



Tesi di Laurea triennale in Ingegneria Aerospaziale

La Terra vista dall'alto: cosa ci dicono i satelliti sul nostro
pianeta. Un caso studio con la costellazione
Copernicus-Sentinel

Candidato: Giorgia Ghetti

Relatore: Matteo Zanzi

Università degli studi di Bologna

Sessione dicembre 2023
Anno accademico 2022/2023

Indice

1	Introduzione	2
2	Satelliti per l'osservazione terrestre	2
2.1	Telerilevamento	2
2.1.1	Telerilevamento e agricoltura di precisione	6
2.2	Sensori	7
2.3	Orbita del satellite	8
2.4	Evoluzione storica	9
3	Programma Copernicus	12
3.1	Navigare il sito di Copernicus	13
3.2	ESA	14
3.3	Missione sentinel	18
3.4	SENTINEL-1	18
3.4.1	Descrizione del satellite	18
3.4.2	Strumenti a bordo	20
3.4.3	Dati ottenuti	22
3.5	SENTINEL-2	24
3.5.1	Descrizione del satellite	24
3.5.2	Strumenti a bordo	25
3.5.3	Dati ottenuti	28
3.6	SENTINEL-3	31
3.6.1	Descrizione del satellite	31
3.6.2	Strumenti a bordo	32
3.6.3	Dati ottenuti	38
3.7	Utilizzo dati ottenuti tramite Copernicus per lo studio di un caso specifico	42
3.8	Missioni future	50
4	Dati forniti da Copernicus nel mondo dell'agricoltura	51
4.1	Agricoltura di precisione	52
4.2	Portare l'agricoltura nell'era spaziale	53
4.3	TalkingFields: agricoltura intelligente	57
4.4	FaST (Farm Sustainability Tool): strumento per la sostenibilità agricola	60
4.5	FieldScout	61
4.6	ESA Business Applications: Trasformazione sostenibile dell' agricoltura attraverso la digitalizzazione e lo spazio	63
5	sitografia	65

1 Introduzione

Lo scopo di questo elaborato è mostrare come due cose all'apparenza molto distanti tra loro, la tecnologia satellitare e l'agricoltura, possano cooperare. Come prima cosa intendo fornire un'introduzione sull'osservazione terrestre satellitare per fornire gli strumenti necessari ad un'adeguata comprensione dei paragrafi successivi. Nel particolare affronterò i principi fondamentali del telerilevamento, l'orbita su cui viaggia il satellite e sensori di cui deve essere equipaggiato per fornire i dati. Successivamente mi concentrerò su un insieme di missioni dell'ESA, denominate programma Copernicus, il cui obiettivo principale è l'osservazione terrestre. I dati ottenuti dai satelliti Copernicus sono utilizzati in numerose aree di studio della superficie terrestre e io mi focalizzerò sull'agricoltura di precisione e sulle modalità grazie alle quali, una qualsiasi persona, possa accedere e utilizzare queste informazioni in modo pratico e intuitivo.

2 Satelliti per l'osservazione terrestre

I satelliti dedicati all'osservazione terrestre sono distinguibili in base a diversi parametri, tra cui il tipo di orbita, il carico utile, la risoluzione spaziale e le caratteristiche spettrali dei sensori. Tali parametri vengono definiti in fase di pianificazione della missione in base alle specifiche funzioni che i satelliti dovranno svolgere. Nel caso in cui l'obiettivo sia il monitoraggio delle condizioni meteorologiche su vaste aree con elevata frequenza, risulta vantaggioso posizionare il satellite in orbita geostazionaria. Questa tipologia di orbita consente al satellite di osservare in modo continuo quasi un intero emisfero terrestre. Tuttavia, a causa dell'orbita molto elevata (circa 36.000 chilometri dalla Terra), si manifesta una limitazione in termini di risoluzione spaziale. Tale circostanza è di minor rilevanza per applicazioni come l'osservazione dei sistemi nuvolosi sui continenti, in cui l'alta risoluzione spaziale non rappresenta un requisito cruciale. Per applicazioni che richiedono immagini ad alta risoluzione di specifiche aree, quali il monitoraggio di un lago, di un terreno o la mappatura di edifici distrutti da un terremoto, è necessario l'impiego di sensori ad alta risoluzione. Tipicamente, questi sensori presentano un'ampiezza di scansione più limitata e sono montati su satelliti in bassa orbita terrestre (LEO), situati a una distanza ridotta dalla Terra. Tuttavia, in un'orbita di questo tipo non è possibile monitorare costantemente la stessa area a causa del movimento relativo del satellite rispetto alla Terra. Le immagini di una specifica zona possono essere acquisite solo quando il satellite transita sopra di essa.

2.1 Telerilevamento

Il telerilevamento è un metodo per estrarre informazioni da oggetti attraverso la raccolta e l'interpretazione dei dati, senza richiedere che lo strumento utilizzato per acquisire questi dati entri in diretto contatto con l'oggetto sotto esame. Nel telerilevamento l'acquisizione di dati si basa sull'uso di radiazioni elettromagnetiche emesse o riflesse dagli oggetti in esame. L'energia elettromagnetica è definita come un'onda armonica in grado di propagarsi nello spazio, caratterizzata da due differenti campi di forza, il campo elettrico E e il campo magnetico B , posti ortogonalmente tra di loro; tra le caratteristiche, una delle più rilevanti, è la lunghezza d'onda cioè la distanza tra due picchi consecutivi.

Tutti gli oggetti riflettono una parte della luce che li colpisce, e questa quantità di luce dona agli oggetti i loro colori. Una superficie bianca diffonde uniformemente la radiazione attraverso tutto lo spettro delle lunghezze d'onda della luce visibile. Invece ad esempio una foglia riflette una maggiore quantità di radiazione nella gamma delle tonalità verdi rispetto alle porzioni rosse e blu dello spettro visibile. Questa predominanza di radiazione verde rispetto alle altre colorazioni conferisce alla foglia il suo aspetto verde caratteristico. Di conseguenza, l'analisi della composizione spettrale della radiazione riflessa, nota come firma spettrale, ci fornisce informazioni preziose sulla superficie che la emette o riflette. La capacità dei satelliti di distinguere tra

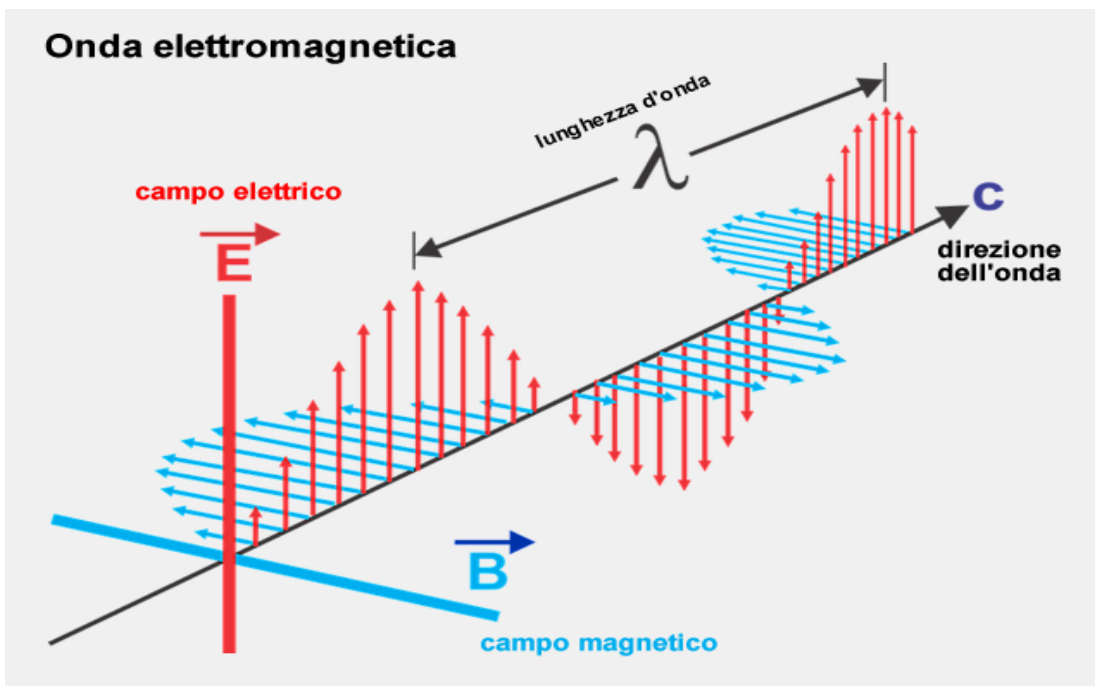


Figura 1: Onda elettromagnetica

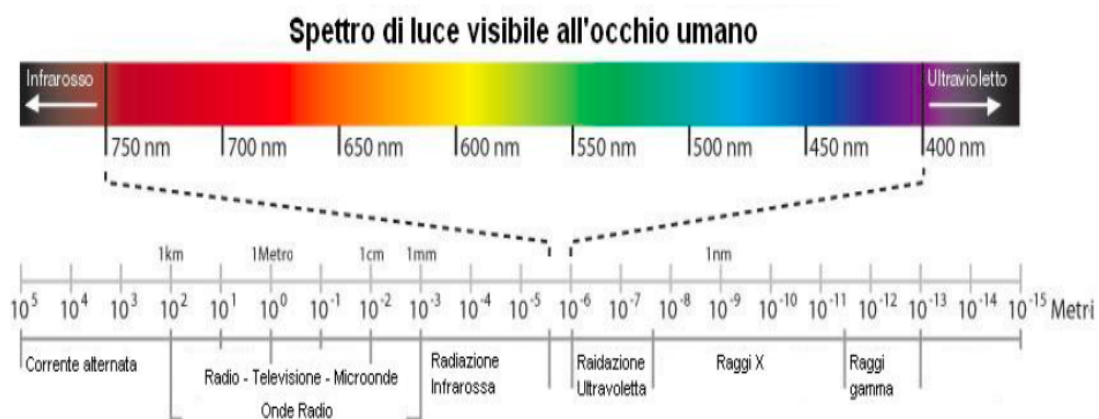


Figura 2: Spettro elettromagnetico

diverse firme spettrali si rivela di fondamentale importanza per applicazioni quali la creazione di mappe, dove è essenziale identificare e distinguere tra differenti tipologie di superfici e aree. La radiazione elettromagnetica emessa da una superficie può presentarsi in due forme: riflessa, quando si tratta di luce proveniente da una fonte esterna, e riflessa dalla superficie, o emessa, quando la superficie stessa irradia radiazione elettromagnetica. La luce del sole riflessa è naturalmente misurabile solo durante le ore diurne, quando la sorgente solare è visibile, mentre l'emissione può essere rilevata in qualsiasi momento, indipendentemente dalle condizioni di luce ambientale. Per chiarificare il concetto con un'esperienza quotidiana si può pensare alla vista umana. Essa rappresenta una modalità di telerilevamento in quanto, quando osserviamo un oggetto, raccogliamo la radiazione elettromagnetica, nota come luce riflessa, che proviene dalla superficie dello stesso. Questa radiazione trasporta informazioni sulla caratteristica superficiale dell'oggetto stesso, permettendoci di percepirne il colore e la forma.

Il calcolo della temperatura superficiale può essere effettuato mediante l'analisi delle emissioni nell'infrarosso termico, una tecnica comune in telerilevamento. Il sole ha una temperatura superficiale di 6000 gradi Kelvin (K) ed un'emissione massima nell'intervallo di luce del visibile. La temperatura della superficie terrestre è di circa 290 gradi K e ha un'emissione massima di circa 14 micrometri, definita anche intervallo dell'infrarosso termico. Le superfici con diverse temperature mostrano picchi di emissione a lunghezze d'onda diverse. Per esempio, il sole emette principalmente a una lunghezza d'onda di 0,483 micrometri, mentre la Terra emette principalmente nell'infrarosso, intorno ai 14 micrometri. L'emissione di una superficie varia in base alla sua temperatura. Ciò significa che è possibile determinare la temperatura superficiale attraverso l'analisi delle emissioni termiche. Poiché la Terra emette solo una quantità limitata di energia nella parte visibile dello spettro elettromagnetico, la sua visibilità dipende principalmente dalla riflessione della luce solare. I raggi solari che colpiscono la Terra possono essere assorbiti, contribuendo al riscaldamento del pianeta, oppure possono essere riflessi e rilevati da occhi umani o sensori a bordo di satelliti. La quantità di radiazione incidente che viene riflessa da una superficie viene espressa dal valore dell'albedo, che per la Terra è mediamente 0,38.

Gli elementi essenziali del telerilevamento si possono suddividere in:

- Una fonte di energia che produce radiazione elettromagnetica interagente con la superficie in esame, e catturata da un sensore.
- Una superficie terrestre di riferimento comprendente elementi quali vegetazione, terreni, acqua, rocce, neve, ghiaccio e strutture umane. Questa superficie riceve l'energia proveniente dalla sorgente, la quale, a seguito dell'interazione fisica e chimica, riflette ed emette una parte di tale energia verso il sensore. L'atmosfera può agire come filtro, influenzando la quantità di energia raggiungente il sensore in base alla sua composizione e alla distanza tra la superficie e il sensore.
- Il sensore, che è l'apparecchio responsabile della misurazione e della registrazione dell'energia emessa dalla superficie.
- La piattaforma, che costituisce la base logistica per il funzionamento del sensore, comprendendo il controllo dell'orbita, la fornitura di energia e le comunicazioni con il sistema di ricezione a terra. In alcuni casi, diverse piattaforme possono ospitare più sensori.
- L'analista, il quale converte i dati raccolti in informazioni tematiche utilizzando metodologie visive e/o digitali.
- La comunità degli utilizzatori, che sfrutta le informazioni estratte per una vasta gamma di scopi.

In questa pratica, i dispositivi di registrazione raccolgono informazioni su diverse proprietà degli oggetti o dei fenomeni; per questo motivo ne troviamo svariati come fotocamere, laser,

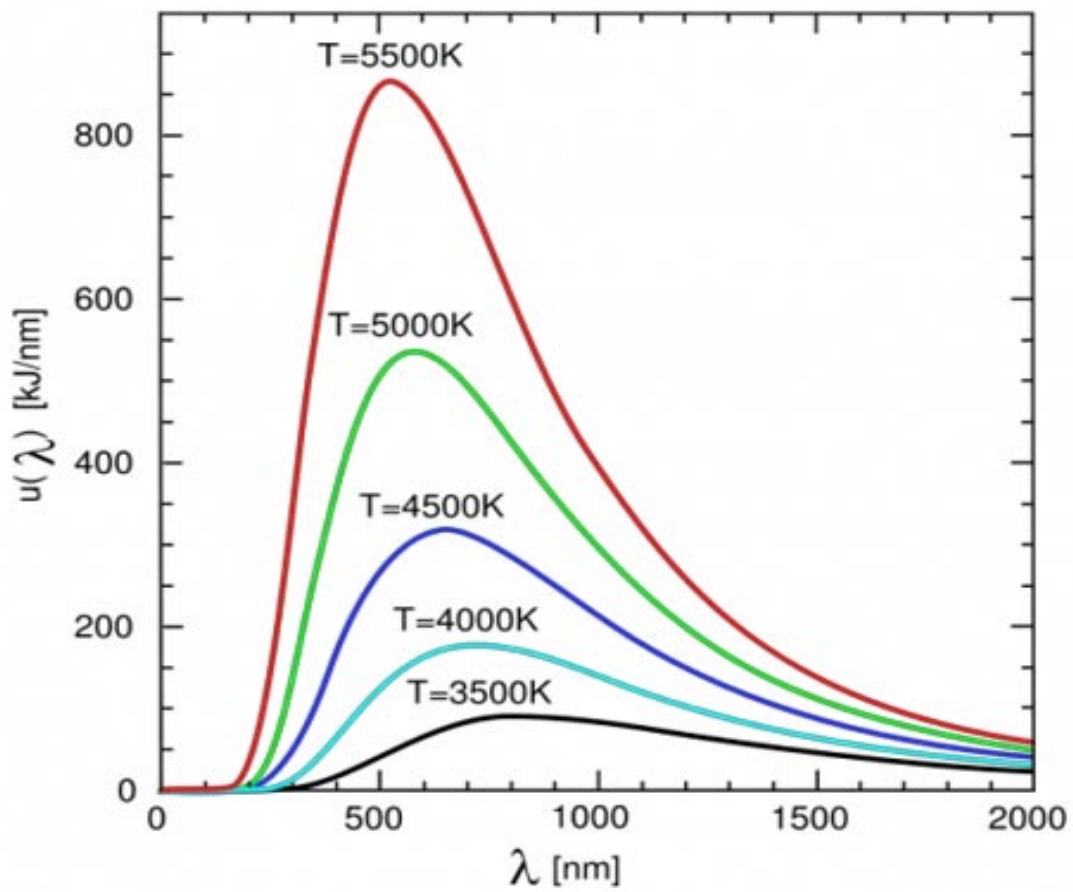


Figura 3: Emissione in funzione della temperatura

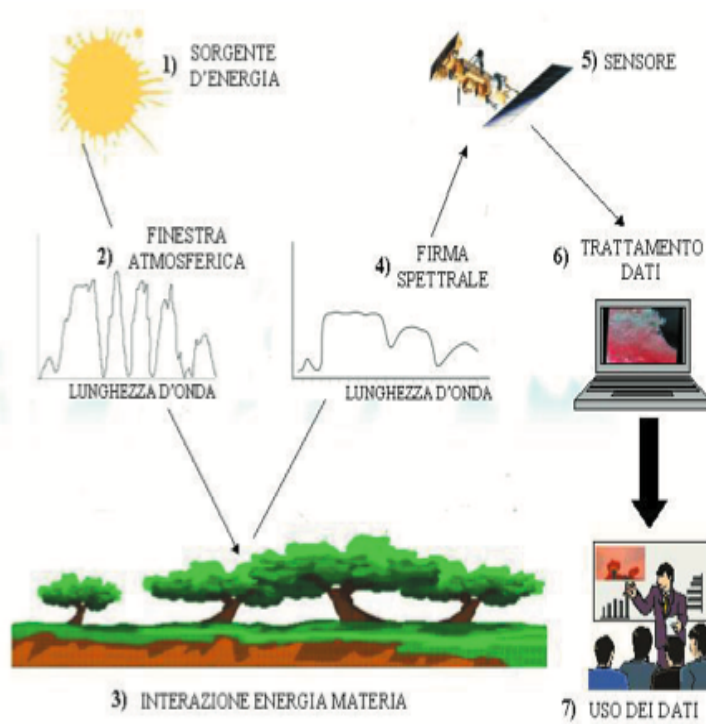


Figura 4: Elementi essenziali telerilevamento

ricevitori a radiofrequenza e sistemi radar. Il telerilevamento è comunemente impiegato per l'osservazione della superficie terrestre, spesso con sensori posizionati a quote elevate per catturare immagini di ampie aree. Tra le molte applicazioni del telerilevamento troviamo la mappatura e l'analisi dell'uso del suolo, il monitoraggio delle risorse vegetali in agricoltura e foreste, la sorveglianza delle risorse idriche, delle coperture di neve e dei ghiacciai, la valutazione della fauna selvatica, le indagini archeologiche, la gestione delle emergenze ambientali, la pianificazione delle zone costiere, applicazioni militari, fornire dati anche in aree di difficile accesso a causa delle condizioni meteorologiche o della morfologia del territorio e molte altre. Ciascuna di queste applicazioni richiede sensori con specifiche caratteristiche tecniche, tra cui risoluzione spettrale, risoluzione spaziale, risoluzione radiometrica e risoluzione temporale. Un elemento cruciale del telerilevamento comprende l'analisi e l'interpretazione dei dati e delle immagini raccolte. Per ottenere informazioni significative per gli scopi specifici, è necessario avere una solida comprensione della base fisica e dei processi di acquisizione, nonché una conoscenza approfondita degli algoritmi utilizzati per l'elaborazione dei dati.

2.1.1 Telerilevamento e agricoltura di precisione

Un applicazione del telerilevamento è l'agricoltura di precisione, una pratica che coinvolge il monitoraggio del suolo e dei tessuti vegetali delle colture agricole. L'obiettivo principale è valutare la variabilità spaziale e temporale dei fattori che influenzano la produzione agricola al fine di ottimizzare l'utilizzo degli input nel processo di gestione agricola dinamica. Questo campo include il monitoraggio del territorio e la classificazione delle colture, la valutazione dei parametri di qualità ambientale e della salute delle piante, nonché la stima preventiva dei raccolti e della produttività agricola. L'analisi spettrale svolge un ruolo cruciale in questo contesto poiché permette di generare firme spettrali dagli elementi di interesse, di classificare il territorio e di

definire indici spettrali utili per esaminare le caratteristiche fisiologiche delle colture, nonché la loro variabilità nello spazio e nel tempo. L'utilizzo di informazioni digitali offre notevoli vantaggi agli agricoltori, facilitando la memorizzazione e il confronto dei dati attuali con quelli raccolti in passato. L'agricoltura di precisione è applicata sia ai sistemi erbacei che a quelli arborei, con un focus specifico sulla viticoltura di precisione. Questo perché i vigneti possono contenere aree con diverse caratteristiche, come composizione del terreno, umidità, illuminazione e microclima, che richiedono un'analisi dettagliata e su misura. In conclusione, in questo campo è possibile anche effettuare stime preventive sulla produzione.

2.2 Sensori

A seconda dell'oggetto che si desidera studiare, si sceglie il sensore più idoneo per catturare i dati; nel campo del telerilevamento lo strumento utilizzato per catturare immagini, come potrebbe fare una comune macchina fotografica, viene chiamato sensore. Questo termine fa riferimento a una gamma più ampia di modalità per acquisire informazioni rispetto a una semplice fotografia che cattura solo informazioni visibili tramite gli occhi umani, mentre il telerilevamento coinvolge anche l'uso di diverse radiazioni all'interno dello spettro elettromagnetico. Infatti, nel telerilevamento, i sensori permettono di acquisire anche informazioni che sono al di fuori dello spettro visibile ovvero ciò che l'occhio umano normalmente non può percepire (utilizzando radiazioni in altre parti dello spettro elettromagnetico). Un esempio noto riguarda visori ad infrarossi che consentono di "vedere" nell'oscurità ampliando le capacità di visione utilizzando l'illuminazione infrarossa.

La luce (e il calore) emessa o riflessa dagli oggetti è conosciuta come radiazione. Questa radiazione è costituita da particelle con carica elettrica in movimento e si comporta come un'onda. Per misurare la radiazione emessa o riflessa dagli oggetti, è necessario valutare la loro lunghezza d'onda, che rappresenta la distanza tra i picchi di questa radiazione. L'intera gamma di lunghezze d'onda possibili è chiamata spettro elettromagnetico, di cui è stata fornita un'immagine nelle pagine precedenti.

Nel telerilevamento, sono impiegati vari sensori, ognuno dei quali è sensibile a diverse lunghezze d'onda all'interno dello spettro elettromagnetico. Ad esempio, alcuni sensori sono progettati per rilevare tutte le lunghezze d'onda nel verde, mentre altri sono orientati alle lunghezze d'onda dell'infrarosso. Tutti i sensori specializzati nella rilevazione delle lunghezze d'onda riflesse o emesse dagli oggetti osservati sono chiamati "sensori passivi." Il principale svantaggio dei sensori passivi è che non possono essere utilizzati quando il cielo è nuvoloso o durante le ore notturne. Pertanto, in queste situazioni, si ricorre ai "sensori attivi," che emettono una radiazione poi riflessa dagli oggetti e misurano l'energia che ritorna indietro.

I sensori possono essere multispettrali o iperspettrali a seconda del numero e della larghezza delle bande di acquisizione spettrale. Mentre i sensori multispettrali di solito raccolgono dati in un numero di bande che va da tre a dieci, i sensori iperspettrali hanno la capacità di catturare immagini in un numero molto più elevato di bande spettrali, talvolta superiore al centinaio. Per quanto riguarda i sensori multispettrali, essi includono tipicamente le tre bande del visibile, corrispondenti ai colori rosso, verde e blu, e possono eventualmente aggiungere bande nell'ultravioletto o nell'infrarosso vicino. Queste bande hanno una larghezza di solito dell'ordine di circa cento nanometri. Le bande dei sensori iperspettrali, invece, sono molto più numerose e quindi molto più sottili, con larghezze che di solito si aggirano attorno a qualche decina di nanometri.

