazione con gli Stati membri, l'Agenzia spaziale europea (ESA), l'Organizzazione europea per l'esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (CEPMMT), le agenzie dell'UE e Mercator Océan. Il programma utilizza enormi quantità di dati globali provenienti da satelliti e da sistemi di misurazione terrestri, aerei e marittimi per fornire informazioni che aiutino i prestatori di servizi, le autorità pubbliche e altre organizzazioni internazionali a migliorare la qualità della vita dei cittadini europei. I servizi di informazione forniti sono accessibili agli utenti del programma in modo libero e gratuito. Con il rientro del Regno Unito nel programma Copernicus dell'UE, sono stati confermati i finanziamenti per completare lo sviluppo di tutte e sei le missioni di espansione Copernicus Sentinel, come discusso questa settimana durante il 75° Congresso Astronautico Internazionale tenutosi a Milano dal 14 al 18 ottobre 2024. I dati provenienti da Copernicus Sentinels saranno sviluppati dall'ESA ed inseriti nei servizi di informazione Copernicus, al fine di aiutare ad affrontare sfide come l'urbanizzazione, la sicurezza alimentare, l'innalzamento del livello del mare, la diminuzione dei ghiacci polari, i disastri naturali e, naturalmente, il cambiamento climatico. I satelliti di Copernicus: le Sentinelle La missione si basa su una serie di sei tipologie di satelliti, chiamati Sentinelle, specializzati in precise applicazioni. I Sentinel-1 sono utilizzati per produrre dati radar interferometrici; i Sentinel-2, satelliti ottici, sono stati progettati per l'osservazione multi-spettrale; i Sentinel-3 sono stati ideati per effettuare osservazioni oceanografiche e terrestri; i Sentinel-4, di tipo geostazionario, monitorano le componenti atmosferiche; i Sentinel-5, satelliti a bassa orbita, monitorano la composizione chimica dell'atmosfera; i Sentinel-6, infine monitorano le superfici dei mari e degli oceani a fini climatologici. Copernicus Hyperspectral Imaging Mission for the Environment (CHIME) Nello specifico, questa serie è composta da Copernicus Hyperspectral Imaging Mission for the Environment (CHIME) che, dotata di uno spettrometro unico nel suo genere, fornisce immagini iperspettrali sistematiche ad alta risoluzione per migliorare le pratiche agricole e la gestione delle risorse naturali. Questa missione Copernicus viene utilizzata per monitorare le proprietà biofisiche e biochimiche delle colture e la consistenza e il contenuto organico del suolo. CHIME può essere utilizzato anche per la gestione delle foreste e per monitorare i corpi idrici interni e gli ecosistemi costieri. Inoltre, CHIME può rilevare la presenza e la quantità di vari minerali sulla superficie terrestre. Copernicus Imaging Microwave Radiometer (CIMR) C'è poi Copernicus Imaging Microwave Radiometer (CIMR) che trasporta un radiometro a microonde multifrequenza e a scansione conica ad ampio raggio, per fornire osservazioni su vari parametri chimico-fisici del ghiaccio marino, della salinità e della temperatura della superficie marina. Il CIMR inserisce il monitoraggio dell'Artico in un contesto globale, a sostegno di soluzioni per questa specifica e fragile regione polare e per combattere gli effetti del cambiamento climatico a livello mondiale. Copernicus Carbon Dioxide Monitoring, CO2M Lo strumento principale del Copernicus Carbon Dioxide Monitoring, CO2M, è invece uno spettrometro per misurare l'anidride carbonica atmosferica e il metano, concentrandosi sulle emissioni dovute alle attività umane. Queste misurazioni aumenteranno la trasparenza e aiuteranno a stimare le emissioni su scala locale, nazionale e regionale. La missione fornirà all'UE una fonte unica e indipendente di informazioni per valutare l'efficacia delle misure politiche volte a decarbonizzare l'Europa e a raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni stabiliti nell'Accordo di Parigi. Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter, CRISTAL Con un altimetro radar a doppia frequenza e un radiometro a microonde, Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter, CRISTAL, monitora lo spessore del ghiaccio marino e la profondità della neve sovrastante. Questo Programma misura, inoltre, le variazioni di altezza delle calotte glaciali e dei ghiacciai di tutto il mondo. Poiché il ghiaccio nelle sue varie forme è particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici, i dati di questa missione sono fondamentali per comprendere e quantificare i processi climatici. La missione supporta anche le operazioni marittime e la sicurezza nei mari polari in continuo cambiamento, gli studi di oceanografia e del livello del mare e il monitoraggio di fiumi e laghi in tutto il mondo. Copernicus Land Surface Temperature Monitoring (LSTM) Copernicus Land Surface Temperature Monitoring (LSTM) invece, trasporta un sensore termico-infrarosso ad alta risoluzione per fornire osservazioni della temperatura ed emissività della superficie terrestre. La missione risponde alla necessità di migliorare la produttività agricola sostenibile. Le misurazioni della temperatura della superficie terrestre e

