

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA



Corso di Laurea in Informatica

Sviluppo di algoritmi per l'analisi del suolo, mediante l'utilizzo delle immagini del satellite Sentinel-2 della costellazione Copernicus.

Relatori:

Ch.mo Prof.

Christiancarmine Esposito

Ing. Daniele Sofia

Candidata:

Marta Coiro

Mat. 0512108154

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

*a coloro che mi aspettano,
a coloro che aprono le porte,
a coloro che mi amano senza mettermi alla prova,
a coloro che mi vogliono bene al di là del tempo,
della distanza e delle idee.*

*A coloro che mi sorprendono ed emozionano.
A tutti coloro che rendono ancora più colorata la mia vita...
... a tutti coloro che amo!*

ABSTRACT

In questo lavoro di tesi sono state implementate e discusse varie tecniche algoritmiche per lo studio del suolo mediante le immagini fornite dal satellite Sentinel-2 della costellazione Copernicus.

Le immagini satellitari così estratte, sono state essenziali per implementare algoritmi di stima della percentuale di vegetazione presente in un determinato territorio. In particolare grazie all'applicazione del CorineLand Cover(CLC) è stato possibile definire delle mappe di copertura del suolo che hanno permesso di studiare nel dettaglio le varie componenti dei territori.

Tale tesi è strutturata in 3 capitoli: il primo tratterà della missione Sentinel, esponendo quali sono le principali caratteristiche e obiettivi, nel secondo capitolo verranno descritte tutte le tecnologie utilizzate per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato e nel terzo capitolo verrà descritto l'esperimento svolto, mostrando tutti i risultati ottenuti.

L'attività di tesi descritta è stata svolta presso la società Sense Square S.r.l operante nel settore del monitoraggio ambientale attraverso tecnologie smart, ICT, IoT.

INDICE

1	Introduzione	6
2	Stato dell'arte	9
2.1	ESA, Generalità	9
2.2	Programma Copernicus	10
2.3	Missione Sentinel	12
2.3.1	Sentinel-1	13
2.3.2	Sentinel-2	13
2.3.3	Sentinel-3	13
2.3.4	Sentinel-4	14
2.3.5	Sentinel-5	15
2.3.6	Sentinel-5P	16
2.3.7	Sentinel-6	16
2.4	Aree Tematiche	17
2.4.1	Monitoraggio atmosferico	17
2.4.2	Sicurezza	18
2.4.3	Monitoraggio marino	18
2.4.4	Gestione delle emergenze	19
2.4.5	Cambiamento climatico	20
2.4.6	Monitoraggio del territorio	20

INDICE

2.5	Corine Land Cover (CLC)	21
2.6	Contributi di altre missioni	22
2.7	Accesso ai dati	26
3	Materiali e Metodi	27
3.1	Welcome to Python (breve storia del linguaggio)	27
3.1.1	Perchè si chiama "Python"?	28
3.1.2	Perchè scegliere Python?	28
3.2	Le librerie e i moduli del linguaggio Python	29
3.2.1	Pandas	30
3.2.2	Numpy	31
3.2.3	Extcolors e rgb2hex	31
3.2.4	Matplotlib	31
3.2.5	Colormap	31
3.3	Che cos'è JSON?	32
3.4	MongoDB	32
3.4.1	Elementi di MongoDB	33
4	Risultati sperimentali	35
4.1	Obiettivi	35
4.2	Esperimento	36
4.2.1	Fase di introduzione	36
4.2.2	Fase operativa	36
4.3	Fase di automazione	44
5	Conclusioni	46
	Bibliografia	49
	Elenco delle figure	52

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

L'importante sviluppo scientifico e tecnologico avvenuto nell'ultimo secolo ha fatto sì che venissero sviluppate delle tecnologie che fino a pochi decenni fa erano inimmaginabili. Una delle più importanti avanguardie della Scienza è sicuramente la ricerca spaziale. In tale contesto si collocano le tecnologie e la Scienza del Telerilevamento satellitare o Remote Sensing.