Inizialmente, durante le prime fasi del telerilevamento, il radar rappresentava la tecnologia attiva predominante, sfruttando le onde radio per le sue operazioni. Tuttavia, oggi è sempre più comune utilizzare la tecnica LIDAR. Quest'ultima, a differenza del radar, utilizza impulsi laser per misurare non solo la distanza tra il sensore e l'oggetto o la superficie osservata, ma è in grado di fornire anche informazioni dettagliate sulla presenza e concentrazione di specifiche sostanze chimiche presenti nell'atmosfera e nelle aree acquatiche. Come nel caso del radar, la

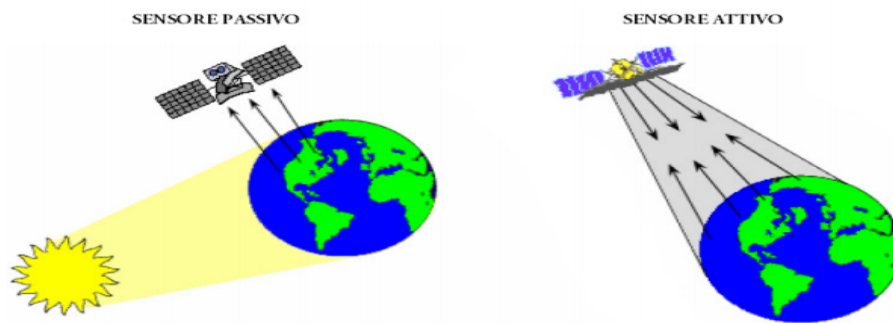


Figura 1.3: Rappresentazione basilare di entrambi i tipi di sensori: attivi e passivi.

Figura 5: Satelliti con sensori attivi e passivi

distanza dall'oggetto in esame è determinata calcolando il tempo che intercorre tra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale riflesso.

2.3 Orbita del satellite

I satelliti, trovandosi in orbita attorno alla Terra, sono soggetti alle forze gravitazionali e centrifughe; l'equilibrio di queste forze è ciò che gli consente di rimanere in una determinata orbita per un lungo periodo di tempo. La spinta gravitazionale esercitata dalla Terra è in grado di mantenere il satellite in orbita, mentre la forza centrifuga, generata dalla costante velocità del satellite, contribuisce a mantenerla stabile. Inoltre, poiché essi si trovano al di fuori dell'atmosfera terrestre, non sono soggetti a resistenza dell'aria, il che significa che la loro velocità rimane costante in base alla legge di inerzia, permettendo loro di mantenere un'orbita stabile per molti anni.

È importante notare che la forza gravitazionale diminuisce all'aumentare della distanza dalla Terra, mentre la forza centrifuga aumenta in proporzione all'aumento della velocità orbitale. Di conseguenza, un satellite in un'orbita bassa (Leo, Low Earth Orbit), come ad esempio a una distanza di circa 800 chilometri dalla Terra, è soggetto a una forte attrazione gravitazionale e deve muoversi a una notevole velocità per generare una forza centrifuga equivalente. Questo crea una diretta correlazione tra la distanza dalla Terra e la velocità orbitale del satellite. A una distanza di 36.000 chilometri dalla Terra, l'orbita geostazionaria ha una durata di 24 ore, che corrisponde al periodo di rotazione della Terra. In queste orbite geostazionarie, un satellite sopra l'Equatore rimane stazionario rispetto alla superficie terrestre.

Le orbite geostazionarie (Geo, Geostationary Earth Orbit) sono comunemente utilizzate per ospitare numerosi satelliti di telecomunicazione, tra cui quelli dedicati alle trasmissioni televisive. Questi satelliti sono in grado di inviare segnali in qualsiasi parte del mondo. Dato che i segnali di telecomunicazione seguono una traiettoria rettilinea, è fondamentale che i satelliti mantengano una posizione stazionaria rispetto alla superficie terrestre al fine di garantire una comunicazione efficace. Un satellite stazionario utilizzato nell'ambito del telerilevamento offre l'indubbio vantaggio di mantenere una prospettiva costante sulla Terra, consentendo quindi la registrazione ripetuta di immagini della medesima area in brevi intervalli temporali. Questa caratteristica risulta particolarmente preziosa per il monitoraggio delle condizioni meteorologiche. Tuttavia, è importante sottolineare che l'impiego di orbite geostazionarie presenta alcune limitazioni. La notevole distanza tra tali satelliti e la Terra comporta una riduzione della risoluzione spaziale raggiungibile, il che li rende meno idonei per applicazioni che richiedono dettagli

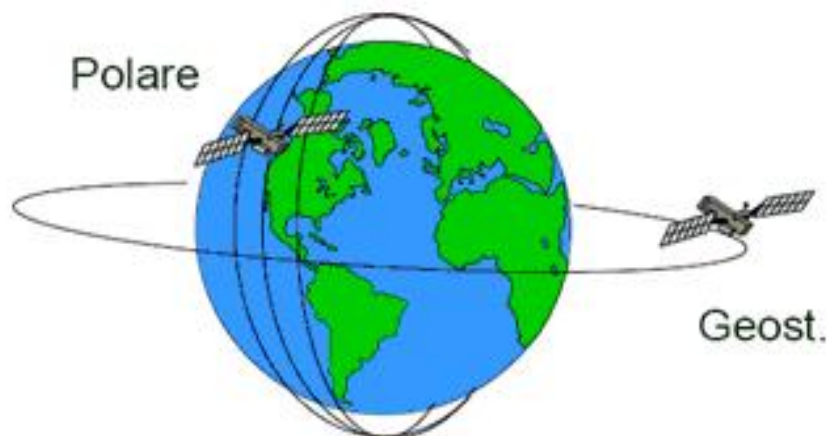


Figura 6: Orbita geostazionaria e eliosincrona polare

più fini. Per ottenere una copertura globale e garantire una risoluzione spaziale sufficiente, è necessario disporre di numerosi satelliti meteorologici distribuiti in orbite geostazionarie in varie parti del mondo.

Molti satelliti sono equipaggiati con sistemi a sensore passivo che dipendono dall'illuminazione solare e, conseguentemente, dall'orbita dei satelliti attorno alla Terra. Questi sensori misurano la riflessione della luce solare proveniente dalla Terra; è essenziale che le loro orbite siano sincronizzate con il ciclo giorno-notte per garantire che le condizioni di illuminazione siano uniformi e confrontabili in diverse acquisizioni di immagini effettuate nel corso di un periodo prolungato. Pertanto, le registrazioni devono avvenire alla medesima ora locale del giorno, in modo che l'altezza del sole sull'orizzonte sia costante e l'angolo tra il piano dell'orbita satellitare e la luce solare sia il medesimo. Questi requisiti possono essere soddisfatti posizionando il satellite in un'orbita eliosincrona (SSO, Sun-synchronous orbit) polare. Le orbite polari risultano inclinate di quasi 90° rispetto all'equatore e passano sopra ai poli terrestri. Mentre il satellite gira intorno alla Terra, quest'ultima continua a ruotare sul proprio asse. Ogni rotazione completa del satellite corrisponde a una scansione di una nuova striscia della superficie terrestre. Dopo un certo numero di rotazioni, si completa la scansione dell'intera superficie terrestre. Tuttavia, è importante notare che la frequenza di tali acquisizioni varia a seconda delle caratteristiche del satellite. Alcuni satelliti effettuano ampie scansioni ad ogni orbita, consentendo loro di coprire l'intera superficie terrestre in un breve periodo, mentre altri, dotati di elevata risoluzione, impiegano più tempo per eseguire scansioni dettagliate di porzioni specifiche del pianeta, richiedendo quindi un maggior numero di rotazioni per completare la copertura dell'intero globo.

2.4 Evoluzione storica

Nonostante le prime fotografie della Terra dallo spazio siano state effettivamente scattate nel 1946 da una fotocamera montata su un razzo V-2 sopra il deserto del New Mexico, l'era dell'osservazione remota da satellite ha avuto inizio con il lancio del Sputnik 1 nel 1957. Questo satellite completava un'orbita intorno alla Terra ogni 96 minuti e trasmetteva segnali radio che potevano essere ricevuti sulla Terra. A questo successo seguì il lancio del Sputnik 2 un mese dopo, nel novembre 1957, e dei primi satelliti statunitensi, l'Explorer 1 nel gennaio 1958 e il Vanguard 1 nel marzo 1958. Vanguard 1 è ancora il satellite più antico in orbita intorno alla Terra e ha prodotto le prime misurazioni della densità dell'atmosfera superiore. Il primo satellite progettato specificamente per l'osservazione della Terra è stato il Vanguard 2, ma problemi tecnologici hanno limitato la raccolta dei dati previsti sulla copertura nuvolosa. È stato suc-

cessivamente sostituito da TIROS-1 nel 1960, che ha prodotto le prime immagini televisive dei modelli meteorologici dallo spazio.

Il successo di TIROS-1 ha portato a una serie di satelliti meteorologici e ha anche fornito la base per lo sviluppo di dispositivi specificamente progettati per l'osservazione della Terra. La serie di satelliti dell'Amministrazione nazionale oceanica e atmosferica (NOAA) ha seguito i satelliti TIROS utilizzando uno strumento chiamato Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), che ha misurato la riflettanza dalla Terra in cinque bande spettrali, che vanno dal visibile all'infrarosso. Sebbene fosse stato progettato per scopi meteorologici, questo sensore si è rivelato alla fine il più efficace per l'osservazione della terra e del mare, fornendo misurazioni in diverse epoche a livello globale.

Un importante sviluppo dal 1960 al 1980 è stato l'uso di sensori multispettrali, stimolato in parte dalla declassificazione dei satelliti militari che utilizzavano l'infrarosso e le microonde per osservare la superficie terrestre. A seguito delle ricerche pionieristiche della NASA e dell'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti per valutare l'utilità dell'osservazione terrestre in silvicoltura e agricoltura, la NASA ha lanciato il Landsat 1 nel 1972 per monitorare le aree terrestri della Terra. Le immagini Landsat hanno rappresentato vaste aree della superficie terrestre in diverse regioni dello spettro elettromagnetico, compresi il visibile e l'infrarosso vicino, a risoluzioni spaziali sufficienti per molte applicazioni pratiche, come la valutazione della copertura e dell'uso del suolo.

L'immagine Landsat 1 ha dato origine a una serie di missioni "enhanced" Landsat, trasportando alla fine in orbita l'Enhanced Thematic Mapper (ETM), in grado di raccogliere dati con l'ausilio di otto bande spettrali, di nuovo nel visibile e nell'infrarosso vicino, a una risoluzione spaziale di 15 metri. Queste missioni hanno costituito un modello per satelliti e sensori di osservazione terrestre simili nei decenni successivi, come il sistema francese Systeme Pour l'Observation de la Terre (SPOT) e, più recentemente, l'Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) della NASA. I satelliti Nimbus, iniziati nel 1964, sono stati anche una serie di riferimento, trasportando sensori in grado di monitorare i processi biologici oceanici, la composizione atmosferica e la topografia dei ghiacci. I sensori Nimbus includevano telecamere visibili, radiometri infrarossi e a microonde, spettrometri, sensori di retrodiffusione ultravioletta e scanner della zona costiera.

Negli anni ottanta si sono verificati significativi progressi nelle capacità delle tecnologie esistenti, nonché lo sviluppo di nuove, compresi sensori iperspettrali che combinano informazioni da diverse bande spettrali, spettrometri multi-angolari che combinano le viste da diverse direzioni, sistemi di rilevazione capaci di percepire cambiamenti nella pressione atmosferica e radar spaziali. I sistemi attivi a microonde sono stati utilizzati per il tracciamento di oggetti in movimento sin dall'inizio del ventesimo secolo, ma solo negli ultimi due decenni i sensori a bordo di satelliti hanno prodotto immagini a microonde attive, in cui gli strumenti emettono impulsi radar e ne misurano la riflessione. Il radar a sintesi d'apertura (SAR) è una variante di questa tecnologia che può percepire attraverso le nuvole e senza luce solare, misurando il ritardo temporale tra emissione e ritorno, stabilendo così la posizione, l'altezza e le proprietà di scattering della superficie terrestre. Il SAR acquisisce dati con la sua antenna relativamente piccola in posizioni multiple durante la trasmissione e la ricezione. Questi segnali vengono combinati, tenendo conto del ritardo temporale tra di essi, per fornire le stesse informazioni che un'antenna molto più costosa sarebbe in grado di fornire. Le applicazioni radar satellitari si sono ora notevolmente diversificate, con configurazioni di sensori che includono altimetri sufficientemente sensibili per misurare l'altezza del livello del mare con una precisione di diversi millimetri e scatterometri per misurare la ruvidezza della superficie. Gli immagini polarimetrici, che rilevano l'intensità relativa delle componenti polarizzate della radiazione riflessa, e gli immagini interferometrici, che rilevano la sovrapposizione di diverse lunghezze d'onda, sono utilizzati per monitorare piccoli movimenti terrestri e dei ghiacci. Inoltre, a causa della continua declassificazione dei satelliti militari e delle tecnologie migliorate, ora abbiamo le viste satellitari ad alta risoluzione spaziale sulla Terra mai viste prima, con oggetti di 60 centimetri distinguibili nelle immagini da



Figura 7: Immagine Sputnik-1

Quickbird, un satellite commerciale di proprietà privata.

L'ultimo strumento di rilevamento remoto via satellite introdotto è il laser, utilizzato principalmente per il rilevamento topografico e dei ghiacci, ma anche per misurare le proprietà atmosferiche e la superficie terrestre attraverso la fluorescenza. Sostanze come la clorofilla diventano fluorescenti naturalmente a lunghezze d'onda specifiche, consentendo di calcolare le quantità di vita vegetale in una determinata area, ad esempio in un'esplosione di alghe oceaniche. La fluorescenza è anche utile nello studio dell'atmosfera. Il satellite Calipso della NASA utilizza uno strumento radar basato su laser, o lidar, per misurare la riflessione retrodiffusa, o fluorescenza, delle nuvole, che fornisce informazioni non solo sulle altitudini delle nuvole ma anche sulle proprietà degli aerosol al loro interno. Ad esempio, Calipso ha individuato una grande nube di biossido di zolfo che non sarebbe stata visibile a molti altri sensori.

Dagli inizi degli anni novanta, si sono sviluppate due tendenze contrastanti nella progettazione e nell'operatività dei satelliti. In primo luogo, le grandi organizzazioni spaziali nazionali, tra cui la NASA e l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), hanno concentrato le loro risorse di osservazione della Terra sulla progettazione e il lancio di piattaforme multisensoriali di grandi dimensioni, con ciascun sensore progettato per monitorare un aspetto specifico dei processi del sistema terrestre, spesso a livello globale. Lanciati nel dicembre 1999 e nel maggio 2002, Terra e Acqua sono i primi di una serie di satelliti multi-strumentali che compongono il Sistema di Osservazione della Terra (EOS) della NASA.

Una seconda tendenza contrastante nella progettazione dei satelliti è quella verso satelliti nazionali più piccoli e meno costosi. Oltre 20 paesi stanno sviluppando o operando satelliti di rilevamento remoto. Di solito, questi sono modellati sul design Landsat. Poiché i costi degli strumenti e dei lanci sono diminuiti, paesi a basso reddito come l'India, il Brasile e la Nigeria hanno lanciato i loro satelliti di osservazione terrestre. Molti di questi nuovi satelliti sono sviluppati e lanciati da operatori commerciali e sono in grado di raccogliere immagini su richiesta e a pagamento, in una varietà di modalità operative.



Figura 8: Immagine Vanguard-1

3 Programma Copernicus

Il programma Copernicus è attualmente il più ambizioso programma di osservazione terrestre al mondo, composto da una vasta gamma di sistemi, tra cui satelliti, stazioni terrestri, sensori aerei e marini. Esso è un'iniziativa che sta plasmando il futuro del nostro pianeta a vantaggio di tutti, sfruttando l'ampia esperienza dell'ESA in programmi spaziali che si estende per tre decenni. Questo programma fornisce dati precisi, tempestivi e facilmente accessibili che migliorano la gestione ambientale, aiutano a comprendere e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici e garantiscono la sicurezza civile. La gestione del programma è sotto la responsabilità e coordinazione della Commissione Europea, mentre l'ESA supervisiona lo sviluppo delle componenti spaziali. Le sei principali aree tematiche dei servizi legati al programma Copernicus sono:

- Territorio
- Mare
- Atmosfera
- Cambiamenti climatici
- Gestione delle emergenze
- Sicurezza

Questi servizi sono fondamentali per una vasta gamma di applicazioni che abbracciano la protezione ambientale, la gestione delle aree urbane, la pianificazione del territorio, l'agricoltura, la gestione delle foreste, la pesca, i trasporti, lo sviluppo sostenibile, la protezione civile e il turismo. I principali fruitori dei servizi Copernicus sono le autorità pubbliche, che li utilizzano principalmente per la formulazione di politiche ambientali e la gestione di situazioni di emergenza.



Figura 9: Copernicus

I servizi di osservazione terrestre forniti da Copernicus si possono suddividere in:

- **Globali:** Questi servizi forniscono una gamma di prodotti per lo studio della superficie terrestre su scala globale, con risoluzioni spaziali medie e basse. I prodotti sono impiegati per monitorare la vegetazione, il ciclo dell'acqua e altre applicazioni.
- **Pan-Europei:** Questi servizi sono mirati all'analisi della copertura del suolo europeo e dei cambiamenti che si verificano nel corso degli anni, considerando elementi come corpi idrici, suolo nudo, foreste e aree impermeabilizzate.
- **Locali:** Questi servizi sono specifici per particolari regioni o aree caratterizzate da peculiarità, ad esempio costiere, grandi città o reti idriche.
- **In-sito:** Tutti i servizi richiedono dati provenienti dalle aree di interesse per supportare i prodotti satellitari.

3.1 Navigare il sito di Copernicus

Le informazioni relative alle missioni Sentinel si possono trovare sul sito ufficiale sentinels.copernicus.eu. Esso è suddiviso in sei sezioni principali:

- missioni
- guida utente
- guida tecnica
- aree tematiche
- accesso ai dati

- toolbox

Nella sezione missioni è presente una descrizione ricca di dettagli per ogni satellite Sentinel nella quale, dopo una rapida introduzione, sono esplicitati numerosi parametri tra i quali possiamo trovare: gli obiettivi della missione, i parametri orbitali, le caratteristiche del satellite, gli strumenti con cui è equipaggiato e i dati prodotti dalla missione. Nella guida utente troviamo degli approfondimenti relativi agli strumenti a bordo del satellite come per esempio sul SAR per Sentinel-1, MSI per Sentinel-2 e OLCI, SLSTR, l'altrimeto e prodotti di sinergia per Sentinel-3. Queste sono le aree tematiche da cui ho estrapolato le informazioni, in mia opinione più importanti, che ho utilizzato nei miei paragrafi relativi alla descrizione dei satelliti, strumenti di bordo e dati ottenuti. Nella sezione missione è anche presente un paragrafo relativo alle future missioni nel programma Copernicus. Nella parte relativa alle aree tematiche, per lo studio delle quali vengono utilizzati i dati prodotti dai satelliti, possiamo trovare: il monitoraggio terrestre, marino, atmosferico, di emergenza e relativo al cambiamento climatico. Io mi sono concentrata sul monitoraggio terrestre e nel particolare l'agricoltura di precisione di cui ho riportato articoli, utilizzi odierni e missioni future descritte sul sito. Il Toolbox è invece un insieme di strumenti di elaborazione, lettori e scrittori di prodotti dati e un'applicazione per la visualizzazione e l'analisi, progettato per gestire l'ampio archivio di dati provenienti dalle missioni.

Tramite la sezione accesso dati è possibile accedere alle informazioni ottenute dai satelliti Sentinel tramite la piattaforma Copernicus Data System alla quale bisogna iscriversi. La registrazione alla piattaforma, come scritto sul sito, richiede sessanta secondi e risulta estremamente semplice; nel caso di problemi nella sezione accesso ai dati è presente un sotto paragrafo relativo al processo. I dati presenti in Copernicus Data System sono abbastanza grezzi e di difficile comprensione per questo gli utenti si affidano, generalmente, value-adder per l'interpretazione e l'utilizzo di tali informazioni. In Copernicus Data System è presente un Browser per poter cercare e visualizzare le immagini satellitari con la possibilità di selezionare il satellite e la banda di frequenza di interesse. L'utilizzo del Browser può risultare ostico inizialmente soprattutto nella fase di selezione del satellite e di conseguenza tipo di dati in base ai parametri della ricerca e la loro successiva interpretazione. Una versione semplificata, gratuita, senza obbligo di iscrizione e ricca di guide e video tutorial per l'utente è l'EO Browser. EO Browser mette insieme un vasto archivio di dati provenienti da Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, l'archivio dell'ESA di Landsat 5, 7 e 8, la copertura globale di Landsat 8, Envisat Meris, MODIS, Proba-V e prodotti GIBS in un'unica piattaforma, consentendo di esplorare e confrontare immagini ad alta risoluzione provenienti da tali fonti. Il processo è semplice: basta selezionare l'area di tuo interesse, scegliere le fonti dei dati, definire l'intervallo temporale e stabilire la copertura nuvolosa desiderata, quindi esaminare i dati risultanti. Nel EO Browser è anche fornita la funzione "Education" grazie alla quale si possono esplorare dodici aree tematiche di interesse tra cui l'agricoltura; utilizzerò questa particolare opzione per raccogliere i dati relativi al mio caso di studio.

3.2 ESA

L'ESA è l'acronimo di European Space Agency. La sua storia ha inizio nel 1961 con la conferenza europea preparatoria per la ricerca spaziale (COPERS, European Preparatory Commission for Space Research), da cui nasce, nel 1964, ELDO (European Launcher Development Organization) con l'obiettivo di sviluppare un vettore di lancio indipendente dalle due principali potenze spaziali dell'epoca.

La prima sede di ricerca fu stabilita in Italia, a Frascati, e successivamente, nel 1966, fu rinominata ESRIN (European Space Research INstitute), denominazione che conserva ancora oggi. Il 30 maggio 1975, Belgio, Danimarca, Francia, Repubblica Federale di Germania, Italia, Olanda, Spagna, Svezia, Svizzera e Regno Unito firmarono la convenzione di fondazione dell'ESA (Convention of establishment of European Space Agency). Attualmente, l'ESA è un'organizzazione



European Space Agency

Figura 10: Logo ESA

internazionale composta da 22 stati membri che collaborano per coordinare risorse finanziarie e intellettuali allo scopo di sviluppare programmi spaziali in linea con gli obiettivi di ogni paese europeo. La missione dell'ESA è quella di contribuire allo sviluppo delle capacità spaziali europee e di garantire che gli investimenti nello spazio continuino a beneficiare i cittadini europei e globali.

Gli stati membri dell'ESA comprendono Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Olanda, Norvegia, Polonia, Portogallo, Romania, Spagna, Svezia, Svizzera e Regno Unito. Inoltre, il Canada partecipa a determinati progetti mediante un accordo di cooperazione. Alcuni altri paesi europei hanno accordi di cooperazione con l'ESA, mentre altri partecipano al Plan for European Cooperating States (PECS).

Il bilancio complessivo dell'agenzia nel 2016 ammonta a circa 5,250 milioni di euro, con la maggior parte di questi fondi (circa 1,600 milioni di euro) destinata all'osservazione terrestre. Per mettere in prospettiva questi dati, si può affermare che ciascun abitante dei paesi membri contribuisce finanziariamente ai programmi spaziali dell'ESA con una somma pari a quella di un biglietto del cinema.

L'ESA dispone di diverse sedi in vari paesi europei, ciascuna con funzioni specifiche. Il quartier generale dell'ESA si trova a Parigi ed è il luogo in cui vengono formulate le politiche e i programmi dell'agenzia. Altre sedi includono:

- L'European Astronauts Center a Colonia, Germania
- L' European Space Astronomy Center a Madrid, Spagna
- L'European Space Operations Center a Darmstadt, Germania
- L'European Space Research and Technology Center a Noordwijk, Olanda
- L'European Center for Space Applications and Telecommunications a Harwell, Regno Unito
- L'European Space Security and Education Center a Redu, Belgio.