le informazioni sull'evapotraspirazione sono fondamentali per comprendere e adattarsi alla variabilità del clima. I dati della missione saranno utilizzati per gestire le risorse idriche per la produzione agricola, prevedere la siccità, gestire i corpi idrici costieri e interni e affrontare problemi come le isole di calore urbane e le ondate di calore. Il radar ad apertura sintetica in banda L di Copernicus, ROSE-L, fornisce nuove informazioni complementari per colmare le lacune critiche di osservazione e informazione delle attuali capacità del satellite Copernicus. ROSE-L migliora notevolmente il monitoraggio dei rischi geologici europei e dei movimenti di superficie. Supporta inoltre una migliore mappatura per la gestione delle foreste, fornisce informazioni chiave per l'agricoltura e la sicurezza alimentare e migliora la sorveglianza marittima. Inoltre, ROSE-L contribuisce al monitoraggio dell'Artico fornendo nuove informazioni su ghiaccio marino, iceberg, ghiacciai e calotte glaciali. L'operazione COSMO-SkyMed Esiste poi COSMO-SkyMed che è stata la prima missione di Osservazione della Terra concepita per scopi duali (civili e militari). I suoi satelliti di prima e seconda generazione sono occhi in grado di scrutare la Terra dallo spazio metro per metro, di giorno e di notte, con ogni condizione meteo per aiutare a prevedere frane e alluvioni, a coordinare i soccorsi in caso di terremoti o incendi, a controllare dall'alto le aree di crisi. Sviluppato dall'Agenzia Spaziale Italiana in cooperazione con il Ministero della Difesa, COSMO-SkyMed si basa su una costellazione di 4 satelliti di prima generazione, e ne prevede altri 4 di seconda, dotati di radar ad apertura sintetica (SAR) che lavorano in banda X (in grado, quindi, di vedere attraverso le nuvole e in assenza di luce solare). Il 18 gennaio 2021 COSMO-SkyMed Seconda Generazione (CSG) è diventato operativo con il primo di quattro satelliti previsti, ed è andato ad affiancare i quattro di prima generazione. La costellazione COSMO-SkyMed può dunque vantare oggi ben cinque satelliti in orbita ed operativi. Il satellite italiano Prisma PRISMA, che ha iniziato il suo viaggio nello spazio il 22 marzo 2019, completa l'offerta attuale dell'Agenzia Spaziale Italiana nell'ambito dell'Osservazione della Terra, finora essenzialmente basato sui SAR della costellazione COSMO-SkyMed, con un sensore ottico iperspettrale innovativo, in grado di fornire un contributo informativo unico per diverse applicazioni. In questo modo il satellite è in grado di distinguere non solo le caratteristiche geometriche degli oggetti osservati, ma anche la composizione chimico-fisica della superficie terrestre. Ogni materiale, infatti, ha una propria firma spettrale, una vera impronta digitale: una combinazione unica di colori, detti bande spettrali. La strumentazione elettro-ottica di PRISMA è in grado di analizzare questa firma dalla sua orbita a 615 km di altezza, effettuando un monitoraggio di ultima generazione che sarà in grado di identificare un oggetto o risalire alle caratteristiche di un'area sotto osservazione. Il satellite è stato lanciato dalla base di Kourou (Guyana Francese) ed è operativo. Esso fornisce un contributo fondamentale al monitoraggio dell'inquinamento e dei cambiamenti ambientali e supporta la gestione delle risorse naturali e delle emergenze. Altro interessante progetto è quello portato avanti dalla Thales Alenia Space join venture tra i gruppi industriali Thales (67%) e Leonardo (33%), un'agenzia spaziale italo francese che fornisce soluzioni ad alta tecnologia per le telecomunicazioni, la navigazione, l'osservazione della Terra, la gestione ambientale, l'esplorazione, la scienza e le infrastrutture orbitali. Thales Alenia Space ha firmato in tempi recenti due contratti con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) per dimostrare i vantaggi della navigazione satellitare ai fini del monitoraggio ambientale. Questi contratti prevedono lo sviluppo di due aviotrasportati, GREAT e GROOVE, forniti di Sistema Globale di Navigazione Satellitare (GNSS) che combinato con tecniche di riflettometria e radio occultazione può svolgere un ruolo tangibile in vari