Cosa si intende con il termine “telerilevamento”? Il termine “telerilevamento” è composto dall'unione di due parole:

- **"tele"**: che dal greco significa “da lontano”
- **"rilevamento"**: sinonimo di osservazione quantitativa o qualitativa.

In generale questa parola viene utilizzata per esprimere l'acquisizione di informazioni su oggetti posti ad una certa distanza, in particolare il telerilevamento satellitare permette l'acquisizione di dati, sottoforma di immagini, su vaste aree di superficie terrestre in tempi relativamente brevi.

Con il tempo le tecniche di acquisizione dei dati e le tecnologie costruttive dei sensori sono state perfezionate ed ora è possibile accedere a dati con diverse risoluzioni geometriche, spettrali, temporali e radiometriche. Ad oggi sono disponibili immagini satellitari multispettrali con risoluzione geometrica

1. INTRODUZIONE

dell'ordine del decimetro. Tutte queste peculiarità del telerilevamento lo rendono un valido supporto sia per attività scientifiche, commerciali ed amministrative.

A livello scientifico le tecniche di Remote Sensing si applicano a numerosi campi tra cui la geologia, la climatologia, la meteorologia, l'oceanografia e l'idrologia. Il dato satellitare risulta essere molto utile per la cartografia di aree remote o paesi in via di sviluppo. Dal punto di vista commerciale la possibilità di accedere a dati su vastissime aree può essere importante per applicazioni in campo agro-forestale e per la pesca, oltre che per le attività di ricerca delle materie prime.

Sono presenti in letteratura numerosi studi a riguardo, sia sull'ambiente urbano che naturale. Una delle più interessanti applicazioni del telerilevamento satellitare è quella relativa al risk management¹ e la gestione dei disastri naturali; in questo filone si inseriscono diversi progetti e organizzazioni come ITHACA (Information for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action) oppure GDACS (Global Disaster Alert and Coordination System), organizzazioni rivolte al miglioramento dei sistemi di allerta (Early Warning), valutazione dei danni nelle prime fasi delle emergenze (Early Impact), di condivisione di informazioni georeferenziate e coordinamento nelle prime fasi delle emergenze.

L'Agenzia Spaziale Europea ha lanciato il programma Copernicus, il quale tramite dati satellitari fornisce una serie di prodotti e servizi a supporto di studi scientifici e gestione delle emergenze. Accanto a questi progetti sono inoltre presenti numerose realtà di crowdmapping² a cui è possibile partecipare on-line.

Recentemente l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha dato inizio alla missione Sentinel presente all'interno del programma Copernicus, con il lancio

¹Il Risk Management - letteralmente Gestione del Rischio - è un PROCESSO aziendale volto alla gestione completa ed integrata dei rischi, mediante attività sistematiche quali identificazione, misurazione, valutazione, trattamento del rischio. [1]

²Il Crowdmapping è un modo efficiente per dimostrare in modo visuale la diffusione geografica di un fenomeno [2]

1. INTRODUZIONE

di una nuova serie di satelliti per l'osservazione terrestre. Alcuni di questi sono già operativi e forniscono open source, immagini radar e multispettrali.

All'interno di questa tesi affronteremo l'analisi delle immagini proposte dal satellite Sentinel-2 della costellazione Copernicus per studiare come la percentuale di vegetazione cambia in un determinato territorio nel corso del tempo, in particolare l'applicazione della tecnica del Corine Land Cover (CLC) ci ha permesso di ottenere una mappatura dei territori e osservare tutte le caratteristiche di esso.

CAPITOLO 2

STATO DELL'ARTE

2.1 ESA, Generalità

L’Agenzia Spaziale Europea (ESA) è una organizzazione intergovernativa dedita all’esplorazione spaziale e alla quale collaborano 22 tra gli stati membri dell’unione Europea. Istituita il 30 maggio 1975 e con sede amministrativa a Parigi, Francia, conta uno staff di circa 2000 persone e un budget annuale di Euro 5.25 miliardi. La prima sede di ricerca viene posta in Italia, a Frascati, tale sede nel 1966 verrà denominata ESRIN (European Space Research Institute) come attualmente la conosciamo.