L'ESA collabora con Stati Uniti e Russia in alcune missioni, tra cui la Stazione Spaziale Internazionale, e dispone di numerose stazioni di tracciamento sparse in varie parti del mondo.

In queste sedi, lavorano circa 2,200 professionisti, tra ingegneri, scienziati, informatici e altro personale tecnico e amministrativo proveniente da ciascuno dei paesi membri.



Figura 11: Mappa paesi membri dell'ESA

L'ESA è coinvolta in una vasta gamma di programmi spaziali, che spaziano dall'esplorazione spaziale allo studio della Terra, del sistema solare e dell'universo. Tra le sue missioni più conosciute figurano:

- Artemis, satellite di telecomunicazioni europeo
- Huygens, sonda atterrata su Titano (satellite di Saturno) durante la missione Cassini
- Hubble, telescopio spaziale in collaborazione con la Nasa
- ISS, Stazione Spaziale Internazionale, collaborazione con USA, Russia, Canada e Giappone
- Envisat, satellite ambinetale
- Rosetta, missione per lo studio della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko
- Sentinel, progetto ai fini dello studio e dell'osservazione della Terra mediante 6 serie di satelliti
- Galileo, sistema di posizionamento e navigazione satellitare civile, sviluppato in Europa come alternativa al Global Positioning System (GPS), controllato invece dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti d'America.
- Proba, insieme di satelliti con lo scopo di testare nuove tecnologie per missioni future

L'ESA è anche attiva nell'esplorazione e nello studio del sistema solare, oltre a condurre numerose missioni di osservazione orbitante per analizzare porzioni specifiche dello spettro elettromagnetico per scopi di studio dello spazio profondo.

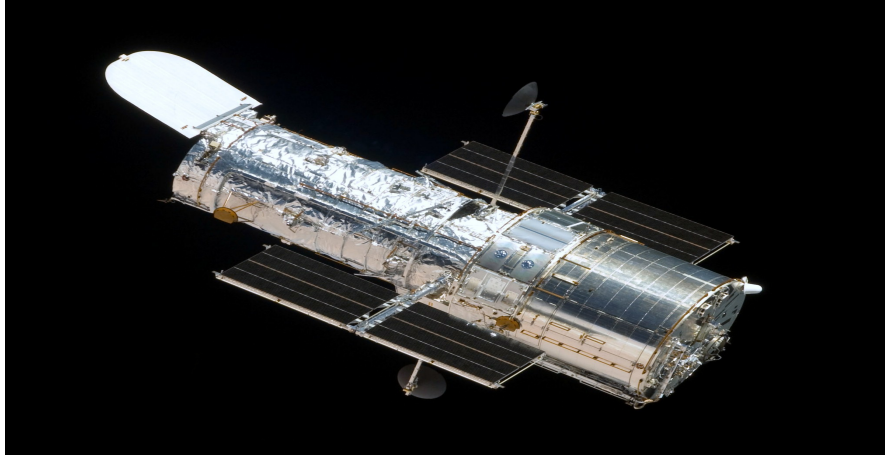


Figura 12: Telescopio spaziale Hubble

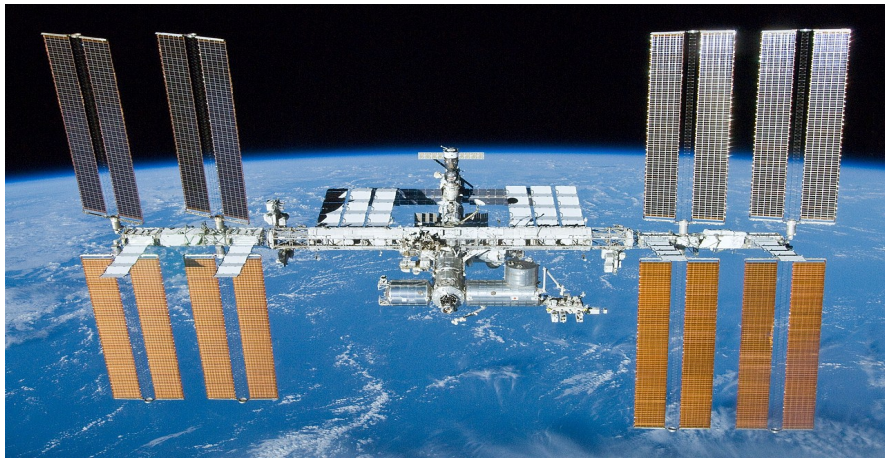


Figura 13: Stazione spaziale internazionale

3.3 Missione sentinel

Il programma Copernicus, per il raggiungimento dei suoi obiettivi ha utilizzato dati provenienti da varie missioni spaziali, tra cui Landsat o Rapid Eye, per il monitoraggio del territorio. Tuttavia, a partire dal 3 aprile 2014, con il lancio del satellite Sentinel-1A, è stata avviata una nuova serie di missioni, in cui sono previsti ben sei gruppi di due satelliti ciascuno, noti come missioni Sentinel. L'obiettivo principale dei satelliti Sentinel è di fornire un supporto fondamentale alle esigenze operative del programma Global Monitoring for Environmental Security (GMES). Questi satelliti costituiscono la componente spaziale chiave del programma Copernicus e costituiscono anche il contributo europeo al sistema globale di osservazione terrestre, noto come Global Earth Observation System of Systems (GEOSS). I satelliti Sentinel sono stati equipaggiati con una vasta gamma di soluzioni tecnologiche, tra cui sensori radar e multispettrali, per coprire i molteplici campi di applicazione già menzionati. Delle sei missioni relative ai satelliti Sentinel io mi focalizzerò su Sentinel-1, Sentinel-2, Seintinel-3 poichè i dati provenienti da questi vengono utilizzati nell'ambito del monitoraggio terrestre.

3.4 SENTINEL-1

Sentinel-1 prosegue la tradizione dell'osservazione della Terra con radar a sintesi di apertura (SAR) in banda C dell'ESA, ereditata da ERS-1, ERS-2 e ENVISAT, nonché dai satelliti RADARSAT-1 e RADARSAT-2 del Canada. I satelliti European Remote Sensing (ERS) hanno segnato importanti traguardi nell'osservazione della Terra. Lanciato nel luglio 1991, ERS-1 ha introdotto l'utilizzo affidabile e stabile del radar nello spazio grazie al suo strumento Active Microwave Instrument (AMI). ERS-2, che ha preso il volo nell'aprile 1995, condivideva la stessa orbita di ERS-1, consentendo una missione in tandem nel 1995 e 1996, durante la quale sono stati raccolti dati interferometrici con un giorno di differenza. ERS-1 è rimasto operativo fino al marzo 2000, mentre ERS-2 ha superato di gran lunga la sua durata prevista, acquisendo immagini fino al 2011. ENVISAT ha fornito dati SAR per un decennio ed è stata la missione di osservazione della Terra civile più grande mai lanciata nello spazio. ENVISAT ha portato nuove funzionalità rispetto a ERS grazie al suo sensore Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR), che includeva ampi passaggi, doppia polarizzazione e acquisizioni simultanee da parte del suo sensore MERIS. SENTINEL-1 offre miglioramenti rispetto alle missioni precedenti in termini di affidabilità, frequenza di ripasso, copertura geografica e veloce distribuzione dei dati.

3.4.1 Descrizione del satellite

Il satellite è stato sviluppato da un consorzio industriale con Thales Alenia Space Italy come capofila e Astrium Germany responsabile del carico utile CSAR, che incorpora il sottosistema centrale dell'elettronica radar sviluppato da Astrium UK. Esso si basa sulla piattaforma PRIMA (Piattaforma Italiana Multi Applicativa), che eredita l'esperienza acquisita dai progetti RADARSAT-2 e COSMO-SKYMED, che utilizzano la stessa. Questa piattaforma fornisce un'elevata precisione nella conoscenza dell'orientamento (con un errore inferiore a $0,004^\circ$) lungo ciascun asse, garantendo un'alta precisione di puntamento (circa $0,01^\circ$ su ciascun asse) e una determinazione in tempo reale dell'orbita, accompagnata da un sistema di propulsione dedicato per un controllo preciso dell'orbita. Il satellite è accessoriatato con sensori solari, stellari, giroscopici e magnetici, equipaggiato con quattro ruote di reazione dedicate al controllo dell'orbita e dell'assetto, e tre barre di torsione come attuatori per le manovre lungo l'asse. Le ali del satellite contano due gruppi di pannelli solari capaci di generare 5.900 W (alla fine della loro vita operativa). L'orbita di riferimento viene mantenuta all'interno di un "tubo" orbitante fittizio con un diametro di 100 metri (RMS) rispetto alla Terra durante le operazioni normali; di cui ho riportato un'immagine per chiarificazione. La massa complessiva del satellite al momento del lancio è di circa 2.300 kg.

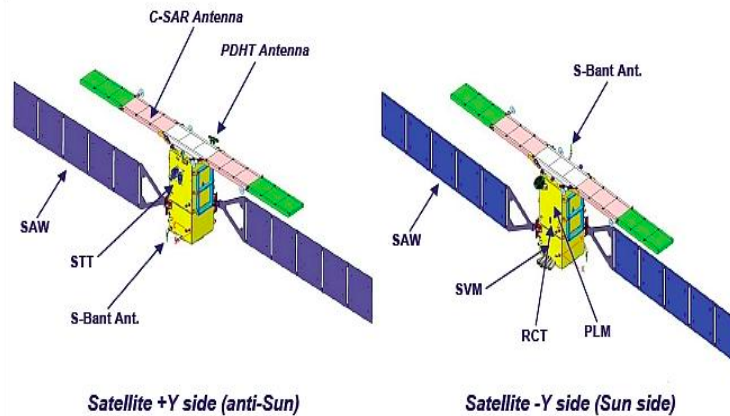


Figura 14: Immagine Sentinel-1

La missione Sentinel-1 consiste in una coppia di satelliti, Sentinel-1A e Sentinel-1B, che orbitano attorno ai poli lavorando senza sosta giorno e notte. La missione si avvale dell'utilizzo di immagini a banda C che operano in quattro diverse modalità di immagine, con diverse risoluzioni (fino a 5 metri) e coperture (fino a 400 chilometri). Questi satelliti offrono la capacità di doppia polarizzazione, tempi di rilevamento molto brevi e consegna rapida dei dati. Per ciascuna osservazione, sono disponibili misurazioni precise della posizione e dell'orientamento del satellite. Usufruento del radar ad apertura sintetica (SAR) si ha il vantaggio di operare a lunghezze d'onda che non sono ostacolate da copertura nuvolosa o mancanza di illuminazione, consentendo di acquisire dati su un sito durante il giorno o la notte, indipendentemente dalle condizioni meteorologiche. Sentinel-1, con il suo strumento C-SAR, offre un monitoraggio affidabile e regolare su vaste aree. Sentinel-1 è progettato per funzionare in modalità preimpostata senza conflitti, fornendo immagini ad alta risoluzione; ciò garantisce l'affidabilità del servizio richiesta dai servizi operativi e un archivio dati a lungo termine coerente per applicazioni basate su serie storiche di dati.

Sentinel-1 si trova in un'orbita quasi polare, sincronizzata con il sole, con un ciclo di ripetizione di 12 giorni e 175 orbite per ciclo per un singolo satellite. Tanto Sentinel-1A quanto Sentinel-1B condividono la stessa traiettoria orbitale con una differenza di fase orbitale di 180° . Con entrambi i satelliti operativi, il ciclo di ripetizione è di sei giorni. Particolarmente per quanto riguarda l'interferometria, Sentinel-1 richiede un rigoroso controllo dell'orbita. La precisione nella posizione del satellite lungo l'orbita deve essere elevata, con allineamento e sincronizzazione tra le coppie interferometriche. Il controllo della posizione orbitale di Sentinel-1 è basato su un "tubo" terrestre orbitante con una larghezza di 50 metri (RMS) in un raggio attorno a una traiettoria operativa nominale. Il satellite è mantenuto all'interno di questa "zona" per la maggior parte della sua durata operativa.

Il satellite ha una durata operativa di sette anni con materiali consumabili; Sentinel-1A è stato lanciato il 3 aprile 2014 mentre Sentinel-1B è stato lanciato il 25 aprile 2016. Altri due satelliti (Sentinel-1C e Sentinel-1D) sono previsti per sostituire i primi due satelliti alla fine della loro durata operativa.

Altitude	Inclination	Period	Cycle	Ref. tube deviation	Local Time at Ascending Node
693 km	98.18°	98.6 minutes	12 days	+/- 100 m	18:00 hours

Figura 15: Tabella informazioni orbita Sentinel-1

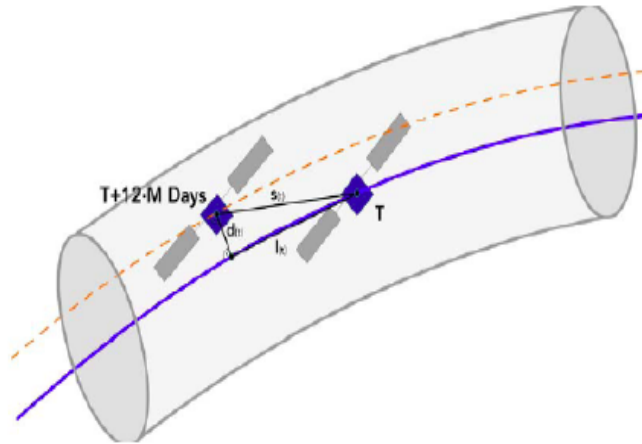


Figura 16: Visualizzazione grafica "tubo" terrestre

3.4.2 Strumenti a bordo

Sentinel-1 è equipaggiato con uno strumento radar a sintesi di apertura in banda C con frequenza centrale di 5,405 GHz. Questo strumento include un'antenna a matrice attiva orientata verso destra, che consente di effettuare scansioni rapide sia in elevazione che in azimuth. Inoltre, ha una capacità di archiviazione dati di 1,410 Gb e una capacità di trasmissione dati in banda X di 520 Mbit/s. Il C-SAR strumento offre la possibilità di operare in modalità a doppia polarizzazione; tali dati sono estremamente utili per applicazioni che coinvolgono la classificazione della copertura del suolo e l'analisi dei ghiacci marini. SENTINEL-1 opera in quattro diverse modalità di acquisizione esclusive:

- Stripmap (SM), che offre una copertura con una risoluzione di 5 m per 5 m su una striscia stretta di 80 km. È possibile selezionare una delle sei strisce di imaging cambiando l'angolo di incidenza del raggio e la larghezza del fascio di elevazione.
- Interferometric Wide swath (IW), che consente di combinare una larghezza di striscia ampia (250 km) con una risoluzione geometrica moderata (5 m per 20 m). E' la modalità predefinita per l'acquisizione sulla terraferma.
- Extra-Wide swath (EW), progettata per servizi operativi in zone marittime, ghiacciate e polari, dove è richiesta una copertura ampia e tempi di acquisizione brevi
- Wave mode (WV), insieme ai modelli globali delle onde oceaniche, può contribuire a determinare la direzione, la lunghezza d'onda e l'altezza delle onde sugli oceani aperti.

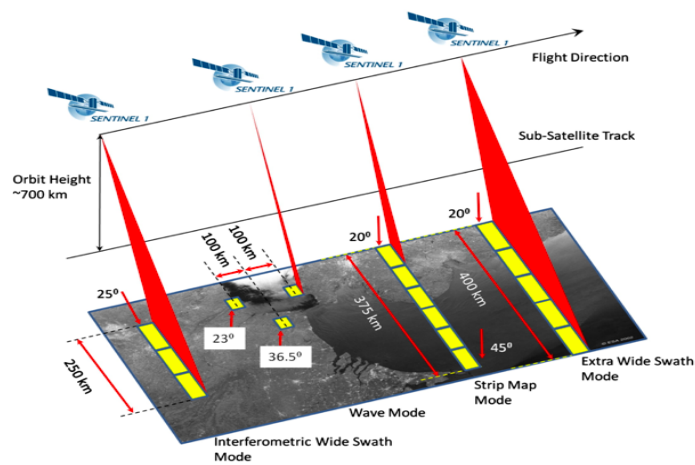


Figura 17: Modalità di acquisizione SAR

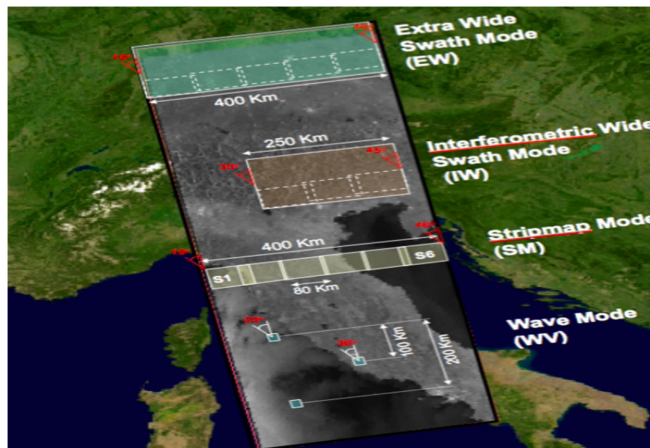


Figura 18: Modalità di acquisizione SAR

Mode	Incidence Angle	Resolution	Swath Width	Polarization (H = Horizontal V = Vertical)
Stripmap	20 - 45	5 x 5 m	80 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Interferometric Wide swath	29 - 46	5 x 20 m	250 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Extra Wide swath	19 - 47	20 x 40 m	400 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Wave	22 - 35 35 - 38	5 x 5 m	20 x 20 km	HH, VV

Figura 19: Modalità di acquisizione Sentinel-1

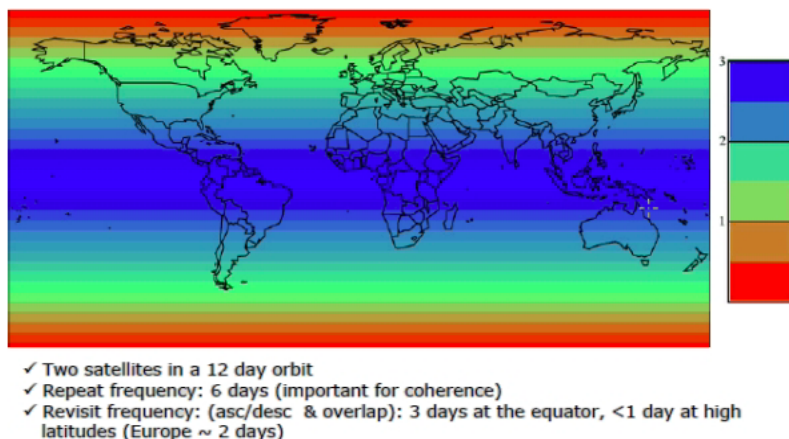


Figura 20: Frequenza di rivisitazione Sentinel-1

3.4.3 Dati ottenuti

Tra i dati specifici forniti dalla missione troviamo:

- Monitoraggio dell'estensione del ghiaccio marino artico.
- Mappatura di routine del ghiaccio marino.
- Sorveglianza dell'ambiente marino, incluso il monitoraggio delle fuoriuscite di petrolio.
- Rilevamento delle navi per la sicurezza marittima.
- Monitoraggio della superficie terrestre per i rischi legati ai movimenti.
- Mappatura per la gestione delle foreste, dell'acqua e del suolo.
- Mappatura a supporto dell'assistenza umanitaria e delle situazioni di crisi.

Sentinel-1 rappresenta la principale fonte di dati per informazioni sugli oceani e sull'Artico. La sua capacità di effettuare osservazioni indipendentemente dalle condizioni meteorologiche e a qualsiasi ora del giorno o della notte la rende ideale per il monitoraggio marittimo e artico. Un singolo satellite SENTINEL-1 ha il potenziale per mappare le masse terrestri globali nella modalità di ampio passaggio interferometrico una volta ogni 12 giorni, in un solo passaggio (in ascesa o discesa). La costellazione di due satelliti garantirà un ciclo di ripetizione esatto di 6 giorni all'equatore. Poiché lo spaziamento delle tracce orbitali varierà con la latitudine, il tasso di ripasso sarà significativamente maggiore alle latitudini più elevate rispetto all'equatore.

Le operazioni prive di conflitti, possibili grazie a una modalità operativa principale sopra le terre, consentiranno di sfruttare ogni singolo dato acquisito e di creare un archivio dati coerente a lungo termine per applicazioni che richiedono serie temporali estese.

La modalità EW è utilizzata principalmente in specifiche aree dei mari europei, dell'Artico e dell'Oceano Meridionale, soprattutto per servizi di monitoraggio dei ghiacci marini e sorveglianza marittima, con la capacità di coprire un'area larga 400 km a ogni acquisizione dati. La modalità SM invece è impiegata su richiesta, principalmente per la gestione di situazioni di emergenza. Sopra gli oceani aperti, la modalità WV rappresenta la modalità principale di acquisizione dati operativa, ottenendo vignette a intervalli regolari. I prodotti dati di Sentinel-1 acquisiti in modalità SM, IW ed EW vengono distribuiti in livelli di elaborazione.



Figura 21: Livelli di elaborazione e principali caratteristiche, Sentinel-1

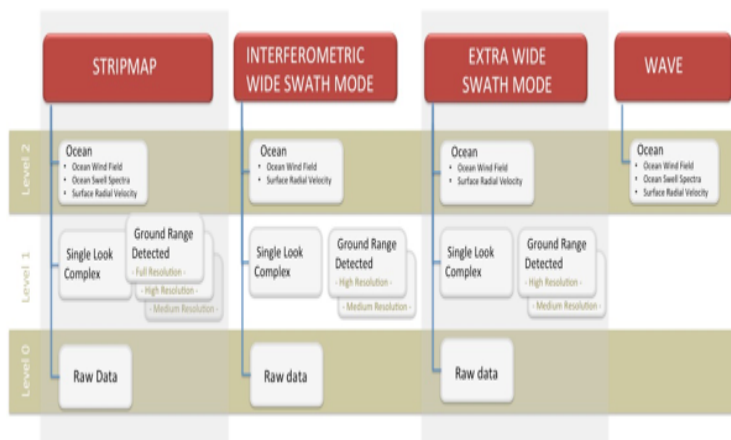


Figura 22: Dati prodotti, Sentinel-1

- Nel primo stadio, abbiamo i dati grezzi noti come Livello 0, che non sono compressi o calibrati e servono da base per tutti gli altri prodotti; questi dati grezzi ammontano a circa 1 gigabyte.
- Il secondo stadio, denominato Livello 1 Single Look Complex, comporta la calibrazione e la geo-referenziazione dei dati, utilizzando informazioni orbitali e di assetto del satellite. Questi dati pesano circa 8 gigabyte in modalità IW con polarizzazione doppia, o 4 gigabyte se si utilizza la polarizzazione singola.
- Il terzo stadio, Livello 1 Ground Range Detected, comprende dati calibrati, georeferenziati e proiettati sulla superficie terrestre usando un modello ellissoidale. Questi dati sono disponibili a vari livelli di risoluzione.
- Il quarto stadio, Livello 2, riguarda prodotti geofisici derivati dai dati SAR, utilizzati principalmente per applicazioni legate agli oceani, come il monitoraggio del vento, delle onde e delle correnti.