settori come la protezione civile, la meteorologia, l'aviazione e l'agricoltura. Valorizzando i sistemi tradizionali di geolocalizzazione, GREAT e GROOVE hanno anche il potenziale per modellare le previsioni di catastrofi naturali (tsunami, cicloni, tornado), fornire sostegno alle operazioni di salvataggio, valutare e monitorare l'impatto dei cambiamenti climatici, nonché integrare i modelli di previsione numerica del tempo (NWP) attuali per le stime meteorologiche in tempo reale. Mentre GREAT sfrutterà i segnali GNSS riflessi dalla superficie terrestre, GROOVE utilizzerà i segnali di navigazione satellitare che attraversano l'atmosfera per stimare i parametri di pressione, temperatura e umidità nella troposfera. GREAT impiegherà tecniche innovative quali la formazione di fasci e l'intelligenza artificiale per raccogliere e trattare dati terrestri (biomassa, umidità), dati marini (altimetria marina, velocità del vento) nonché dati fluviali in diverse condizioni atmosferiche. Questi parametri saranno poi confrontati con i dati esistenti sul clima per calcolare il contenuto idrico della vegetazione, lo stato della copertura del suolo, la mappa delle precipitazioni nel suolo, l'indice di superficie fogliare e l'indice di vegetazione. Sostenibilità ambientale di mega-costellazioni di satelliti in orbita bassa A questo punto però è interessante porre l'attenzione su un altro aspetto riguardante l'utilizzo di sistemi satellitari. L'inquinamento prodotto dal numero crescente di satelliti in disuso alla deriva nell'atmosfera terrestre è aumentato di otto volte tra il 2016 e il 2022 e potrebbe minacciare lo strato di ozono che protegge il nostro pianeta. Uno specifico indice di criticità, l'aumento percentuale del tasso di collisione, è stato introdotto per valutare l'impatto ambientale di grandi costellazioni di satelliti in orbita terrestre bassa (LEO). Tale indice è stato stimato per diverse possibili costellazioni, previste ad altezze comprese tra gli 800 e i 1400 km. I risultati

ottenuti mostrano chiaramente che nelle regioni dello spazio dove l'attuale densità di detriti catalogati è già significativa, come intorno agli 800 km, appena un centinaio di satelliti abbandonati in più aumenterebbe l'attuale tasso di collisione in LEO di circa il 10%. Insomma, un numero crescente di satelliti orbita intorno alla Terra per soddisfare diverse esigenze, dalla geolocalizzazione alla connettività, dalle previsioni meteorologiche al monitoraggio ambientale e molto altro ancora. Per prolungarne la vita operativa, ed evitare così un eccessivo sovrappopolamento in atmosfera, questi satelliti necessiterebbero di una manutenzione periodica e di interventi di assistenza. A questo proposito, l'Agenzia spaziale italiana ha firmato con la succitata Thales Alenia Space, un contratto del valore complessivo di 235 milioni di euro per la progettazione, lo sviluppo e la qualifica di un veicolo per la missione dimostrativa dedicata ai servizi in orbita In Orbit Servicing (IOS) Il contratto fa parte delle risorse investite tramite il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) del Governo italiano. Thales Alenia Space ha siglato questo contratto in qualità di mandataria di un Raggruppamento Temporaneo d' Imprese (RTI) di cui fanno parte le aziende Leonardo, Telespazio, Avio e D-ORBIT. In Orbit Servicing è una missione dimostrativa in orbita bassa (LEO), che sarà pronta al lancio entro il 2026 e testerà le tecnologie abilitanti per queste future missioni di servizio in orbita eseguendo diverse operazioni robotiche sui satelliti già in orbita: rifornimento, riparazione o sostituzione di componenti, trasferimento orbitale e rientro atmosferico. È importante ricordare in definitiva a questo riguardo che è necessaria una specifica attenzione ai detriti spaziali, per garantire che questo progresso tecnologico si accompagni anche alla sostenibilità della sua stessa attuazione. Bibliografia <https://www.cnr.it/it/focus/074-53/sostenibilita-ambientale-di-mega-costellazioni-di-satelliti-in-orbita-bassa>
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Copernicus_Sentinel_Expansion_missions
<https://mondointernazionale.org/post/i-satelliti-dallo-spazio-alla-terra-per-il-monitoraggio-dellambiente#:~:text=I%20satelliti%20sono%20in%20grado,terreno%2C%20in%20qualsiasi%20condizione%20climatica> <https://www.telespazio.com/it/news-and-stories-detail/-/detail/e-geos-telespazio-copernicus> <https://www.thalesaleniaspace.com/it/news/great-e-groove-2-progetti-di-navigazione-satellitare-il-monitoraggio-ambientale> <https://www.asi.it/2024/06/earthcare-una-risposta-concreta-per-combattere-il-cambiamento-climatico/>