I Programmi sviluppati da ESA sono rivolti allo studio della terra, del sistema solare, dell’universo e allo sviluppo di sistemi e servizi satellitari. Di seguito sono riportati alcuni progetti attivi di ESA:

- **Artemis:** il più avanzato satellite di telecomunicazioni europeo.
- **Huygens:** sonda atterrata su Titano durante la famosa missione Cassini, in collaborazione con la NASA.
- **Hubble:** telescopio spaziale in collaborazione con NASA.

2. STATO DELL'ARTE

- **ISS:** Stazione Spaziale Internazionale, collaborazione con USA, Russia, Canada e Giappone.
- **Envisat:** il più grande e complesso satellite ambientale.
- **Rosetta:** celeberrima sonda inviata sulla cometa 67/P e il cui lander è atterrato nel 2014. Missione conclusa.
- **Sentinel:** progetto rivolto allo studio e all'osservazione della Terra mediante 6 serie di satelliti
- **Galileo:** sistema di posizionamento satellitare.
- **Proba:** progetto innovativo e rivolto all'invio in orbita di mini satelliti.

Dobbiamo porre particolare attenzione al programma Copernicus, pensato per lo studio e l'osservazione della Terra, all'interno del quale si inserisce la missione Sentinel-2.

La restante parte del capitolo 1 sarà dedicata alla descrizione del programma precedentemente citato, in quanto i dati acquisiti dal satellite Sentinel-2 sono stati utilizzati in questa tesi per lo sviluppo di algoritmi per lo studio e analisi del suolo.

2.2 Programma Copernicus

Copernicus è attualmente il più ambizioso programma di osservazione terrestre al mondo ed è costituito da differenti sistemi (satelliti, stazioni terrestri, sensori aerei e marini) che acquisiscono dati sulla Terra, come riportato sul sito internet di ESA.[3]

2. STATO DELL'ARTE



Figura 2.1: Programma Copernicus

Sul medesimo sito web si riporta che Copernicus è un programma che darà forma al futuro del nostro pianeta per il beneficio di tutti. ESA mette a disposizione la sua esperienza trentennale in programmi spaziali per contribuire al programma. Questo programma fornisce informazioni accurate, tempestive e facilmente accessibili per migliorare la gestione ambientale, comprendere e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici ed assicurare la sicurezza civile. Il programma è coordinato e gestito dalla Commissione Europea¹, mentre lo sviluppo delle infrastrutture avviene sotto il controllo di ESA.

In questa tesi l'utilizzo di Sentinel è rivolto allo studio del territorio, per cui particolare attenzione va concessa al tema dei servizi terrestri, i quali sono a loro volta suddivisi in quattro aree:

- **Globali:** questi servizi forniscono una serie di prodotti per lo studio della superficie terrestre a livello globale (con risoluzioni spaziali medie e basse), i prodotti sono usati per il monitoraggio della vegetazione, il ciclo dell'acqua e altre applicazioni.

¹La Commissione Europea è il “governo” dell’Unione europea. Come i governi nazionali, ha un capo, il presidente della commissione europea, e dei “ministri”, i commissari europei. Ciascun commissario è responsabile delle diverse tematiche, dall’economia alla giustizia, dall’agricoltura al commercio.

2. STATO DELL'ARTE

- **Pan-Europei:** servizi rivolti allo studio della copertura e dell'uso del suolo europeo e del loro cambiamento negli anni (corpi idrici, suolo nudo, foreste, aree impermeabilizzate...).
- **Locali:** servizi relativi a specifiche aree nelle quali vengono riscontrate peculiarità (coste, grandi città, reti idriche).
- **In-sito:** tutti i servizi hanno bisogno di dati presi nelle zone di studio per supportare i prodotti satellitari.