I prodotti dual polari di Sentinel-1 sono utili per utenti interessati all'agricoltura, alla silvicoltura e alla classificazione delle coperture del suolo. Le sue avanzate capacità interfero-

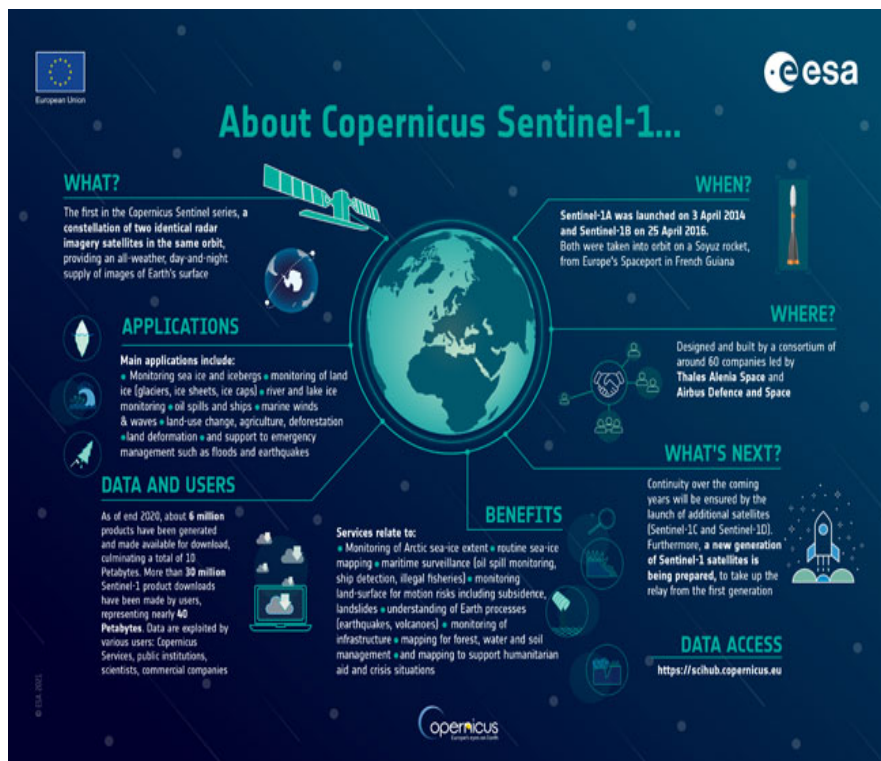


Figura 23: Missione Sentinel-1

metriche risultano preziose per utenti coinvolti in attività quali il monitoraggio di georischi, l'industria mineraria, la geologia e la pianificazione urbana attraverso la valutazione dei rischi legati all'abbassamento del terreno.

3.5 SENTINEL-2

La Sentinel-2 consiste in una costellazione di due satelliti che seguono orbite polari sincronizzate con il Sole e sono sfasati di 180 gradi l'uno rispetto all'altro. L'obiettivo principale della missione è monitorare le variazioni nelle condizioni della superficie terrestre attraverso l'osservazione multispettrale ad alta risoluzione con ampio campo visivo. Le sue peculiari caratteristiche che consentono il campionamento rendono possibile il monitoraggio dei cambiamenti sulla superficie terrestre con una grande precisione. Questa capacità viene sfruttata per supportare servizi e applicazioni varie, tra cui la gestione del territorio, l'agricoltura, la silvicoltura, il controllo dei disastri, le operazioni di soccorso umanitario, la mappatura dei rischi e le questioni di sicurezza.

3.5.1 Descrizione del satellite

Il sistema satellitare Sentinel-2 è stato sviluppato da un consorzio industriale guidato da Astrium GmbH, con Astrium SAS responsabile dell'Instrumento Multispettrale (MSI). La missione comprende due satelliti identici, Sentinel-2A e Sentinel-2B, entrambi lanciati tramite il vettore europeo VEGA. Ciascuno di questi satelliti ha un peso di circa 1,2 tonnellate. La durata operativa del satellite è di 7,25 anni, comprensiva di una fase di 3 mesi di commissione in orbita. Sono state fornite batterie e propellenti in quantità sufficiente per supportare 12 anni di operazioni, comprese le manovre di deorbitazione alla fine del ciclo operativo. La missione Sentinel-2 segue un'orbita sincronizzata con il sole, il che significa che è progettata in modo da mantenere costan-

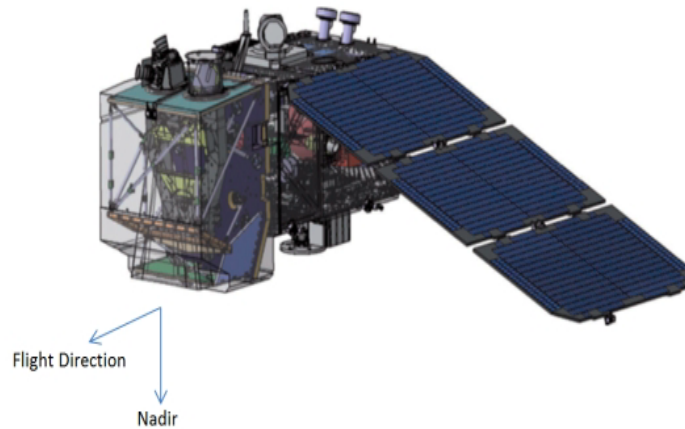


Figura 24: Immagine Sentinel-2

Altitude	Inclination	Period	Cycle	Ground-track deviation	Local Time at Descending Node
786 km	98.62 deg	100.6 min	10 days	+/- 2 km	10:30 hours

Figura 25: Tabella parametri orbitali Sentinel-2

temente l'angolo di illuminazione solare sulla superficie terrestre. Questa caratteristica riduce al minimo l'effetto di ombre e variazioni di illuminazione, garantendo la coerenza dei dati nel tempo. I satelliti Sentinel-2A e Sentinel-2B condividono la stessa orbita, ma come detto sopra, sono posizionati a 180 gradi di distanza l'uno dall'altro. L'orbita ha un'altitudine media di 786 km e un'inclinazione di 98,62°. La posizione esatta di ciascun satellite Sentinel-2 nella sua orbita è costantemente monitorata grazie a un ricevitore GNSS (Global Navigation Satellite System) a doppia frequenza. L'accuratezza dell'orbita è mantenuta attraverso l'utilizzo di un sistema di propulsione specifico. Il Tempo Solare Locale Medio (MLST) al nodo discendente è fissato alle 10:30 del mattino. Questo orario è stato scelto come compromesso tra una buona illuminazione solare e la riduzione del potenziale coprifuoco delle nuvole. Inoltre, è simile all'orario di passaggio locale dei satelliti Landsat e SPOT-5, consentendo l'integrazione dei dati di Sentinel-2 con quelli di missioni storiche e correnti per la raccolta di dati a lungo termine in serie temporali.

3.5.2 Strumenti a bordo

Il design dello strumento Multispettrale (MSI) a bordo del Sentinel-2 è stato guidato dalla necessità di ottenere ampiezza di striscia, elevate prestazioni geometriche e spettrali nelle misurazioni. Esso è stato progettato e costruito dalla Airbus Defence and Space, Francia. Il MSI misura la radianza riflessa della Terra in 13 bande spettrali che vanno dal Visibile e Vicino Infrarosso (VNIR) al Corto Infrarosso (SWIR); riporto la tabella corrispondente. La separazione spettrale in bande individuali è ottenuta grazie a filtri a strisce montati sui rilevatori.

Tra gli elementi che costituiscono l'MSI troviamo:

- Un telescopio a tre specchi anastigmatico (TMA) con un diametro della pupilla equivalente a 150 mm, montato in modo isostatico sulla piattaforma per minimizzare le distorsioni

Band Number	S2A		S2B		Spatial resolution (m)
	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	
1	442.7	20	442.3	20	60
2	492.7	65	492.3	65	10
3	559.8	35	558.9	35	10
4	664.6	30	664.9	31	10
5	704.1	14	703.8	15	20
6	740.5	14	739.1	13	20
7	782.8	19	779.7	19	20
8	832.8	105	832.9	104	10
8a	864.7	21	864.0	21	20
9	945.1	19	943.2	20	60
10	1373.5	29	1376.9	29	60
11	1613.7	90	1610.4	94	20
12	2202.4	174	2185.7	184	20

Figura 26: Bande spettrali misurate da MSI

termoelastiche. Il design ottico è stato ottimizzato per ottenere una qualità di immagine all'avanguardia su un campo visivo molto ampio. La larghezza della striscia di 290 km è più ampia rispetto alle missioni ottiche multispettrali precedenti come SPOT e LANDSAT. La struttura del telescopio e gli specchi sono realizzati in carburo di silicio, che fornisce un rapporto stabilità ottica-massa molto elevato e minimizza la deformazione termica.

- Due piani focali basati su: - rivelatori monolitici di ossido di metallo complementari (CMOS) per il VNIR - rivelatori di mercurio-cadmio-tellururo (MCT) ibridati su un circuito di lettura CMOS per il SWIR (il piano focale SWIR è termocontrollato in modo passivo a temperature inferiori a 195 K).
- Uno splitter spettrale VNIR/SWIR a microico. La separazione spettrale nelle varie bande è fornita da filtri a strisce montati sulla parte superiore dei rilevatori.
- Due distinti insiemi di 12 rilevatori montati su ciascun piano focale che coprono rispettivamente i canali VNIR e SWIR. I 12 rilevatori su ciascun piano focale sono disposti in configurazione sfalsata per coprire l'intero campo visivo.
- Un diffusore a campo e pupilla completa a bordo per la calibrazione radiometrica al fine di garantire prestazioni radiometriche di alta qualità.
- Un meccanismo a tendina che impedisce allo strumento di essere direttamente illuminato dal sole. Questo meccanismo viene anche utilizzato come dispositivo di calibrazione raccogliendo la luce solare dopo la riflessione da un diffusore.

Le 12 unità di rilevamento su ciascun piano focale sono montate in una configurazione sfalsata per coprire l'intero campo visivo dello strumento di 20,6 gradi, risultando in una larghezza di

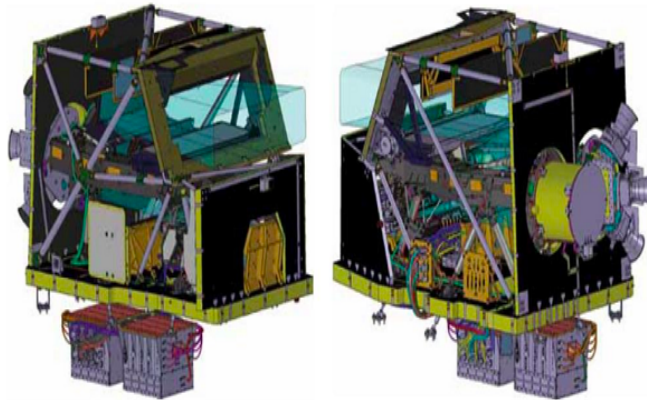


Figura 27: Instrumento Multispettrale

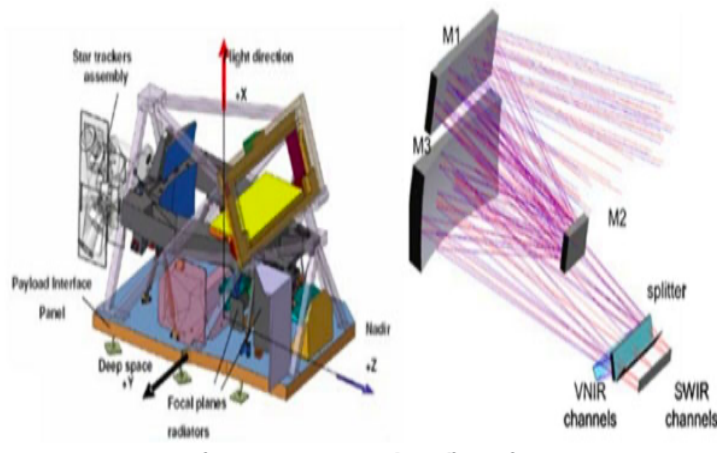


Figura 28: IMS configurazione interna

striscia composta di 290 km sulla traccia a terra. A causa del layout geometrico particolare del piano focale, ciascuna banda spettrale del MSI osserva la superficie terrestre in tempi diversi.

Lo strumento Multispettrale (MSI) è un sensore passivo e opera seguendo il principio del "push-broom". Un sensore push-broom funziona raccogliendo dati d'immagine in righe lungo la striscia orbitale e utilizza il movimento in avanti del satellite lungo l'orbita per acquisire nuove righe. Il periodo medio di osservazione sopra le terre e le zone costiere è di circa 17 minuti, e il periodo massimo di osservazione raggiunge i 32 minuti. La luce riflessa dalla Terra e dalla sua atmosfera fino allo strumento Multispettrale è catturata da un telescopio a tre specchi (M1, M2 e M3) e viene divisa tramite uno splitter del fascio e indirizzata verso due diverse unità di rilevamento poste all'interno dello strumento; una per le bande spettrali del Visibile e del Vicino Infrarosso (VNIR) e l'altra per le bande dell'Infrarosso a Onde Corte (SWIR).

Oltre alla modalità di acquisizione standard, e al fine di mantenere le prestazioni dello strumento durante l'intera durata della missione, a intervalli regolari durante il corso della missione lo strumento viene posto in una delle due modalità di taratura:

- Taratura del segnale in assenza di luce: acquisizione di immagini quando lo strumento attraversa la fase di eclissi dell'orbita. I dati di taratura del segnale in assenza di luce

vengono acquisiti con maggiore precisione sopra l'Oceano Pacifico o Atlantico in orbita ascendente. Le aree potenziali di acquisizione si trovano nelle vicinanze della longitudine 120°Est e della latitudine 0°. Questa zona può variare di +/-10° sia in longitudine che in latitudine. In genere, queste immagini in assenza di luce vengono acquisite due volte al mese.

- Taratura del segnale solare: Il MSI di Sentinel-2 acquisisce il segnale proveniente dal diffusore di riferimento a bordo, illuminato dalla luce solare. La modalità di taratura viene attivata sopra il Polo Nord, poiché il satellite è adeguatamente esposto al raggio solare in quella zona. Durante questa taratura, il satellite non esegue manovre specifiche e rimane puntato verso la Terra. L'otturatore viene spostato nella posizione di taratura poco prima che il raggio solare raggiunga l'incidenza appropriata (linea di base di 60°). L'acquisizione viene quindi effettuata per tutti i canali durante un periodo adeguato (almeno 8 secondi), consentendo di ottenere una media del rumore. Successivamente, l'otturatore viene spostato nella posizione aperta. Questa modalità di taratura viene utilizzata sia per le calibrazioni assolute che relative dei guadagni. Le acquisizioni del segnale solare avvengono una volta al mese.

3.5.3 Dati ottenuti

La missione Sentinel-2 acquisisce sistematicamente dati su terre e aree costiere in una fascia di latitudine che si estende da 56° Sud (Isla Hornos, Capo Horn, Sud America) a 82,8° Nord (sopra la Groenlandia):

- tutte le acque costiere entro 20 km dalla riva
- tutte le isole di dimensioni superiori a 100 km²
- tutte le isole dell'Unione Europea
- il Mar Mediterraneo
- tutti i mari chiusi (ad esempio il Mar Caspio)

Inoltre, lo scenario di osservazione di Sentinel-2 include osservazioni su richiesta degli Stati membri o dei servizi Copernicus (ad esempio l'Antartide, la Baia di Baffin).

Il livello base dei prodotti MSI di Sentinel-2 è rappresentato da granuli di dimensioni fisse. La grandezza dei granuli dipende dal livello del prodotto. Per i prodotti di Livello-0, Livello-1A e Livello-1B questi granuli sono immagini parziali di una certa quantità di righe lungo la traiettoria, separate da rilevatori. Hanno una dimensione di 25 km in direzione trasversale e 23 km in direzione lungo la traiettoria. Tuttavia, i prodotti di Livello-0, Livello-1A e Livello-1B non sono messi a disposizione degli utenti. Per i prodotti ortorettificati (Livello-1C e Livello-2A) la superficie terrestre è divisa in una serie di granuli predefiniti; tale suddivisione avviene con intervalli di 100 km. Ogni granulo, tuttavia, ha una superficie di 110x110 km² in modo da sovrapporsi ampiamente con quelli circostanti. I prodotti di Livello-1C e Livello-2A sono resi disponibili agli utenti. L'acquisizione continua massima di un'immagine da parte di un satellite Sentinel-2 copre una distanza di 15.000 km. Questa sequenza di acquisizioni ininterrotte è denominata "datatake" ed è la base per la successiva gerarchia di prodotti. Nel caso in cui un datatake venga ricevuto da due stazioni di terra separate, può essere suddiviso in strisce dati. Quando il satellite passa da una modalità di osservazione a un'altra, una striscia dati può includere diversi segmenti di osservazione distinti, separati da intervalli che contengono un numero intero di granuli.

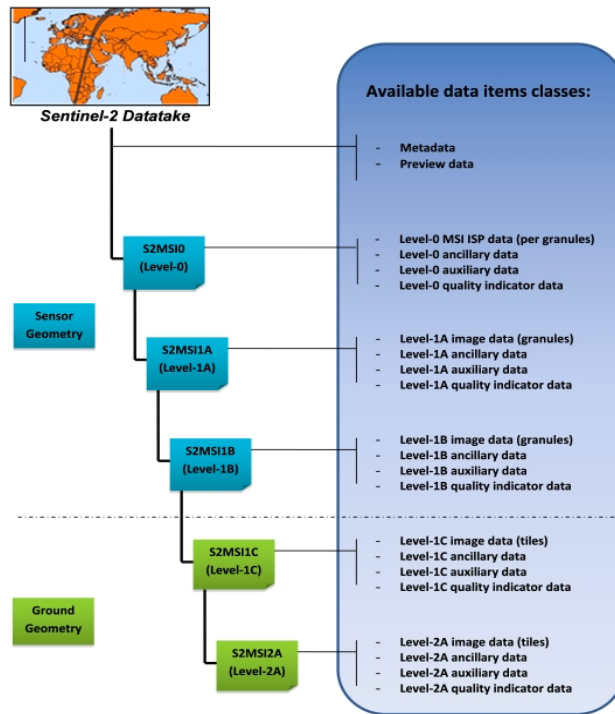


Figura 29: Datalog,SENTINEL-2

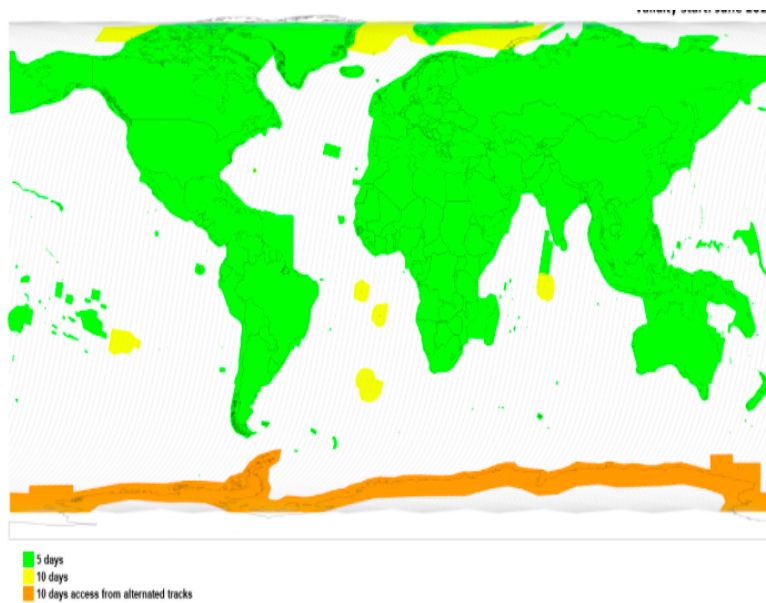


Figura 30: Immagine copertura e tempo di rivisita acquisizione dati, Sentinel-2

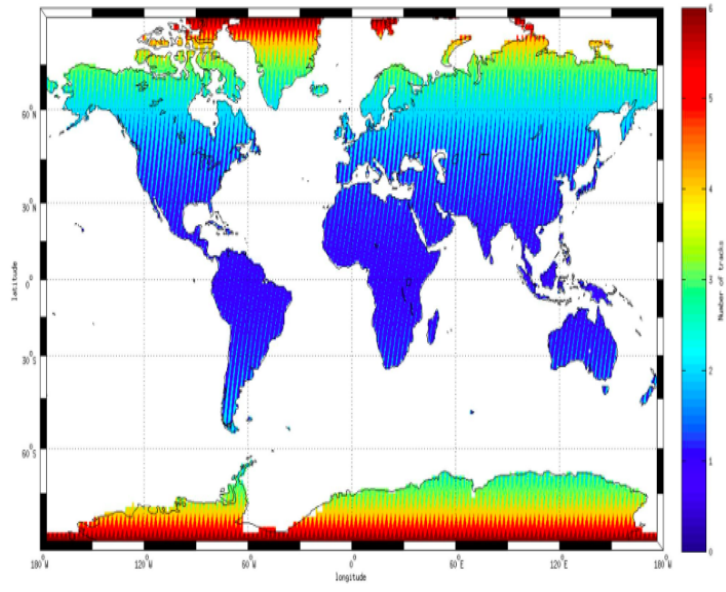


Figura 31: Frequenza di rivisita dovuta ad overlap tra orbite,SENTINEL-2

WHAT?
A constellation of two identical satellites in the same orbit, Copernicus Sentinel-2 images land and coastal areas at high spatial resolution in the optical domain

WHERE?
Designed and built by a group of around 60 companies led by Airbus Defence and Space for the space segment and Thales Alenia Space for the ground segment

WHICH?
Main applications include agriculture; land ecosystems monitoring; forests management; inland and coastal water quality monitoring; disasters mapping and civil security

WHEN?
Sentinel-2A was launched on 23 June 2015; Sentinel-2B on 7 March 2017, both on a Vega rocket from Kourou, French Guiana

DATA AND USERS
As of July 2020, about 20 million products have been generated and made available for download, culminating a total of 10 Petabytes

DATA ACCESS
<https://scihub.copernicus.eu>

WHO?
Services include CLMS (Copernicus Land Monitoring Service); CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service); CEAS (Copernicus Emergency Management Service) and Copernicus Security Service; among others

WHATS NEXT?
Continuity over the coming years will be ensured by the launch of additional satellites (Sentinel-2C and Sentinel-2D). Furthermore, a new generation of Sentinel-2 satellites is being prepared, to take up the relay from the first generation

Figura 32: Missione SENTINEL-2

3.6 SENTINEL-3

L'obiettivo principale della missione Sentinel-3, composta da due satelliti identici Sentinel-3A e Sentinel-3B, è misurare con alta precisione e affidabilità la topografia della superficie marina, la temperatura della superficie del mare e delle terre emerse, nonché il colore della superficie oceanica e terrestre, al fine di sostenere i sistemi di previsione oceanica, il monitoraggio ambientale e il monitoraggio climatico. La definizione della missione è guidata dalla necessità di garantire la continuità nella fornitura dei dati di missioni passate sfruttando il miglioramento della prestazione degli strumenti e della copertura. Nello specifico le missioni sono:

- Il programma ERS che è stato il primo sforzo dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nel campo dell'osservazione della Terra basata sullo spettro delle microonde. Gli strumenti impiegati in queste missioni avevano la capacità di sorvegliare e raccogliere dati relativi a diverse aree, comprese la terraferma, gli oceani e l'atmosfera. In particolare, questi strumenti erano in grado di studiare il ghiaccio marino, la geologia, la copertura forestale, i fenomeni ondosi, la batimetria, gli eventi meteorologici e molti altri campi scientifici.
- Envisat che è stato il successore dell'ERS nel contesto dei programmi dell'ESA. Esso è stato il più grande satellite mai costruito per l'osservazione della Terra, con ben dieci strumenti a bordo e un peso di otto tonnellate, rappresentando così la più grande missione civile di osservazione terrestre mai lanciata. Questo satellite ha portato un miglioramento significativo dei dati raccolti grazie a strumenti avanzati, tra cui radar d'immagine, altimetro radar e radiometro per la misurazione delle temperature. Questi hanno ampliato la portata dei dati raccolti dal precedente satellite ERS. Inoltre, Envisat è stato equipaggiato con nuovi strumenti, come uno spettrometro a media risoluzione capace di rilevare caratteristiche terrestri e il colore dell'oceano. Tra gli strumenti a bordo, troviamo anche due sensori atmosferici dedicati al monitoraggio dei gas traccianti nell'atmosfera. La missione di Envisat è giunta a termine il 8 aprile 2012, a seguito della perdita inaspettata di contatto con il satellite.
- La serie SPOT, il cui nome deriva dall'acronimo francese "Satellite pour l'Observation de la Terre", ha fornito immagini ottiche ad alta risoluzione che coprono vaste aree sin dal 1986. Grazie alla loro capacità di catturare dettagliati scatti della superficie terrestre, questi satelliti hanno aperto la strada a nuove applicazioni nel campo della cartografia, del monitoraggio della vegetazione, dell'uso del suolo e delle coperture territoriali, nonché nell'analisi degli impatti dei disastri naturali. I due satelliti più recenti della serie, SPOT 6 e SPOT 7, garantiscono la continuità dei dati almeno fino al 2024. Ogni satellite SPOT è in grado di acquisire immagini sia in modalità pancromatica che multispettrale, coprendo una larghezza di 60 km nell'acquisizione delle immagini. Gli obiettivi principali della serie SPOT sono volti a migliorare la comprensione e la gestione del nostro pianeta, esplorando le risorse terrestri, monitorando i fenomeni climatici e oceanografici, nonché sorvegliando le attività umane e i fenomeni naturali.

La missione Sentinel-3 è operata congiuntamente da ESA ed EUMETSAT al fine di fornire servizi operativi di osservazione dell'oceano e delle terre emerse.

3.6.1 Descrizione del satellite

Sentinel-3 è un satellite di dimensioni moderate progettato per orbitare a bassa altitudine, ed è compatibile con lanciatori di piccole dimensioni come VEGA e ROCKOT. Il satellite è stato progettato per un ciclo operativo di 7 anni, ma grazie a un serbatoio di 120 kg di idrazina, può essere utilizzato ininterrottamente per un massimo di 12 anni, compresa l'operazione di deorbiting alla fine della missione. La disposizione del satellite è stata progettata considerando la necessità di avere una vista ampia dello spazio freddo per il controllo termico, un design

Altitude	Inclination	Period	Cycle	Ground-track deviation	Local Time at Descending Node
814.5 km	98.65 deg	100.99 min	27 days	+ 1 km	10:00 hours

Figura 33: Tabella parametri orbitali SENTINEL-3

modulare per ospitare gli strumenti scientifici e una gestione semplificata di tutte le interfacce a bordo. L'orbita di Sentinel-3 segue un modello simile a quello di Envisat, garantendo la continuità nelle serie temporali di dati provenienti da ERS e Envisat. La missione Sentinel-3 impiega un'orbita ad alta inclinazione ($98,65^\circ$) che offre una copertura ottimale per la raccolta di dati relativi ai parametri del ghiaccio e della neve nelle regioni ad elevate latitudini. L'orbita di Sentinel-3 segue un percorso quasi polare ed è sincrona con il sole, il che significa che il satellite attraversa l'equatore alle 10:00 ora solare locale media durante ogni passaggio. Il ciclo orbitale dura 27 giorni, durante i quali vengono compiute $14+7/27$ orbite al giorno, totalizzando 385 orbite per ciclo. L'altitudine di riferimento per l'orbita di Sentinel-3 è di 814,5 chilometri. L'orbita di Sentinel-3B è identica a quella di Sentinel-3A, ma viaggia con un'offset di $\pm 140^\circ$ rispetto a Sentinel-3A. La configurazione meccanica del satellite e l'orientamento in volo sono stati ottimizzati attraverso studi approfonditi di analisi della missione e scelte di sistema effettuate durante la definizione della missione, portando a notevoli miglioramenti rispetto a ENVISAT.

I principali sottosistemi del satellite includono:

- Sistema di Alimentazione Elettrica (EPS): Questo sistema è costituito da un'ala di pannelli solari che fornisce l'energia necessaria al satellite e ai suoi strumenti scientifici.
- Sistema di Controllo dell'Assetto e dell'Orbita (AOCS): Questo sistema comprende vari sensori e attuatori, tra cui sensori solari, magnetometri, sensori di velocità angolare, punti di riferimento stellari, un ricevitore GNSS e dispositivi di controllo come propulsori, magneto-torquer e ruote di reazione. Questi componenti lavorano insieme per mantenere il satellite nella giusta posizione e orbita.
- Unità di Gestione del Satellite: Questa unità è responsabile del comando e del monitoraggio del satellite, assicurando che funzioni correttamente e raccolga dati in modo efficiente.
- Unità di Gestione dei Dati e Memoria di Massa: Questa unità gestisce i dati raccolti dal carico utile del satellite e li archivia per la trasmissione o l'analisi successiva.
- Memorie di Massa: Il satellite dispone di unità di memoria di massa sia per il veicolo spaziale stesso che per il suo carico utile, consentendo lo stoccaggio e la gestione dei dati.
- Sottosistemi di Telecomunicazione Satellite: Questi sottosistemi gestiscono le comunicazioni del satellite, inclusi i collegamenti per il comando e il controllo, nonché la trasmissione dei dati scientifici raccolti dalla missione.

3.6.2 Strumenti a bordo

Gli strumenti principali a bordo di Sentinel-3 sono:

- OLCI: Ocean and Land Colour Instrument
- SLSTR: Sea and Land Surface Temperature Instrument

- SRAL: SAR Radar Altimeter
- MWR: Microwave Radiometer
- Il pacchetto di Determinazione dell'Orbita Precisa (POD) che comprende un sistema di Navigazione Satellitare Globale (GNSS), un sistema di Determinazione dell'Orbita Doppler e un sistema Integrato di Posizionamento Radio a Bordo del Satellite (DORIS), insieme a un Riflettore Retro-riflettente a Laser (LRR)

L'OLCI, spettrometro ad immagine di tipo "push-broom", costituisce un progresso rispetto al suo predecessore, il MERIS di ENVISAT, grazie all'aggiunta di ulteriori canali spettrali, a una diversa disposizione delle telecamere e a una semplificazione del processo di elaborazione a bordo. L'OLCI è un dispositivo a spinta composto da cinque moduli di telecamera che condividono il campo visivo. Questi moduli di telecamera presentano un campo visivo che segue una configurazione a ventaglio nel piano verticale, in modo perpendicolare alla velocità della piattaforma. Ciascuna telecamera ha un campo visivo individuale di 14,2 gradi e si sovrappone di 0,6 gradi con le telecamere adiacenti. L'intero campo visivo è spostato di 12,6 gradi nella direzione trasversale rispetto al sole al fine di minimizzare gli effetti dei riflessi solari. L'OLCI è dotato di hardware di calibrazione a bordo basato su diffusori solari. In particolare, sono presenti tre diffusori solari: due di essi sono di tipo "bianco" e sono destinati alla calibrazione radiometrica, mentre il terzo è dedicato alla calibrazione spettrale, includendo specifiche caratteristiche di riflettanza spettrale.

Lo scopo del SLSTR a bordo di Sentinel-3 è quello di creare un insieme di dati di riferimento per le temperature superficiali terrestri e marine al fine di supportare le registrazioni climatiche. Lo SLSTR è stato sviluppato per ottenere temperature della superficie del mare su scala globale senza alcun errore sistematico e con una precisione di $\pm 0,3$ K per una regione di 5° per 5° di latitudine e longitudine, garantendo una stabilità temporale di 0,1 K per ogni decennio. Lo strumento permette di acquisire, grazie alla sua straordinaria capacità di visione dualistica, le viste oblique e nadir della Terra. Esso comprende le sorgenti a corpo nero per la calibrazione dei canali infrarossi durante l'orbita e l'unità VISCAL che consente la calibrazione in orbita alle lunghezze d'onda visibili e nell'infrarosso a onde corte. In seguito all'esperienza su ENVISAT il dispositivo SLSTR utilizza la tecnica di scansione lungo l'orbita con visualizzazione doppia che offre continuità dei dati rispetto a missioni precedenti con anche notevoli miglioramenti dovuti a una copertura più ampia (740 km in doppia visualizzazione e 1400 km in visualizzazione singola). La sovrapposizione completa con la zona osservata dallo strumento SLSTR e le acquisizioni simultanee agevolano l'uso sinergico di OLCI e SLSTR.

Lo strumento SRAL è composto da una singola antenna orientata verso il nadir e da una catena elettronica centrale composta da un'Unità di Elaborazione Digitale (DPU) e un'Unità Radiofrequenza (RFU). Questa catena elettronica centrale è montata all'interno del satellite in una configurazione a ridondanza fredda. Il principio di base delle misurazioni si basa sull'uso di frequenze di banda Ku (13,575 GHz, larghezza di banda 350 MHz) per le misurazioni di distanza principali, mentre la frequenza di banda C (5,41 GHz, larghezza di banda 320 MHz) viene utilizzata per la correzione dell'effetto ionosferico. Lo strumento SRAL è dotato di diverse modalità di misurazione, calibrazione e supporto. Le modalità di misurazione comprendono due modalità radar, ciascuna combinata con due modalità di tracciamento.

Le due modalità radar sono:

- Modalità a bassa risoluzione (LRM): utilizzata per le misurazioni altimetriche di base, con un modello di impulsi Ku/C/Ku.
- Modalità SAR: che offre una risoluzione migliorata lungo il tracciato grazie a raffiche di impulsi a banda Ku circondate da impulsi a banda C.

Le due modalità di tracciamento sono:

- Modalità a circuito chiuso: che permette di posizionare autonomamente la finestra di misurazione utilizzando un algoritmo mediano.
- Modalità a circuito aperto: in cui la posizione della finestra di misurazione è basata su dati di altitudine del terreno derivati da un Modello Digitale di Elevazione (DEM).

Sono disponibili anche due modalità di calibrazione (CAL1 e CAL2) che consentono di misurare la risposta impulsiva dell'istrumento e di determinare la funzione di trasferimento della catena di ricezione. La modalità SAR fornisce una risoluzione migliorata lungo il tracciato dell'ordine dei 300 metri. L'altimetro (SRAL) non ha una zona osservata come gli strumenti OLCI e SLSTR; esso effettua, lungo l'orbita, una singola misurazione della distanza (senza acquisire immagini) ogni volta che un impulso viene emesso.

Il progetto e le specifiche del Sentinel-3 MWR si basano su quelli del MWR di Envisat. Questo strumento misura la temperatura di luminosità a 23,8 GHz e 36,5 GHz, coprendo una larghezza di banda di 200 MHz in ciascun canale. Il canale a frequenza più bassa è principalmente sensibile al vapore acqueo atmosferico, mentre il canale a frequenza più alta è sensibile all'acqua liquida nelle nuvole.

Il ricevitore GPS contribuisce al controllo e alla gestione del satellite, fornisce un preciso riferimento temporale che è essenziale per le operazioni a bordo, controlla una modalità dell'altimetro e raccoglie dati sulla posizione radiale in tempo reale, fornendo anche misurazioni che sono fondamentali per l'analisi finale della determinazione precisa dell'orbita (POD). Il ricevitore a bordo di Sentinel-3A è in grado di ricevere diversi segnali GPS, inclusi quelli delle bande L1 C/A, L1P(Y) e L2P(Y). Nel caso di Sentinel-3B, il ricevitore è in grado di ricevere anche il segnale L2C. Questi ricevitori possono tracciare fino a otto satelliti contemporaneamente, lavorando su due bande di segnali in parallelo. In termini di precisione, il ricevitore GNSS di Sentinel-3 è in grado di fornire posizioni in tempo reale con una precisione dell'ordine di 1-2 metri per la posizione e 2-3 millimetri al secondo per la velocità. Questo strumento comprende tre componenti principali: l'antenna, il cavo di collegamento e l'unità del ricevitore, che collaborano per garantire le funzionalità necessarie al satellite.

Il sistema Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) è stato progettato come un nuovo metodo per tracciare con precisione l'orbita di satelliti in orbita terrestre bassa. Questo sistema sfrutta lo spostamento nella frequenza dei segnali radio trasmessi da stazioni terrestri o boe a bordo del satellite dovuto all'effetto Doppler causato dal movimento relativo tra il satellite e le boe o le stazioni terrestri. Questo spostamento nella frequenza è direttamente correlato alla velocità radiale del satellite rispetto alle boe o alle stazioni terrestri. Combinando queste informazioni con la posizione precisa delle boe o delle stazioni terrestri, è possibile calcolare l'orbita del satellite con grande precisione. Questo ricevitore è in grado di tracciare fino a sette boe o stazioni terrestri simultaneamente e fornisce dati in tempo reale con una precisione dell'ordine di 5-10 centimetri.

Il Laser Retro Reflector (LRR) è un dispositivo passivo che funge da bersaglio per le misurazioni laser eseguite dalle stazioni terrestri dedicate. È montato sul pannello terrestre del satellite e consiste in un'array emisferica composta da sette prismi a tre facce, ognuno dei quali riflette all'indietro e nella stessa direzione qualsiasi impulso laser proveniente dalle stazioni. La disposizione emisferica assicura che almeno un prisma sia visibile da qualsiasi stazione che ha il satellite in vista. In questo modo, ogni stazione terrestre è in grado di determinare la distanza al satellite con una precisione dell'ordine di pochi millimetri, misurando il ritardo di propagazione di un impulso laser dalla stazione al LRR e ritorno.

I dati vengono acquisiti in modo sistematico in base a un preciso scenario di missione predefinito, come stabilito nel Piano Operativo di Alto Livello di Sentinel (HLOP):

- Le operazioni di OLCI e dei canali visibili di SLSTR sono pianificate in base a specifiche condizioni di illuminazione solare
- Il radiometro MWR acquisisce dati per l'intera orbita.

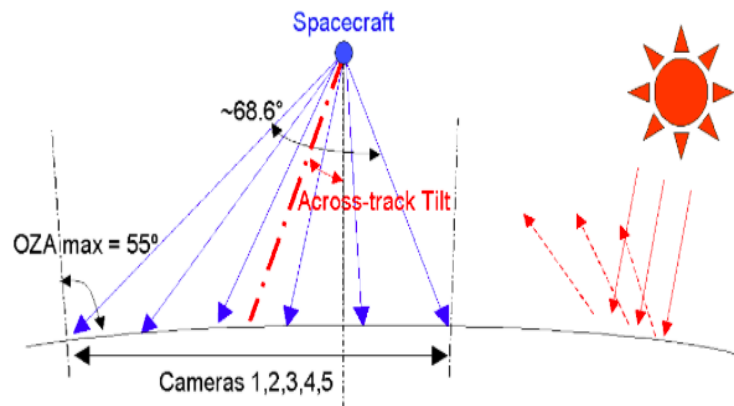


Figura 34: Schema campo visivo OLCI

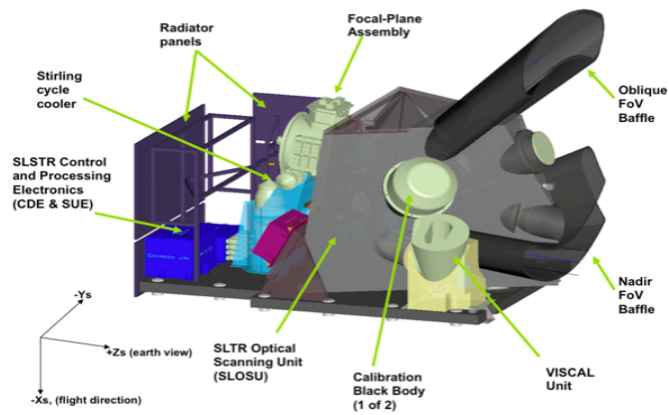


Figura 35: Disegno con componenti evidenziati SLSTR

- L'altimetro SRAL opera in modalità SAR al 100

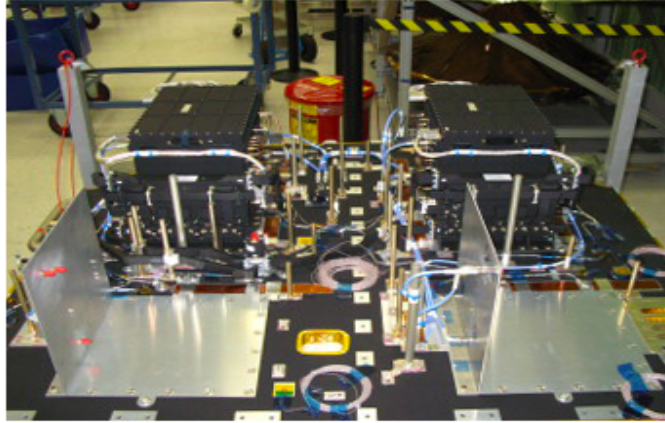


Figura 36: SRAL foro

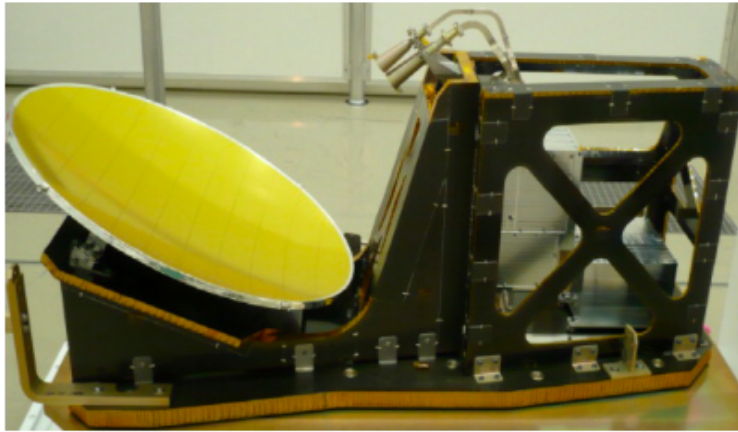


Figura 37: MWR foto

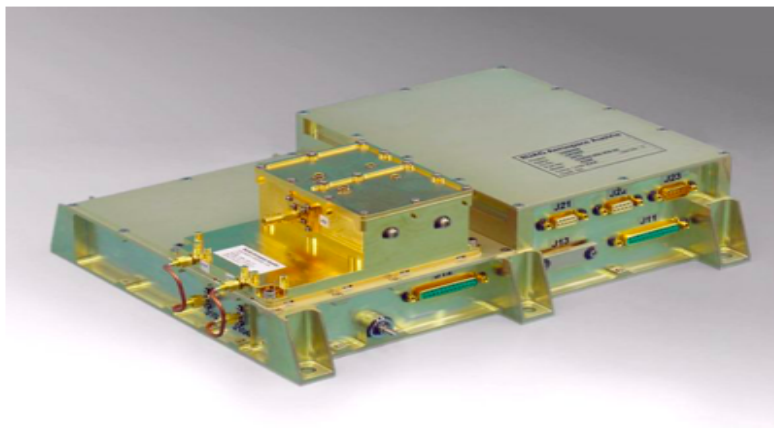


Figura 38: GNSS foto



Figura 39: DORIS foro

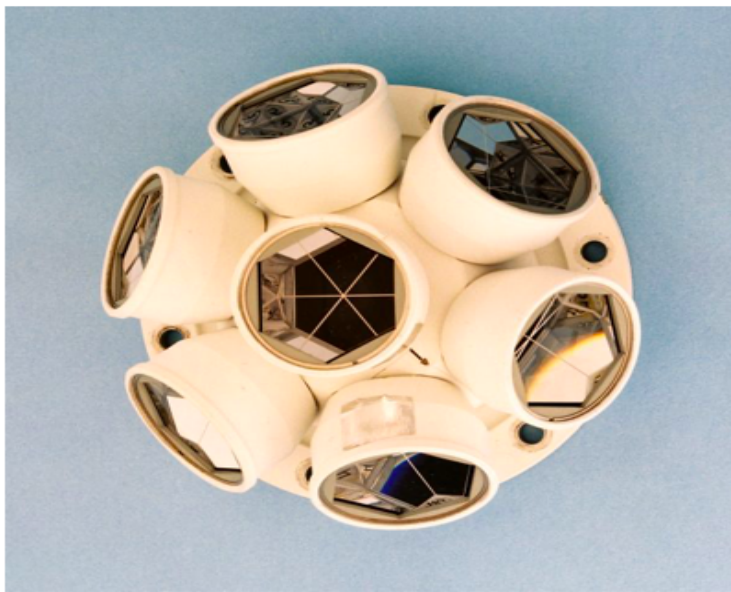


Figura 40: LRR foto

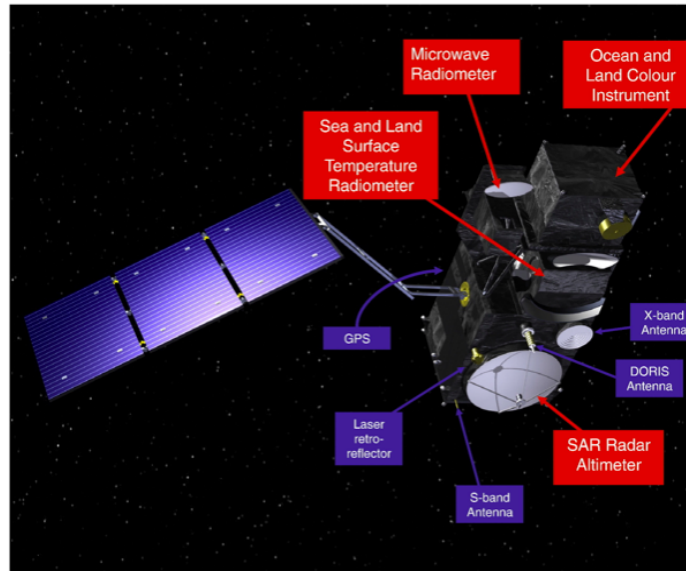


Figura 41: Sentinel-3 Payload

3.6.3 Dati ottenuti

Il sistema di elaborazione e distribuzione dei prodotti Sentinel-3 (PDGS) implementa catene di elaborazione per generare dati relativi al colore dell'oceano e alle riflessioni sulla terra, alle temperature di superficie terrestre e marina, e alla topografia degli oceani e delle terre. Il processo di elaborazione dei dati Sentinel-3 combina le informazioni provenienti dai sensori OLCI e SLSTR per ottenere prodotti simili a quelli forniti dal sistema SPOT Vegetation. I prodotti di sinergia di Sentinel-3 mantengono gli stessi attributi e la qualità dei prodotti standard SPOT Vegetation grazie a innovative tecniche di riassegnazione spettrale e co-localazione. A partire da gennaio 2020 vennero generati ulteriori dati relativi agli incendi e alle fiamme di gas rilevati sia in ambienti terrestri che marini, nonché dettagli sulle caratteristiche degli aerosol in tali contesti.

I prodotti destinati agli utenti di Sentinel-3 vengono distribuiti in Unità di Disseminazione del Prodotto (PDU) al fine di semplificare la diffusione online e la gestione dei dati per gli utenti. La PDU è una porzione di dati definita per ciascun tipo di prodotto. Per i prodotti Sentinel-3 sono state stabilite tre tipologie di PDU:

- frame che è individuato attraverso un sistema di riferimento fisso basato sulle coordinate lungo la traccia e le coordinate lungo il ciclo orbitale. La coordinata lungo la traccia identifica il punto di inizio del frame del prodotto rispetto a una posizione orbitale fissa. Ogni frame è separato da un intervallo di tempo costante lungo la traccia orbitale. La coordinata lungo il ciclo orbitale identifica il numero relativo dell'orbita all'interno del ciclo orbitale.
- stripe che corrisponde o a un'acquisizione dei dati o a un segmento di tempo di acquisizione definito, la cui lunghezza può variare in base al tipo di strumento. Un caso particolare di stripe è rappresentato dal prodotto simile a Vegetation (denominato VGT-P).
- tile che sono definiti solo per i prodotti di sintesi simili a quelli di tipo Vegetation con uno spazio temporale da 1 o 10 giorni.

I dati dell'OLCI e dell'SLSTR sono disponibili in vari tipi di prodotti associati a tre livelli di elaborazione:

- Livello-0 rappresenta il pacchetto di dati di sorgente dello strumento ricostruito e ordinato cronologicamente con la massima risoluzione spazio-temporale. Tutti gli artefatti delle comunicazioni e i pacchetti non validi vengono rimossi.
- Livello-1 include misurazioni radiometriche al Top-Of-Atmosphere (TOA) che sono state radiometricamente corrette, calibrate e caratterizzate spettralmente. Questi dati sono sottoposti a controllo di qualità, geolocalizzati in termini di latitudine, longitudine e altitudine, e contengono annotazioni sulla posizione e l'orientamento del satellite, punti di riferimento e una classificazione preliminare dei pixel.
- Livello-2 comprende quantità geofisiche derivate dall'elaborazione dei dati di misura presenti nei prodotti di Livello-1. I prodotti di Livello-2 sono generati separatamente per applicazioni marine e terrestri e contengono parametri specifici per ciascun campo di applicazione. Informazioni atmosferiche rilevanti per entrambi i campi di applicazione, come il vapore acqueo, sono presenti in entrambi i flussi di dati.

I prodotti dati di Livello-1 e 2 sono accessibili al pubblico in generale. Il tempo richiesto per la consegna dei prodotti dipende dal livello di urgenza; i prodotti in Tempo Reale (NRT) sono forniti agli utenti entro 3 ore dalla ricezione dei dati da parte del sensore, invece quelli Non-Time Critical (NTC) sono consegnati entro un mese dall'acquisizione o dall'archivio a lungo termine.

Possiamo individuare due categorie di dati di tipo sinergico. Il processo di sinergia al livello 1 ha l'obiettivo di estrarre le radianze e la temperatura di luminosità da OLCI e SLSTR insieme alle relative annotazioni della geometria di acquisizione. Inoltre, questo processo calcola le griglie di corrispondenza tra il canale di riferimento di OLCI e tutti gli altri canali di OLCI e SLSTR. Invece il processo di sinergia al livello 2 si propone di combinare le informazioni dai sensori OLCI e SLSTR per fornire dati migliorati per l'analisi delle superfici terrestri.

Ci sono diversi tipi di prodotti dati associati ai tre livelli di elaborazione dei dati dell'altimetro:

- Livello-0 rappresenta i dati relativi alla telemetria grezzi, geolocalizzati e datati.
- Livello-1 comprende i dati di Livello-0 corretti per gli effetti strumentali.
- Livello-2 comprende i dati di Livello 1 corretti per gli effetti geofisici.

I prodotti di Livello-1 e Livello-2 di SRAL/MWR sono disponibili al pubblico in generale. Ci sono diversi tipi di prodotti dati a seconda del tempo di consegna agli utenti e dei dati ausiliari consolidati disponibili:

- Near Real-Time (NRT): consegnati entro meno di 3 ore dopo l'acquisizione dei dati, principalmente utilizzati per la meteorologia marina e gli studi sul trasferimento di gas tra l'oceano e l'atmosfera
- Slow Time Critical (STC): consegnati entro 48 ore dopo l'acquisizione dei dati, principalmente a causa della consolidazione di alcuni dati ausiliari ed essi sono principalmente utilizzati per studi geofisici e oceanografia operativa.
- Non Time Critical (NTC): generalmente consegnati entro 1 mese dall'acquisizione dei dati e hanno le medesime caratteristiche dei STC



Figura 42: Struttura dati Sentinel-3

Available to the User?	Description	Level
Yes	Full Resolution Top Of Atmosphere radiance	Level 1
Yes	Reduced Resolution Top Of Atmosphere radiance	
No	Dark offset and gain coefficients from radiometric calibration	
No	Wavelength characterization from spectral calibration	
Yes	Full Resolution Water & Atmosphere geophysical products	Level 2
Yes	Full Resolution Land & Atmosphere geophysical products	
Yes	Reduced Resolution Water & Atmosphere geophysical products	
Yes	Reduced Resolution Land & Atmosphere geophysical products	

Figura 43: Dati OLCI

About COPERNICUS SENTINEL-3

WHAT?
With a suite of cutting-edge instruments, Sentinel-3 measures systematically Earth's oceans, land, rivers and lakes, land ice, sea-ice and atmosphere, to monitor and understand long term and large-scale global dynamics

INSTRUMENTS?
The spacecraft carries four main instruments:
OLCI: Ocean and Land Colour Instrument
SLSTR: Sea and Land Surface Temperature Radiometer
SRAL: SAR Radar Altimeter
MWR: Microwave Radiometer

APPLICATIONS?
A versatile mission that supports many applications, main ones include: measuring sea and lake surface topography, sea and land surface temperature, sea-ice and land ice elevation and ocean and land surface colour to support ocean forecasting systems, environmental monitoring and climate monitoring, and wildfire monitoring. The mission is jointly operated by ESA and EUMETSAT to deliver operational ocean and land observation services

WHEN?
Sentinel-3A + Sentinel-3B
16 Feb 2016 + 25 Apr 2018
Both were taken into orbit on a Rocket launcher from Plesetsk Cosmodrome, Russia

WHERE?
Both satellites were designed and built by a consortium of around 100 companies, under the leadership of Thales Alenia Space, France. The mission is the result of close collaboration between ESA, the European Commission, EUMETSAT, France's CNES space agency, industry, service providers and data users

DATA AND USERS?
Since the start of dissemination of Sentinel-3A data in October 2016 and until September 2021, users have downloaded 332,000,000 Sentinel-3 products, corresponding to a total volume of 35.64 PB. The archive exploitation ratio was 1:11, meaning that users have downloaded 11 times the number of Sentinel-3 published products. Data are exploited by various users: Copernicus Services, public institutions, scientists, researchers and commercial companies

WHAT'S NEXT?
Continuity over the coming years will be ensured by the launch of additional satellites (Sentinel-3C and Sentinel-3D). Furthermore, a new generation of Sentinel-3 satellites is being prepared, to take up the relay from the first generation

BENEFITS?
Core services relate to: Numerical Ocean Prediction; Global Land Monitoring Applications; Open Ocean and Sea-Ice and Land Ice Monitoring; Coastal Zone Monitoring; Atmospheric Services; Climate Change Monitoring; Environmental Policy and Law; Maritime Safety and Security; and Support to European Security, Humanitarian and Emergency Services

DATA ACCESS <https://schub.copernicus.eu/>

Logos: European Union, ESA, Copernicus

Figura 44: Missione Sentinel-3

3.7 Utilizzo dati ottenuti tramite Copernicus per lo studio di un caso specifico

Tramite la piattaforma EO Browser, impostata in modalità "Education" e selezionando l'area tematica relativa all'agricoltura, ho ricercato una parte specifica di terreno e studiato le sue caratteristiche in un arco temporale impostabile dell'utente. Tramite la finestra ricerca ho trovato sulla mappa Roncadello, in provincia di Forlì, e ho evidenziato una sezione di studio di circa 1 km²; questo passaggio è necessario per la visualizzazione di dati numerici e relative tabelle o grafici tra cui quello relativo alla riflettanza. I dati ottenuti da questo tipo di studio del terreno sono prevalentemente estrapolati dalle tredici bande di SENTINEL-2 con una risoluzione spaziale di 10 o 20 o 60 metri a seconda delle lunghezze d'onda e consistono in immagini satellitari del terreno con relative interpretazioni. Il composito a colori reali utilizza le bande della luce visibile rosso, verde e blu nei rispettivi canali di colore rosso, verde e blu, risultando in un prodotto dai colori naturali che rappresenta bene la Terra come gli esseri umani la vedrebbero naturalmente. Un composito a colori falsi sfrutta almeno una lunghezza d'onda invisibile all'occhio umano per ottenere immagini della Terra. In particolare, il composito a colori falsi che utilizza le bande del vicino infrarosso, del rosso e del verde è molto diffuso e comunemente impiegato per valutare la densità e la salute delle piante, poiché le piante riflettono la luce nel vicino infrarosso e nel verde, mentre assorbono la luce rossa. Nelle immagini risultanti, le aree urbane e il terreno esposto appaiono di colore grigio o marrone, mentre le zone d'acqua sono raffigurate in blu o nero. L'indice di vegetazione a differenza normalizzata (NDVI) è una misura semplice ma efficace per valutare la presenza di vegetazione verde. Questo indice si basa su come le piante riflettono la luce a lunghezze d'onda specifiche ed è un indicatore della salute della vegetazione. Il suo intervallo di valori varia da -1 a 1. Valori negativi del NDVI indicano la presenza di acqua, quelli prossimi allo zero (-0,1 a 0,1) solitamente corrispondono a zone prive di vegetazione come rocce, sabbia o neve, quelli bassi e positivi rappresentano aree con arbusti e praterie (circa 0,2 a 0,4) mentre valori elevati indicano foreste pluviali temperate e tropicali (valori che si avvicinano a 1). L'indice normalizzato di differenza di umidità (NDMI) è impiegato per determinare il contenuto d'acqua nella vegetazione e per sorvegliare le situazioni di siccità. Il suo intervallo di valori va da -1 a 1. Valori negativi sono indicativi di terreni privi di vegetazione, quelli prossimi a zero (-0,2 a 0,4) solitamente indicano uno stato di stress idrico mentre valori positivi elevati rappresentano una copertura vegetale abbondante senza segni di stress idrico (circa da 0,4 a 1). L'NDMI per lo stress idrico può essere impiegato per rilevare la presenza di irrigazione. Quando tutti i valori dell'indice superano 0, è possibile, in base alla destinazione d'uso del terreno e alla copertura vegetale, determinare se sia stata eseguita l'irrigazione. Con la conoscenza del tipo di coltura coltivata è possibile stabilire se l'irrigazione sia efficace durante la fondamentale stagione estiva di crescita e individuare se alcune parti dell'area coltivata ricevano irrigazione in eccesso o in mancanza. Il composito agricolo utilizza la combinazione di onde brevi nell'infrarosso, onde vicine nell'infrarosso e il colore blu per monitorare la salute delle coltivazioni. Le bande nell'infrarosso a onde corte e nell'infrarosso prossimo sono particolarmente efficaci nel mettere in evidenza la vegetazione densa, che appare di colore verde scuro nel composito. Le coltivazioni sembrano di un verde vivido, mentre le aree di terreno nudo appaiono di colore magenta.

Nelle immagini ottenute con ciascuna banda di interesse che riporto è sempre evidenziata la sezione di interesse, ai fini del mio studio, tramite un quadrilatero da me disegnato sulla mappa. Per alcuni parametri di indagine del terreno la piattaforma fornisce anche una loro variazione relativa ad un arco temporale selezionabile dell'utente.

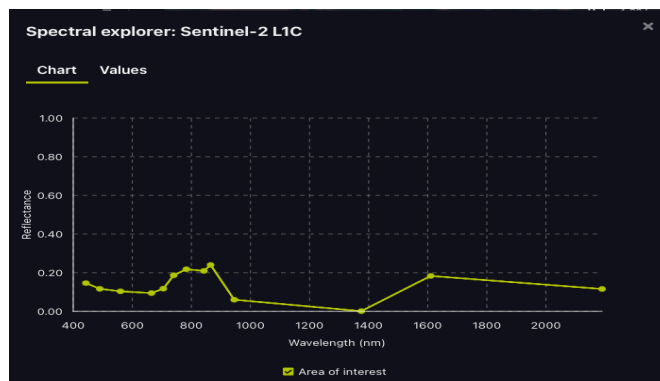


Figura 45: Grafico riflettanza in diverse lunghezze d'onda relativo all'area di interesse



Figura 46: Composito a colori reali

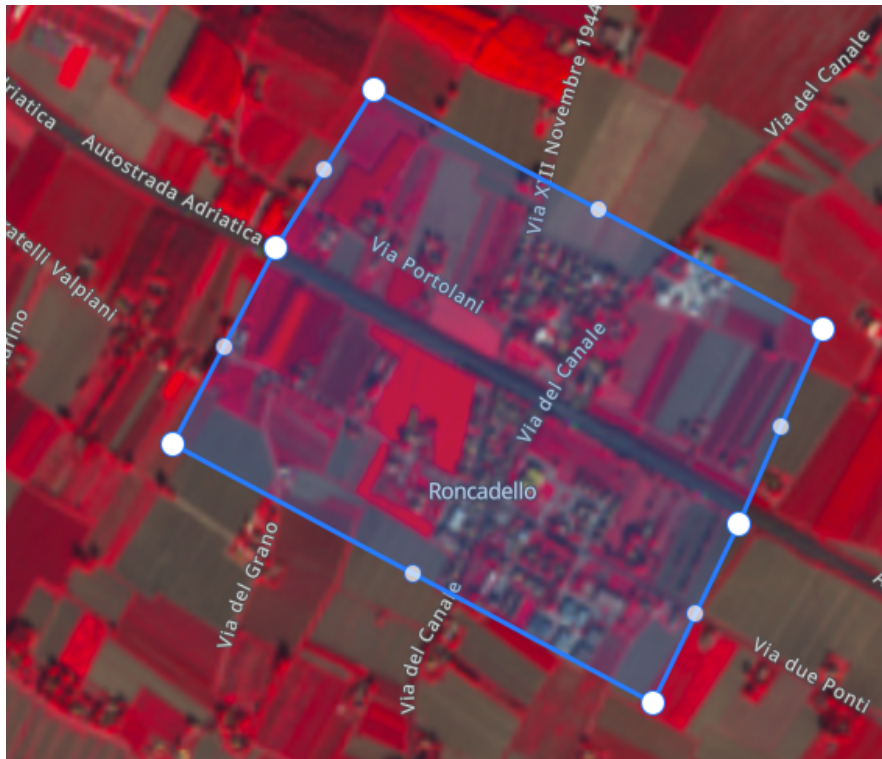


Figura 47: Composito a colori falsi



Figura 48: Immagine NDIV

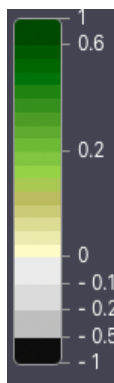


Figura 49: Legenda colori e rispettivi valori NDIV

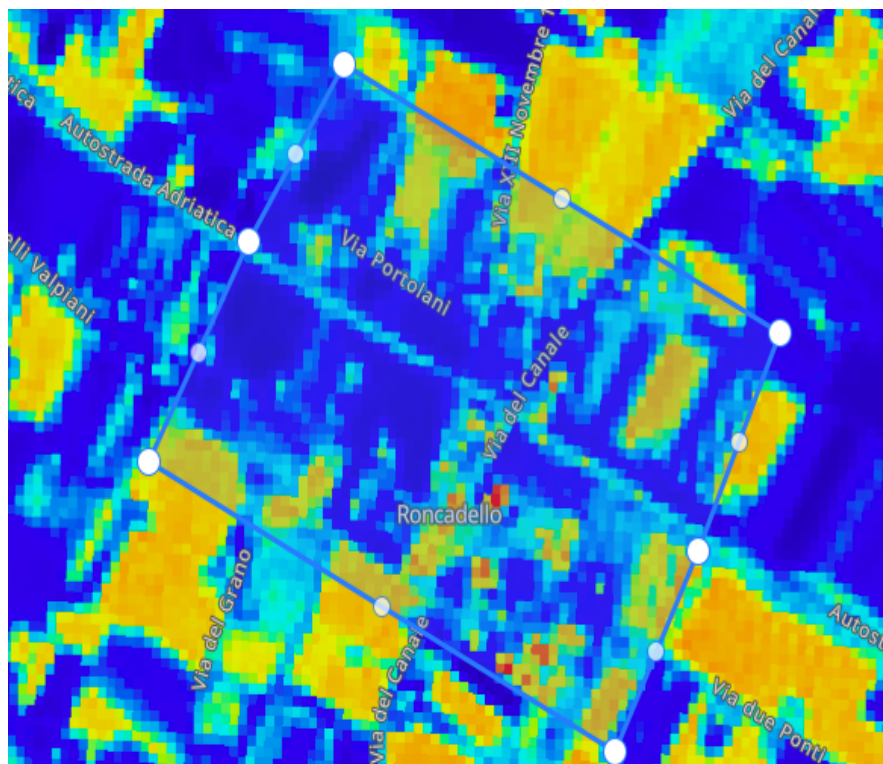


Figura 50: Immagine NDMI



Figura 51: Legenda colori e rispettivi valori NDMI

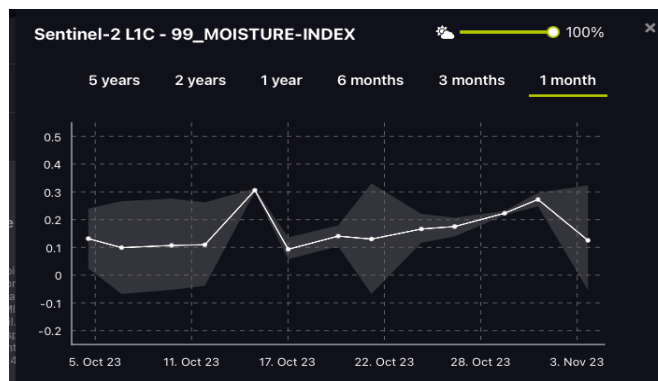


Figura 52: Variazione temporale in un arco di cinque anni del parametro NDMI

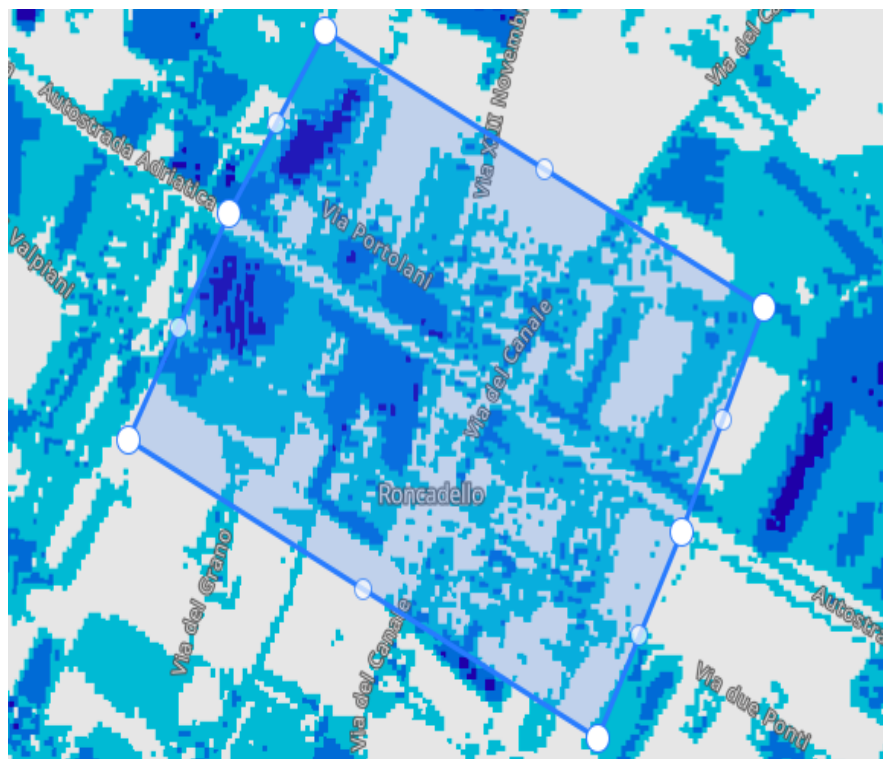


Figura 53: Utilizzo NDMI per rilevare la presenza di irrigazione

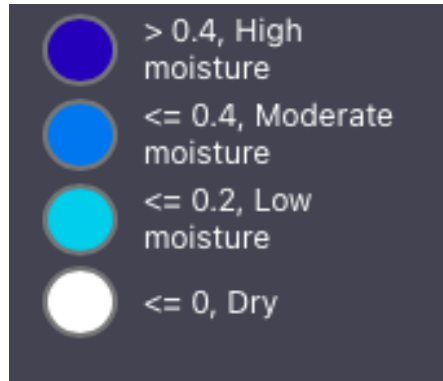


Figura 54: Legenda colori e rispettivi valori NDMI per rilevare la presenza di irrigazione

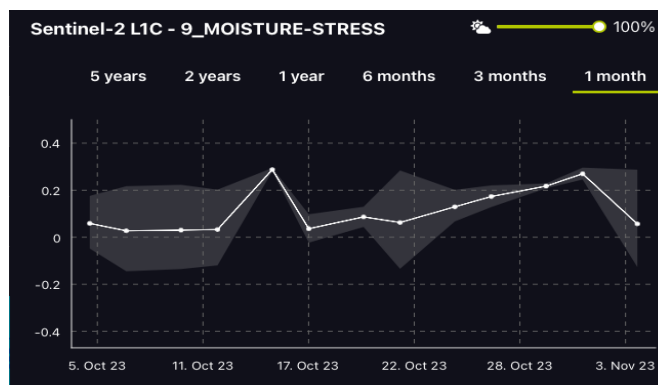


Figura 55: Variazione temporale in un arco di cinque anni dello stress idrico del terreno correlato al parametro NDMI

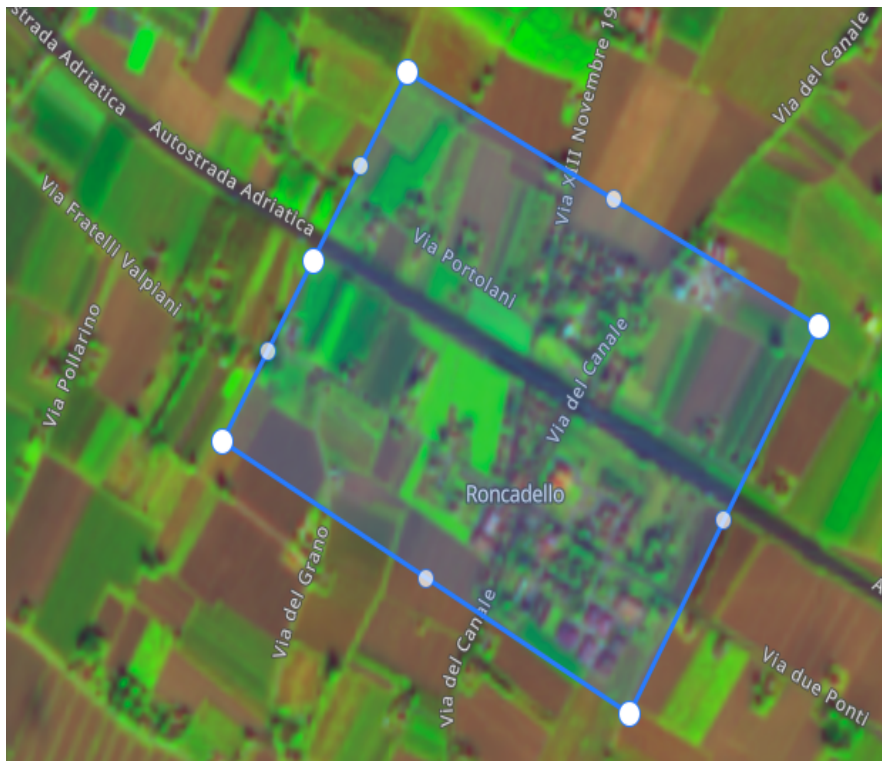


Figura 56: Composito agricolo

3.8 Missioni future

Dopo il lancio del satellite Sentinel-6 "Michael Freilich", l'attenzione si è ora spostata verso il futuro. Di conseguenza, sono attualmente in fase di studio sei missioni candidate ad alta priorità (Copernicus Expansion Missions) al fine di soddisfare le politiche dell'UE e colmare le lacune nelle esigenze degli utenti di Copernicus, nonché per ampliare le attuali capacità del componente spaziale di Copernicus. Alcune di esse sono:

- **CHIME:** Copernicus Hyperspectral Imaging Mission Integrando il Copernicus Sentinel-2 per applicazioni come la mappatura della copertura terrestre, questa missione sarebbe dotata di uno spettrometro visibile nell'infrarosso a onde corte unico nel suo genere, fornendo osservazioni iperspettrali di routine per sostenere nuovi e migliorati servizi per la gestione agricola sostenibile e la biodiversità, nonché per la caratterizzazione delle proprietà del suolo
- **LSTM:** Copernicus Land Surface Temperature Monitoring La missione risponderebbe alle priorità della comunità agricola per migliorare la produttività agricola sostenibile a livello di campi in un mondo caratterizzato da crescente scarsità d'acqua e variabilità. Porterebbe un sensore termico ad infrarossi ad alta risoluzione spaziale e temporale per fornire osservazioni della temperatura della superficie terrestre. Tali misurazioni e l'evapotraspirazione derivata sono variabili chiave per comprendere e rispondere alla variabilità climatica, gestire le risorse idriche per la produzione agricola, prevedere le siccità e affrontare la degradazione del suolo, le catastrofi naturali come incendi e vulcani, la gestione delle acque costiere e interne e le questioni legate all'effetto isola di calore urbano
- **ROSE-L:** Synthetic Aperture Radar (SAR) a banda L La missione fornirebbe ulteriori informazioni che non possono essere raccolte dalla missione radar a banda C del Copernicus Sentinel-1, poiché porterebbe un SAR a banda L, il cui segnale a banda L più lunga può penetrare in molti materiali naturali come la vegetazione, la neve secca e il ghiaccio. Sarebbe utilizzato per supportare la gestione forestale, monitorare l'affossamento e l'umidità del suolo e discriminare i tipi di colture per l'agricoltura di precisione e la sicurezza alimentare
- **CIMR:** Copernicus Imaging Microwave Radiometer Rispondendo alle priorità delle comunità utenti dell'Artico, questa missione sarebbe dotata di un radiometro a microonde a multi-frequenza a scansione conica a larga larghezza di banda, per fornire osservazioni della temperatura superficiale del mare, della concentrazione di ghiaccio marino e della salinità superficiale del mare, mentre osserverebbe anche una vasta gamma di altri parametri del ghiaccio marino
- **CO2M:** Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring Questa missione sarebbe dotata di uno spettrometro nel vicino-infrarosso e infrarosso a onde corte per misurare il biossido di carbonio atmosferico prodotto dall'attività umana, fornendo all'UE una fonte unica e indipendente di informazioni per valutare l'efficacia delle misure politiche e tracciare il loro impatto sulla decarbonizzazione dell'Europa e sul raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni nazionali
- **CRISTAL:** Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter La missione contribuirebbe a una migliore comprensione dei processi climatici, grazie al suo altimetro radar a doppia frequenza e al radiometro a microonde per misurare e monitorare lo spessore del ghiaccio marino e la profondità della neve soprastante. Misurerebbe e monitorerebbe anche i cambiamenti nell'altezza dei ghiacciai e delle calotte di ghiaccio in tutto il mondo, mentre le misurazioni dello spessore del ghiaccio marino supporterebbero le operazioni marittime negli oceani polari

4 Dati forniti da Copernicus nel mondo dell'agricoltura

Il compito principale delle missioni Sentinel è quello di fornire dati affidabili, continuativi e indipendenti sull'utilizzo del territorio come risorsa, contribuendo così a supportare la gestione e il monitoraggio della sua capacità di resistere alle crescenti pressioni socio-economiche. Le missioni Sentinel forniscono dati di supporto per condurre studi e attività a livello federale, nazionale e locale, e svolgono un ruolo fondamentale nel contribuire a risolvere una varietà di questioni legate alle politiche di gestione del territorio. Per quanto riguarda le funzioni specifiche delle missioni Sentinel:

- Sentinel-1 offre la capacità di effettuare immagini radar in qualsiasi condizione meteorologica, di giorno e di notte, per i servizi di monitoraggio terrestre ed oceanico di Copernicus
- Sentinel-2 fornisce dati ad alta risoluzione di immagini ottiche per supportare gli studi di monitoraggio del territorio, compresi il monitoraggio della vegetazione, della copertura del suolo e dell'acqua, nonché l'osservazione delle vie navigabili interne e delle aree costiere
- La missione principale di Sentinel-3 è quella di fornire una capacità multi-strumentale per supportare la precisa parametrizzazione di argomenti come la temperatura della superficie terrestre e le caratteristiche del territorio.

Il monitoraggio del territorio fornisce dati ad una vasta gamma di progetti tra i quali possiamo trovare:

- La mappatura della copertura del territorio cioè dei materiali che rivestono la superficie terrestre, come ad esempio vegetazione e acqua; i satelliti possono essere utilizzati per monitorare la sua variazione nel tempo. Lo strumento SAR (Radar a sintesi di apertura) di Sentinel-1 supporta la classificazione della copertura del territorio e la mappatura dei cambiamenti. L' MSI (Multispectral Instrument) di Sentinel-2 fornisce supporto ai servizi di monitoraggio del territorio. A bordo di Sentinel-3 il SAR supporta applicazioni legate al territorio, come il monitoraggio di fiumi e laghi, studi di geodesia, nonché la misurazione e il monitoraggio di neve e ghiaccio. Invece lo strumento ottico OLCI fornisce supporto al monitoraggio del territorio, così come all'agricoltura di precisione e al monitoraggio della desertificazione
- La mappatura delle variabili Bio-Geofisiche le quali comprendono termini biologici (specie vegetali, interazioni ecologiche, produttività biotica), geologici (tipi di suolo, sedimenti, erosione) e fisici (luce, calore, gravità) che giocano un ruolo nel paesaggio terrestre. Tale mappatura comprende sia lo studio di questi parametri sia il monitoraggio delle loro variazioni nel tempo ed è supportata del prodotto di sinergia di OLCI e di SLSTR.
- La mappatura dei rischi sulla terra e in acqua che può rappresentare uno strumento vitale per la prevenzione e la ricerca di soluzioni. I satelliti possono offrire preziose prospettive dall'alto e aiutare nell'analisi dei rischi. La missione SAR supporta la mappatura delle deformazioni urbane mentre lo strumento SLSTR di Sentinel-3 fornisce dati per applicazioni di monitoraggio del territorio (come la localizzazione degli incendi) e del settore forestale (la temperatura superficiale terrestre).
- Il monitoraggio delle foreste, quelle del mondo svolgono un ruolo importante nel clima, e quindi monitorarle fornisce un'utile indicazione su come il clima potrebbe cambiare. È anche utile per tenere traccia sia della deforestazione che della riforestazione. Il SAR di Sentinel-1 supporta il monitoraggio delle foreste.
- La desertificazione, che è il processo mediante il quale una terra diventa progressivamente più arida, fino a esaurire l'umidità nel suolo. Ciò porta infine all'assenza di vegetazione

e degli animali che prosperano in tali condizioni. La desertificazione è avvenuta diverse volte nella storia umana ed è stata causata sia da cambiamenti climatici naturali che da modifiche apportate a una zona dall'interazione umana.

- Lo studio di neve e ghiaccio. Una decima parte della superficie terrestre è costantemente coperta di ghiaccio, ma neve e ghiaccio sono presenti in varie quantità in tutto il mondo durante le diverse stagioni. Questo processo di formazione e scioglimento del ghiaccio è un indicatore significativo dei cambiamenti climatici, e i satelliti svolgono un ruolo fondamentale nel monitorarlo. Le osservazioni satellitari possono anche essere utili per monitorare ghiacciai e iceberg e per pianificare rotte di navigazione sicure attraverso condizioni ghiacciate. Il SAR supporta la classificazione di neve e ghiaccio e il monitoraggio dei ghiacciai mentre le misure di carattere altimetrico di Sentinel-3 supporta il monitoraggio del ghiaccio marino e dello spessore del ghiaccio.
- L'agricoltura di precisione

4.1 Agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione, che sfrutta i dati satellitari, è un approccio altamente accurato nella gestione delle aziende agricole. Le osservazioni satellitari consentono di monitorare con precisione le variazioni nei campi e forniscono dati statistici che aiutano a individuare le migliori strumentazioni, pratiche e decisioni da adottare. La missione SAR (Radar a Sintesi di Apertura) di Sentinel-1 è dedicata al controllo delle aree agricole. Il monitoraggio delle condizioni delle coltivazioni, delle proprietà del suolo e la mappatura delle attività di aratura contribuiscono a valutare l'uso del suolo, prevedere i raccolti, monitorare le variazioni stagionali e assistere nell'attuazione di politiche per lo sviluppo sostenibile. Sentinel-1 può essere utilizzato anche per monitorare le variazioni nella produzione agricola e nella produttività dei pascoli causate dalla siccità e per monitorare il declino della produttività del suolo e la degradazione del terreno dovuti a coltivazioni e pascoli eccessivi e irrigazioni improprie. Le mappe agricole consentono di fornire stime indipendenti ed obiettive dell'estensione delle coltivazioni in un determinato paese o stagione di crescita, il che può essere utilizzato per sostenere gli sforzi volti a garantire la sicurezza alimentare nelle aree vulnerabili.

Tra i vari dati che si possono ottenere grazie a Sentinel-1 e le loro applicazioni una di particolare interesse è la polarimetria utilizzata nell'ambito agricolo per l'identificazione del tipo di coltura, il monitoraggio delle condizioni delle coltivazioni e misurazione dell'umidità del suolo. Sentinel-1 può raccogliere diverse immagini con una serie di impulsi utilizzando la sua antenna per ricevere polarizzazioni specifiche contemporaneamente. I bersagli a terra hanno firme di polarizzazione distintive che riflettono diverse polarizzazioni con diverse intensità e convertendo una polarizzazione in un'altra. Ad esempio, i diffusori di volume (come la copertura forestale) hanno proprietà di polarizzazione diverse rispetto ai diffusori di superficie (come la superficie del mare). Il monitoraggio delle condizioni delle colture, delle caratteristiche del suolo e la registrazione delle attività di lavorazione dei terreni sono strumenti utili per valutare l'uso del suolo, prevedere i raccolti, sorvegliare i cambiamenti stagionali e assistere nell'attuazione di politiche volte allo sviluppo sostenibile.

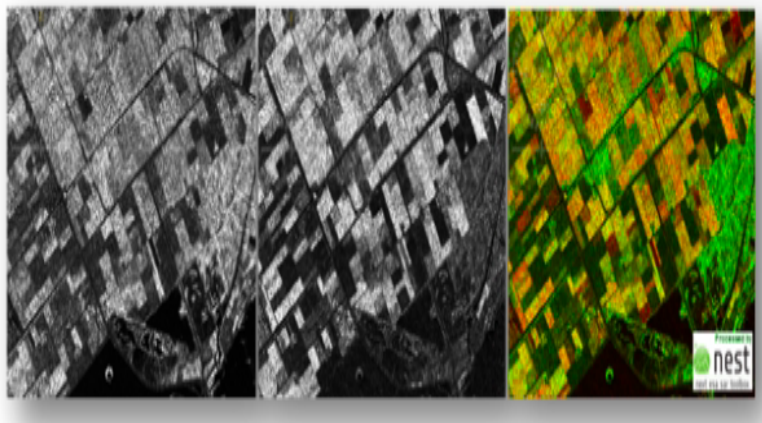


Figura 57: Esempio di polarimetria

4.2 Portare l'agricoltura nell'era spaziale

Gli esseri umani hanno iniziato a coltivare la terra circa 10.000 anni fa, quindi a questo punto dovremmo essere abbastanza bravi in questo campo. Tuttavia, le preoccupazioni ambientali, la sostenibilità, le quote, i sussidi e la burocrazia rendono l'agricoltura più impegnativa che mai. I satelliti offrono una soluzione a molti di questi problemi, ma come può l'agricoltore comune sfruttarne il potenziale? Satelliti come le missioni Sentinel di Copernicus, SMOS dell'ESA e il prossimo Fluorescence Explorer, FLEX che verrà lanciato nel 2025, forniscono una grande quantità di informazioni sulle condizioni di crescita e la salute delle colture che possono essere utilizzate per migliorare l'efficienza agricola. Tuttavia, i dati satellitari rappresentano solo l'inizio: devono essere trasformati in applicazioni facili da utilizzare per avere un reale valore per gli agricoltori. Le missioni Sentinel stanno rivoluzionando il modo in cui i dati satellitari vengono utilizzati per scopi pratici come l'agricoltura. Non solo le loro osservazioni sono accurate e sistematiche, ma sono anche gratuite e, cosa ancora più importante, continueranno per anni a venire. Sapere che ci sarà questa continuità è essenziale per i modelli aziendali, gli investimenti e la pianificazione per il futuro.

La missione SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) si dedica a effettuare osservazioni globali sull'umidità del suolo terrestre e sulla salinità negli oceani. Attraverso una mappatura costante di questi due componenti chiave nel ciclo dell'acqua, SMOS sta avanzando nella nostra comprensione dei processi di scambio tra la superficie terrestre e l'atmosfera della Terra, contribuendo a migliorare i modelli meteorologici e climatici. La stima dell'umidità del suolo nella zona delle radici è fondamentale per migliorare le previsioni meteorologiche a breve e medio termine, i modelli idrologici, il monitoraggio della fotosintesi e della crescita delle piante e la stima del ciclo del carbonio terrestre mappando il suolo mentre si congela. Le emissioni di metano potrebbero aumentare a causa della perdita di aree di permafrost in un clima che si sta riscaldando. SMOS ci aiuterà a comprendere i processi che stanno alla base dell'aumento delle emissioni di questo potente gas. Stime tempestive dell'umidità del suolo sono inoltre importanti per contribuire alla previsione di eventi pericolosi come inondazioni, siccità e ondate di calore. La missione SMOS è stata lanciata nel 2009.

Sfruttando una tecnologia avanzata, il Fluorescence Explorer (FLEX) acquisirà informazioni riguardo alla condizione delle piante a livello globale grazie l'utilizzo di uno strumento chiamato Spettrometro ad Immagini di Fluorescenza (Floris) per misurare il segnale fluorescente. La fotosintesi è un processo complesso che avviene nelle foglie delle piante, dove il biossido di carbonio atmosferico viene fissato e convertito in carboidrati ricchi di energia (nella parte su-

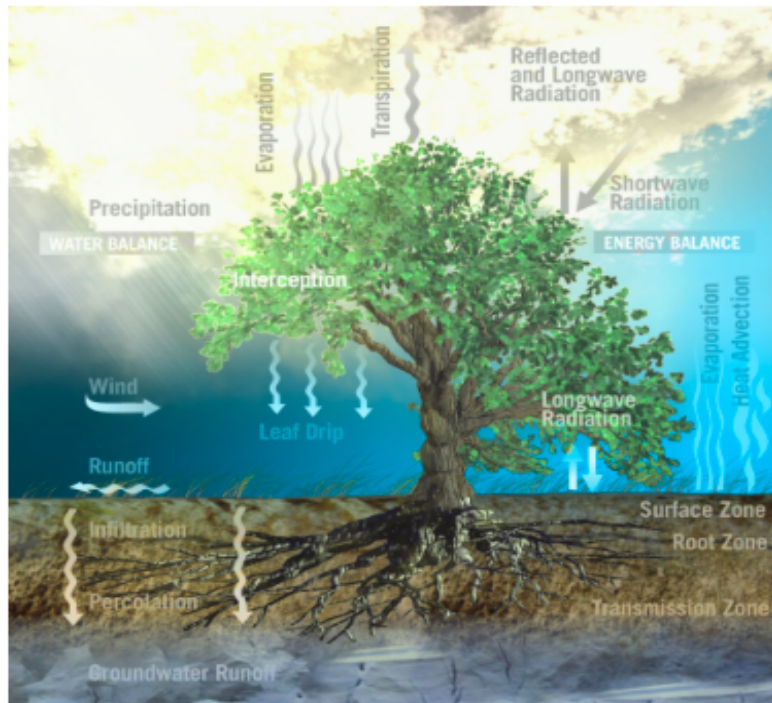


Figura 58: Schema del ciclo dell'acqua relativo alla terra e all'oceano

periore). La conversione dell'energia solare in portatori di energia biochimicamente utilizzabili (ATP e NADPH) avviene nella "reazione luminosa" della fotosintesi - una complessa cascata di assorbimento della luce, trasferimento degli elettroni e biosintesi. Le piante non riescono a utilizzare tutta l'energia prodotta infatti hanno sviluppato un meccanismo per liberarsi di questo eccesso emettendo fluorescenza, che è una luce con lunghezze d'onda più lunghe di quelle assorbite. In condizioni ideali, le piante utilizzano circa l'82 per cento della luce che assorbono per la crescita, mentre il resto viene dissipato come calore ed emesso come fluorescenza. La fluorescenza clorofilliana emessa proviene da due fotosistemi coinvolti nella reazione luminosa: PS II e PS I. La fluorescenza clorofilliana prodotta dalle prime reazioni in PS II ha lunghezze d'onda comprese tra 650 e 780 nm, con un picco di circa 685 nm. Nel caso di PS I, la fluorescenza si verifica quasi esclusivamente nello spettro del rosso lontano/infrarosso prossimo (maggiore di 700 nm), con un picco a circa 740 nm. L'intero spettro di emissione della clorofilla copre un intervallo di lunghezze d'onda che va dal visibile all'infrarosso prossimo, da 640 a 800 nm. Entrambi i fotosistemi operano all'interno di una catena di reazioni e vengono comunemente misurati come un segnale a due picchi. La fluorescenza riflette quanto efficientemente la pianta sta fotosintetizzando o quanto bene sta "respirando" e, di conseguenza, quanto è in salute. Flex offrendo nuove informazioni che possono essere utilizzate per migliorare la gestione dell'acqua e dei fertilizzanti, potrebbe anche aumentare la produttività agricola.

Questi dati saranno fondamentali per migliorare la nostra comprensione dei processi di scambio di carbonio tra le piante e l'atmosfera, l'effetto della fotosintesi sui cicli del carbonio e dell'acqua e del funzionamento, della salute e dello stress delle piante. I satelliti Earth Explorer come SMOS e FLEX sono importanti perché, sebbene siano essenzialmente progettati per scopi scientifici, dimostrano come nuove tecnologie spaziali possano essere sviluppate per scopi più operativi.

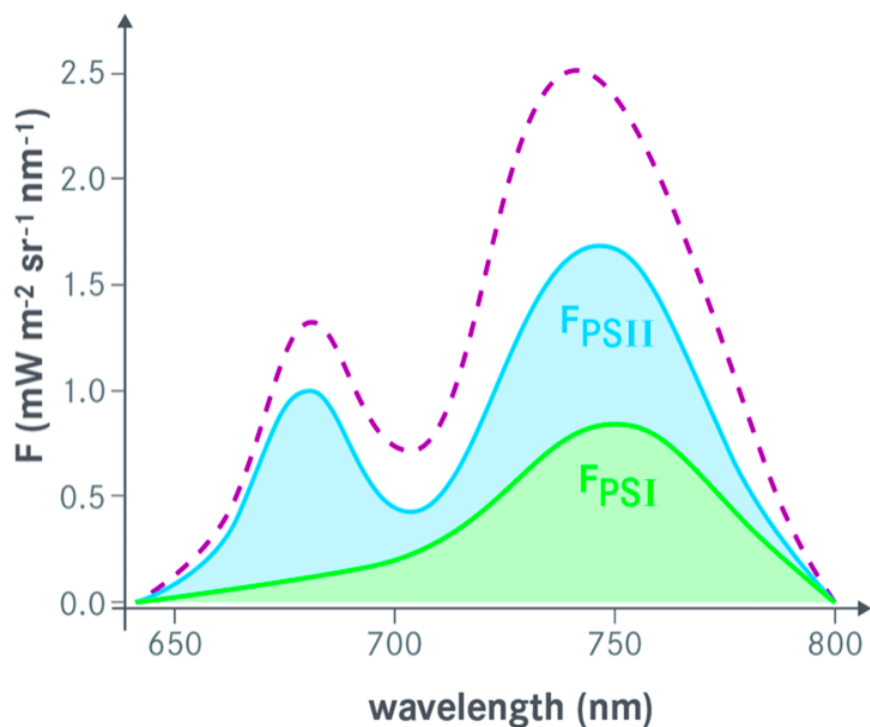
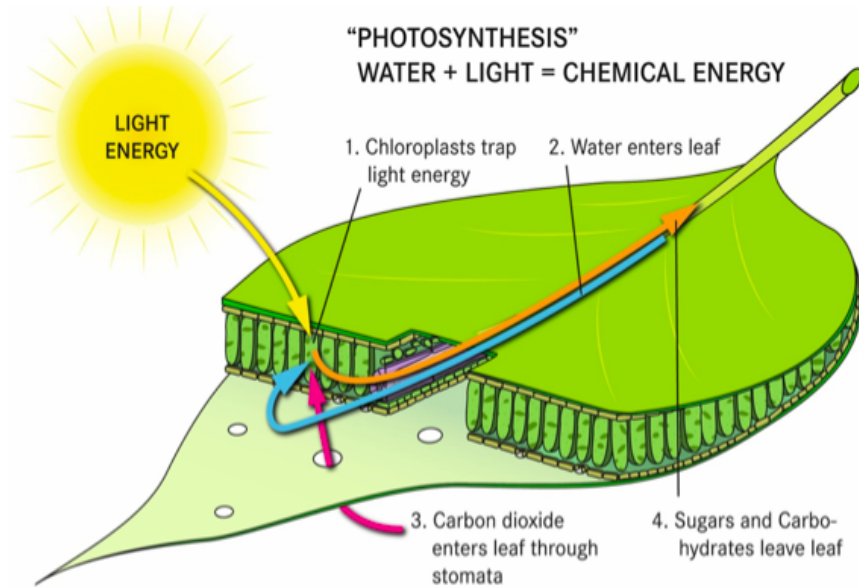


Figura 59: Fluorescenza clorofilliana emessa

Ger Nieuwpoort, direttore dell’Agenzia Spaziale dei Paesi Bassi, ha dichiarato: ”C’è chiaramente un enorme potenziale per sfruttare molto di più l’osservazione della Terra di quanto si faccia oggi”. Nonostante i Paesi Bassi abbiano dimensioni ridotte sono uno dei principali esportatori mondiali di prodotti agricoli e alimentari, e il paese adotta tecniche sempre più sofisticate per mantenere efficiente e sostenibile il settore agricolo.

Con i vantaggi evidenti che l’osservazione della Terra può apportare a settori come l’agricoltura, c’è un numero crescente di aziende ”value-adding” che si specializzano nel prendere i dati satellitari e trasformarli in prodotti commerciali utilizzabili dagli agricoltori. I value-adder possono utilizzare le misurazioni, ad esempio dal progetto SMOS, per consigliare gli agricoltori sull’irrigazione, avvertirli in caso di siccità o stress idrico e contribuire a migliorare le previsioni del rendimento delle colture. L’ESA sta facendo notevoli sforzi per garantire che i dati satellitari vengano sfruttati appieno attraverso una serie di Piattaforme di Sfruttamento Tematico. L’idea è rendere le informazioni disponibili anche per i non esperti, insieme agli strumenti e alle risorse di cui hanno bisogno, e, soprattutto, rendere tutto questo accessibile da un’unica fonte. I satelliti stanno diventando sempre più rilevanti per la vita di tutti i giorni. E grazie a un settore in crescita nel mondo degli affari insieme agli sforzi delle agenzie spaziali e dell’Unione europea, l’era spaziale sta portando sempre più benefici a una delle professioni più antiche: l’agricoltura.



CHEMICAL ENERGY + CARBON DIOXIDE = SUGAR

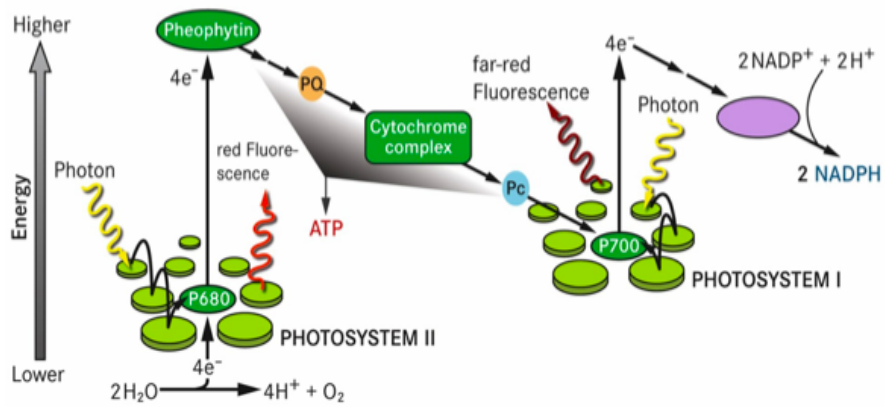


Figura 60: Schema illustrativo reazione di fotosintesi

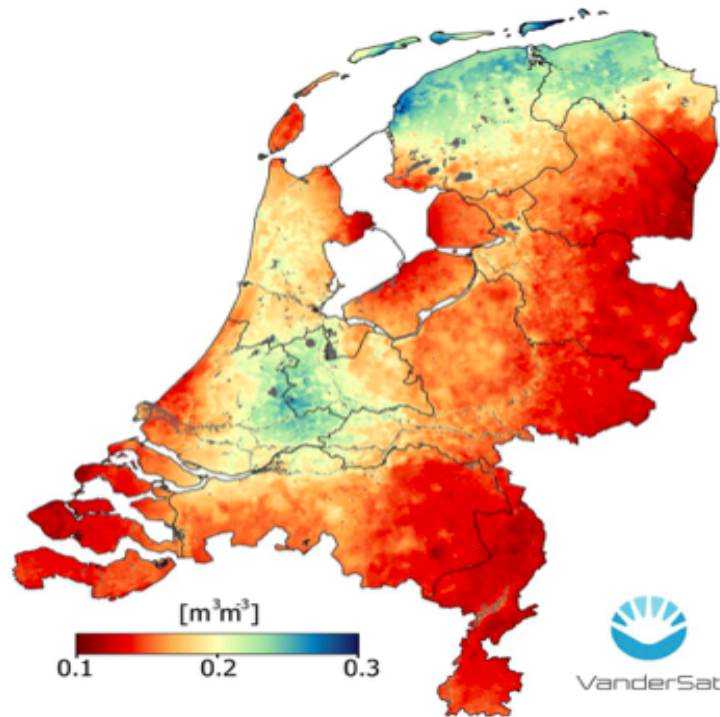


Figura 61: Esempio dati ottenuti dal progetto SMOS, umidità del suolo nei Paesi Bassi

4.3 TalkingFields: agricoltura intelligente

Gli agricoltori possono sfruttare le informazioni satellitari più recenti tramite il servizio innovativo TalkingFields, dell'azienda tedesca Vista, per massimizzare la produttività delle loro terre riducendo contemporaneamente l'impatto ambientale. L'obiettivo di questa iniziativa era sviluppare ed implementare un insieme di servizi di agricoltura di precisione completi ed economicamente vantaggiosi, grazie all'utilizzo dei dati del programma Copernicus, per coltivazioni.

Gli utenti target sono principalmente aziende agricole specializzate nella coltivazione di cereali in Germania ed Europa orientale, con particolare attenzione al grano tenero, al mais e alla barbabietola da zucchero. L'agricoltura di precisione richiede una mentalità aperta verso le nuove tecnologie e le loro applicazioni, coinvolgendo anche i produttori di macchinari agricoli.

L'agricoltore richiede un servizio specifico dal catalogo per una determinata area, che viene localizzata utilizzando tecnologie di navigazione. Il fornitore di servizi, basandosi sulle informazioni di navigazione, sui dati di osservazione della Terra e su un modello di superficie terrestre, prepara prodotti personalizzati. L'agricoltore, utilizzando i prodotti TalkingFields, la propria esperienza e le informazioni di navigazione, pianifica ed esegue le operazioni di gestione delle colture necessarie in luoghi specifici. In questo modo, ogni porzione di campo riceve un trattamento individuale, consentendo di risparmiare sui costi e migliorare il rendimento. I dati satellitari a disposizione su scala globale vengono personalizzati per soddisfare le esigenze specifiche di ciascun agricoltore.

Dal punto di vista tecnologico, la fornitura giornaliera (in linea di principio) di valori correnti di biomassa all'agricoltore e la previsione del rendimento sono resi possibili mediante l'assimilazione delle informazioni sulle colture ottenute dai satelliti di osservazione della Terra in un

modello di superficie terrestre. Questo modello simula la crescita giornaliera delle colture in base alle condizioni meteorologiche attuali, con una distribuzione spaziale e intervalli temporali orari durante l'intera stagione. Il concetto di TalkingFields, che combina un modello di crescita delle colture con informazioni di osservazione della Terra, consente la fornitura giornaliera di dati sulla biomassa e previsioni del rendimento. Il GNSS fornisce la localizzazione che consente agli agricoltori di condurre operazioni di precisione, come la protezione delle piante e l'applicazione dei fertilizzanti. Uno degli obiettivi di Vista è ridurre al minimo il deflusso di sostanze come l'azoto e il fosforo, che possono causare gravi problemi ambientali, tra cui l'inquinamento delle acque sotterranee e la formazione di fiori d'acqua tossici nei mari. I satelliti di osservazione della Terra forniscono informazioni sullo stato delle colture su tutti i campi di un'azienda in un unico istante.

Tra le applicazioni possiamo trovare:

- La coltivazione tramite l'approccio della sovrapposizione di mappe. Numerose ricerche scientifiche e test pratici hanno dimostrato che per ottenere i migliori risultati nella fertilizzazione azotata in un sito specifico è necessaria una combinazione di fattori, come l'integrazione del potenziale di resa a lungo termine e lo stato attuale di sviluppo e apporto di nutrienti delle colture. Utilizzando dati satellitari archiviati per estrarre modelli di distribuzione a lungo termine della biomassa e calcolando contemporaneamente lo stato attuale delle colture attraverso dati satellitari recenti e un modello di crescita delle colture, è possibile creare un database, sfruttando le nuove metodologie. Nelle sperimentazioni condotte nell'ambito del progetto TalkingFields con il frumento invernale, l'approccio della sovrapposizione di mappe ha portato a un incremento del profitto. Ciò è stato ottenuto grazie a un aumento della resa e, contemporaneamente, a una riduzione della quantità di fertilizzante necessaria rispetto a una fertilizzazione uniforme o basata esclusivamente su sensori.
- La pianificazione delle prove di campo in base al potenziale di biomassa a lungo termine. Il potenziale di base di biomassa a lungo termine di un campo viene determinato mediante un'analisi geostatistica di dati satellitari plurianuali. Questo potenziale è principalmente influenzato dalle caratteristiche del terreno, come la capacità di ritenzione dell'acqua. Anche se non fornisce informazioni dirette sulle cause dell'eterogeneità all'interno del campo essa costituisce una base pratica per un'analisi più dettagliata del terreno e può essere utilizzata per posizionare in modo mirato strisce sperimentali per prove di campo iterative. Questo tipo di configurazione garantisce che le condizioni iniziali non siano distribuite casualmente, ma equamente tra le strisce sperimentali, prevenendo così l'interpretazione errata delle differenze nei rendimenti ottenuti sulle strisce.
- I dati satellitari invece di sensori sui trattori. I sensori comunemente montati sui trattori, utilizzati per la fertilizzazione azotata e le misure di protezione delle piante, si basano sullo stesso principio di misurazione delle immagini satellitari, che consiste nella riflessione delle colture nel segmento visibile e nel vicino infrarosso dello spettro elettromagnetico. Questa riflessione fornisce un indicatore dello stato nutrizionale e della biomassa complessiva delle colture. Di conseguenza, è possibile applicare gli stessi metodi o metodi simili anche dallo spazio. Il vantaggio di questo approccio è che non sono necessarie ulteriori calibrazioni o la creazione di aree specifiche nel campo agricolo. Inoltre, mediante l'uso di un modello di crescita delle colture, è possibile ottenere sia stime della biomassa secca assoluta dai dati satellitari che informazioni valide anche nei giorni nuvolosi.

L'approccio di TalkingFields si concentra sull'erogazione di un servizio completo per gli agricoltori, che non devono necessariamente gestire direttamente i dati satellitari grezzi ma ricevono consulenza su come ottimizzare le operazioni agricole durante l'intera stagione di crescita.

Vista, in collaborazione con partner come FarmFacts e John Deere, ha recentemente ottenuto il prestigioso premio d'oro per l'innovazione alla fiera agricola internazionale Agritechnica a



Figura 62: Processo TalkingFields

Hannover. Questa è la prima volta che un premio simile è stato assegnato a un progetto di agricoltura intelligente basato sui dati satellitari.

4.4 FaST (Farm Sustainability Tool): strumento per la sostenibilità agricola

La piattaforma digitale del Farm Sustainability Tool è sostenuta dalla Direzione Generale dell'Agricoltura e dello Sviluppo Rurale della Commissione Europea, dal Programma Spaziale dell'Unione Europea e dal Programma ISA dell'Unione Europea.

FaST aiuta gli agricoltori dell'UE, le Agenzie Paganti degli Stati Membri, gli advisor agricoli e gli sviluppatori di soluzioni digitali a potenziare le rispettive capacità in una vasta gamma di attività agricole, ambientali e incentrate sulla sostenibilità. La piattaforma consente anche l'adozione di soluzioni basate sull'apprendimento automatico applicato al riconoscimento delle immagini, non che l'utilizzo di vari dati del settore pubblico e dati generati dagli utenti. FaST contribuirà a stabilire le fondamenta per un ecosistema digitale completo per la gestione sostenibile delle aziende agricole e delle terre in Europa.

Gli agricoltori scaricano e caricano dati dalla piattaforma FaST e ricevono proposte di servizi agricoli ad alto valore aggiunto che saranno visualizzati direttamente nell'app e nel portale web di FaST. La piattaforma FaST è connessa ai database nazionali, consentendo agli agricoltori di accedere facilmente ai propri dati senza doverli reinserire. Essa garantisce:

- **Vantaggi economici.** Gli agricoltori avranno l'opportunità di aumentare le entrate, ad esempio incrementando la resa delle colture grazie a un corretto dosaggio di fertilizzanti, e allo stesso tempo di ridurre i costi diminuendo l'uso di input come fertilizzanti, prodotti per la protezione delle piante o carburante
- **Tutela dell'ambiente.** Migliorando la gestione dei nutrienti, si ridurrà il rischio di perdite di azoto nel terreno, contribuendo così a preservare la qualità e la fertilità del suolo
- **Conformità normativa.** Grazie alle indicazioni fornite da FaST, in linea con la regolamentazione, gli agricoltori che utilizzano la piattaforma potranno migliorare la loro conformità normativa.
- **Risparmio di tempo.** Utilizzando uno strumento digitale come FaST, gli agricoltori semplificheranno le attività e non dovranno duplicare l'inserimento dei dati per scopi amministrativi e di gestione dell'azienda.
- **Aumento della comunicazione e della collaborazione.** Gli agricoltori potranno comunicare più agevolmente con le agenzie di pagamento o con altri agricoltori, ad esempio per segnalare problemi, garantendo tempestività ed efficacia.
- **Accesso a un maggior numero di applicazioni digitali.** Grazie alla modularità della piattaforma, saranno disponibili ulteriori funzionalità, inclusi servizi ambientali e soluzioni offerte dal settore privato, solitamente non accessibili agli agricoltori più piccoli a causa di costi o complessità.
- **Migliore conoscenza dei propri dati.** Come strumento di registrazione dati, FaST rileverà le tendenze relative alle terre degli agricoltori e diventerà uno strumento di supporto decisionale potente per loro.
- **Una soluzione per tutti gli agricoltori europei.** Indipendentemente dalle dimensioni delle loro aziende agricole, tutti gli agricoltori europei avranno accesso a strumenti digitali e piani di gestione personalizzati dei nutrienti.

L'obiettivo è far diventare FaST una piattaforma di livello mondiale per la generazione e l'uso/riuso di soluzioni per un'agricoltura sostenibile e competitiva basata su dati spaziali, quali Copernicus e Galileo, e su altri dataset pubblici e privati.

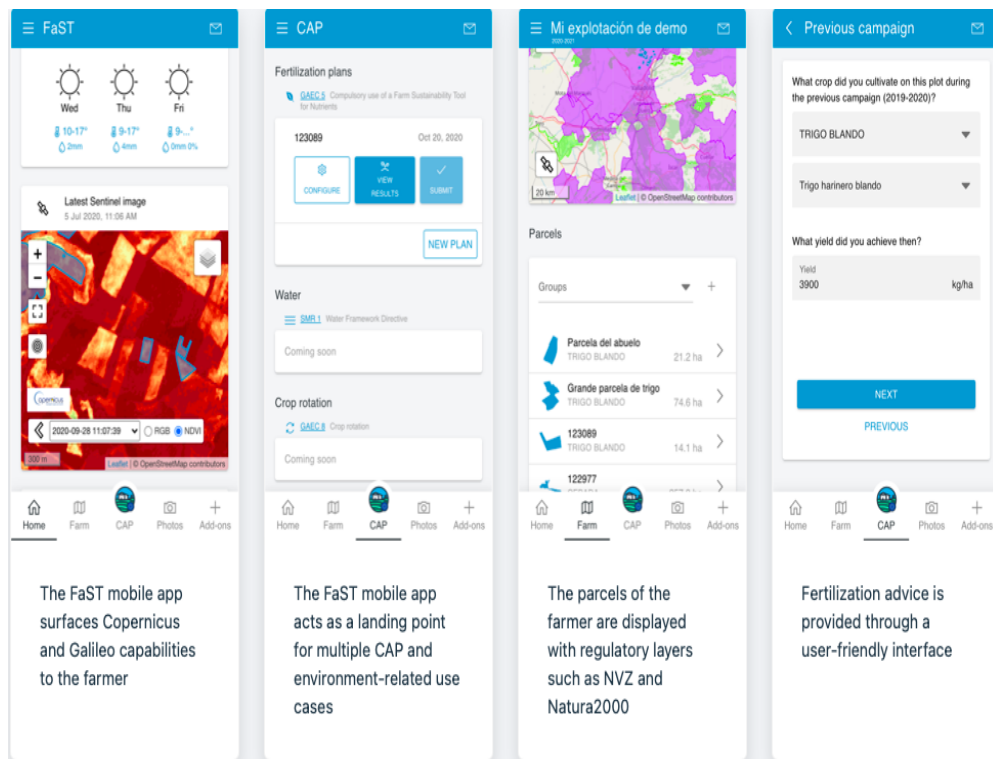


Figura 63: Immagini applicazione FaST per cellulare

4.5 FieldScout

L'agricoltura intelligente e accessibile grazie ai dati satellitari è ora disponibile per un numero maggiore di agricoltori grazie all'app FieldScout della start-up BioScope, finanziata dall'ESA. La raccolta di dati aerei è un modo efficiente per ottenere informazioni preziose su aspetti quali la salute delle piante e le condizioni del suolo. Tuttavia, rendere questi risultati accessibili agli agricoltori è stato la sfida principale. La start-up olandese BioScope ha sviluppato un modo per fornire direttamente queste informazioni agli agricoltori sul campo, permettendo loro di identificare e studiare qualsiasi problema specifico nelle coltivazioni. FieldScout offre un'interfaccia semplice con mappe schematiche sovrapposte alle immagini satellitari. L'app fornisce mappe delle zone del suolo, della biomassa e dei livelli di azoto nelle foglie delle colture, consentendo agli agricoltori di valutare se sia necessario intraprendere azioni correttive, come l'irrigazione o la fertilizzazione. Inoltre, vengono forniti grafici di crescita e mappe che mostrano le deviazioni dalla crescita media. L'app consente anche agli agricoltori di registrare le proprie osservazioni specifiche della posizione durante le ispezioni nei campi, comprese note e foto. L'obiettivo alla base di FieldScout era rendere questi dati istantanei, aggiornati e affidabili, in modo da consentire agli agricoltori di adottare nuove tecnologie in modo più agevole. Inizialmente, BioScope aveva pianificato di utilizzare droni insieme ai satelliti a causa delle condizioni meteorologiche variabili che potevano limitare l'efficacia dei satelliti da soli. Tuttavia, con l'avvento dei satelliti Sentinel operativi quotidianamente, la necessità di droni è diventata meno urgente. Questi satelliti forniscono immagini ad alta risoluzione multispettrali che monitorano le condizioni del suolo, la siccità e altri cambiamenti stagionali, fornendo informazioni utili agli agricoltori. L'app FieldScout ha vinto il Premio Galileo dei Paesi Bassi nel 2020 e ha ricevuto altri riconoscimenti per l'innovazione nell'osservazione della Terra. L'Associazione degli Agricoltori Olandesi (LTO) ha riconosciuto BioScope come organizzazione partner nel 2019, dimostrando il potenziale del

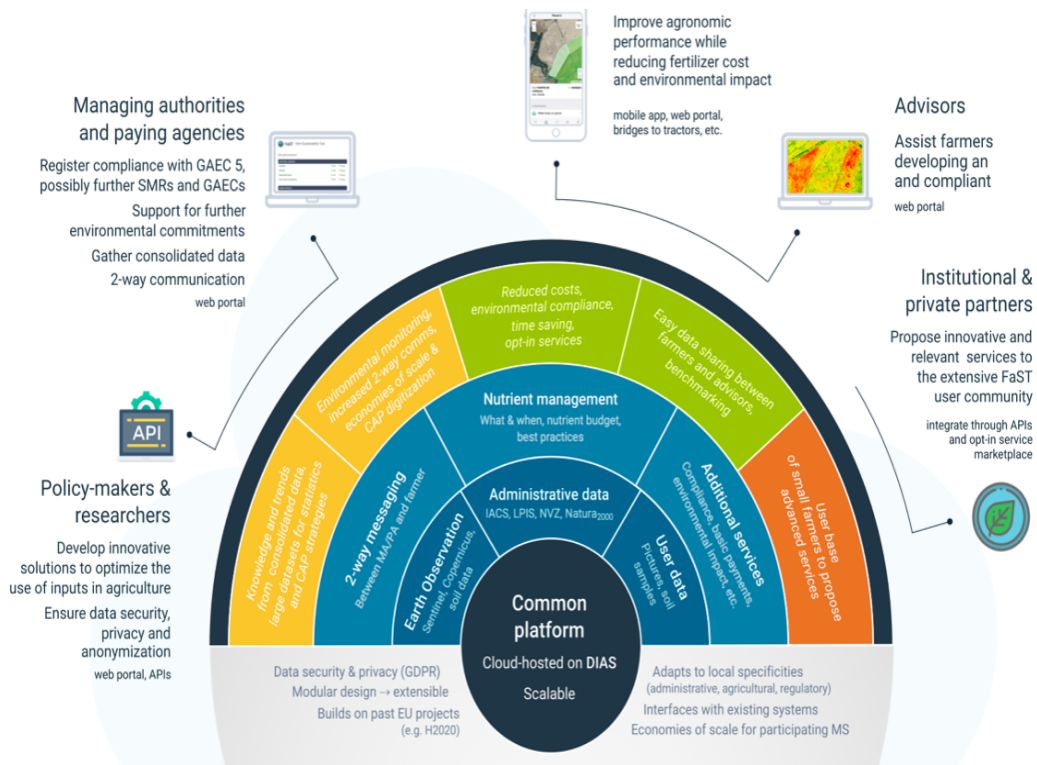


Figura 64: Schema complessivo progetto FaST

servizio. FieldScout è attualmente utilizzato da quasi 3000 agricoltori e consulenti agricoli nei Paesi Bassi e in Belgio. BioScope sta continuamente sviluppando nuove soluzioni, tra cui la gestione del suolo, l'agricoltura sostenibile e un uso più efficiente dell'acqua. L'obiettivo è migliorare l'agricoltura e aumentare la sostenibilità fornendo costantemente migliori informazioni tramite dispositivi mobili.

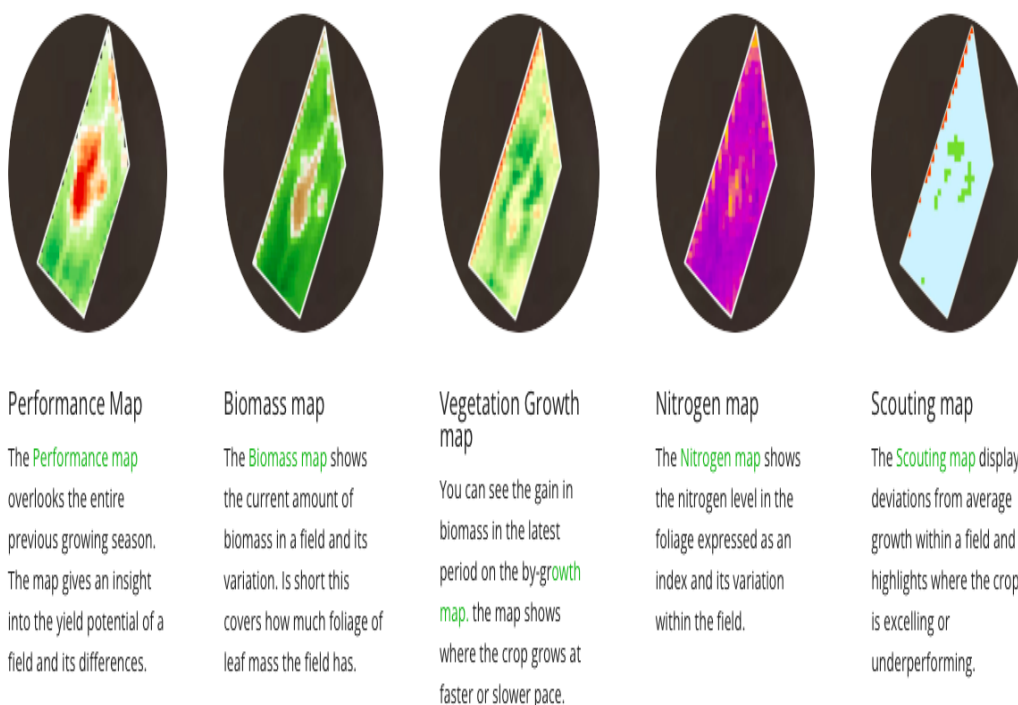


Figura 65: Mappe relative al monitoraggio delle colture fornite agli utenti,FieldScout

4.6 ESA Business Applications: Trasformazione sostenibile dell' agricoltura attraverso la digitalizzazione e lo spazio

Negli ultimi decenni, l'integrazione della tecnologia nell'agricoltura tradizionale è stata ampiamente adottata, offrendo soluzioni che hanno notevolmente migliorato la vita degli agricoltori e le prospettive aziendali. Tuttavia, sebbene l'agricoltura moderna stia diffondendosi in tutta Europa, gran parte della comunità agroalimentare continua a seguire metodi tradizionali. In questi tempi difficili, in cui una serie di fattori come il cambiamento climatico, la scarsità delle risorse naturali, eventi meteorologici estremi, una catena del valore alimentare frammentata e la crescente domanda di cibo e altri prodotti agricoli stanno influenzando pesantemente il settore agroalimentare, è necessario un maggiore investimento in tecnologia agricola e innovazione per raggiungere una crescita economica sostenibile. La Chiamata Tematica per Proposte di Attività nell'ambito di "La trasformazione sostenibile dell'agricoltura attraverso digitalizzazione e spazio" consiste nello sviluppare servizi basati su dati spaziali e applicazioni che favoriscano la trasformazione sostenibile dell'agricoltura sfruttando dati e tecnologie innovative. Essa mira a sostenere l'industria nello sviluppo di servizi incentrati sull'ottimizzazione delle pratiche agricole che riducano al minimo gli impatti ambientali negativi come il degrado del suolo, l'esaurimento e la contaminazione delle risorse idriche, l'uso inefficiente dell'energia e la perdita di biodiversità. Esempi di temi rilevanti che possono essere affrontati all'interno di questa Chiamata per Proposte possono essere:

- Agricoltura dei Dati: mira a sostenere la transizione verso un'agricoltura sostenibile in Europa e a potenziare le capacità di monitoraggio e valutazione delle politiche attraverso la raccolta, l'analisi e la condivisione di dati e/o informazioni elettroniche.
- Agricoltura Intelligente dal punto di vista Climatico (CSA): mira a sostenere azioni volte

a trasformare i sistemi agroalimentari verso pratiche ecologiche e resilienti ai cambiamenti climatici. L'agricoltura è influenzata in vari modi dal cambiamento climatico ed è considerata il settore più vulnerabile alle sue conseguenze. È necessario un notevole investimento e soluzioni innovative per mantenere le attuali rese colturali e per raggiungere i livelli di produzione e qualità alimentare richiesti dalla crescente domanda a livello globale. Sono disponibili diverse opzioni all'interno del campo di CSA, come la scelta di colture resistenti alla siccità, il ritorno alle colture autoctone, il miglior utilizzo delle risorse idriche e il massimo riutilizzo delle acque reflue.

I servizi per sostenere la trasformazione sostenibile dell'agricoltura trarranno notevoli benefici dall'uso combinato della comunicazione satellitare e del posizionamento, insieme alle immagini di osservazione della Terra.

5 sitografia

Come accedere ai dati Copernicus

ESA: Eduspace

I satelliti artificiali per il telerilevamento

Analisi dati di Copernicus

Impatto di Copernicus

Telerilevamento e agricoltura

Osservazione terrestre

Agricoltura di precisione

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>

<https://dataspace.copernicus.eu/>

<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>

EO Browser

Portare l'agricoltura nello spazio

SMOS

FLEX

Agricoltura di precisione

TalkingFields

<https://www.vista-geo.de>

ESA: Business Application

FaST

ESA: FieldScout

FieldScout sito ufficiale

Agricoltura intelligente con il supporto dei satelliti

Storia ESA