Un importante prodotto Pan-Europeo è Corine Land Cover (CLC), che consiste in uno studio delle coperture del suolo (land cover) nel territorio europeo. Questo prodotto verrà descritto nel dettaglio nel paragrafo 2.5 e nel capitolo 4 relativamente al suo contesto di utilizzo. Il prossimo paragrafo sarà interamente dedicato alla descrizione del progetto Sentinel e dei suoi satelliti, con particolare attenzione al satellite Sentinel-2, le cui immagini saranno utilizzate e analizzate in questa tesi.

2.3 Missione Sentinel

I satelliti della missione Sentinel rappresentano la componente spaziale del programma Copernicus e costituiscono anche il contributo europeo per i sistemi globali di osservazione terrestre. A completare la componente spaziale ci sono i satelliti di altre missioni già operative e queste saranno analizzate nel dettaglio nel paragrafo 2.4. Le missioni Sentinel sono 6 e vengono descritte di seguito.

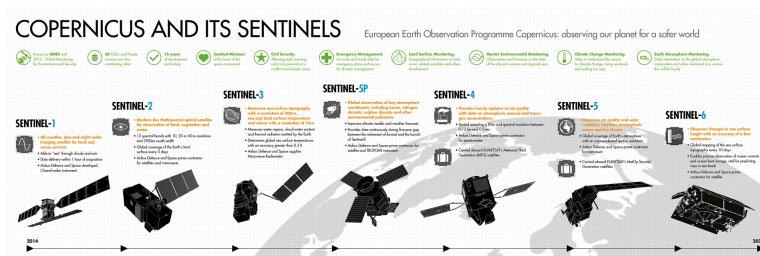


Figura 2.2: Missioni Sentinel

2.3.1 Sentinel-1

La missione Sentinel-1 [4] comprende una costellazione di due satelliti in orbita polare, che operano giorno e notte eseguendo immagini radar ad apertura sintetica in banda C, consentendo loro di acquisire immagini indipendentemente dalle condizioni meteorologiche.

Sentinel-1 funziona in una modalità operativa pre-programmata per evitare conflitti e produrre un archivio dati coerente a lungo termine costruito per applicazioni basate su lunghe serie temporali.

Sentinel-1 è la prima delle cinque missioni che l'ESA sta sviluppando per l'iniziativa Copernicus e il primo satellite è stato lanciato nell'aprile 2014.

2.3.2 Sentinel-2

La missione Copernicus Sentinel-2 [5] comprende una costellazione di due satelliti in orbita polare posti nella stessa orbita eliosincrona, sfasati a 180° l'uno dall'altro. Mira a monitorare la variabilità nelle condizioni della superficie terrestre, e la sua ampia larghezza dell'andana (290 km) e l'elevato tempo di rivisitazione (10 giorni all'equatore con un satellite e 5 giorni con 2 satelliti in condizioni prive di nuvole che si traducono in 2-3 giorni alle medie latitudini) supporteranno il monitoraggio dei cambiamenti della superficie terrestre. I due satelliti in orbita prendono il nome di Sentinel-2L2A e Sentinel-2L1C. La caratteristica che li differenzia è che il primo non prende in considerazione i parametri atmosferici, caratteristica invece presente nel secondo. In particolare per lo sviluppo del progetto, descritto nel capitolo 4, sono state utilizzate le immagini fornite dal satellite Sentinel-2L2A.

La vegetazione, il suolo e le zone costiere sono tra gli obiettivi del monitoraggio. Il primo satellite Sentinel-2 è stato lanciato nel giugno 2015.

2.3.3 Sentinel-3

L'obiettivo principale della missione Sentinel-3 [6] è misurare la topografia della superficie del mare, la temperatura della superficie del mare

2. STATO DELL'ARTE

e della terra e il colore della superficie dell’oceano e della terra con elevata precisione e affidabilità per supportare i sistemi di previsione degli oceani, il monitoraggio ambientale e il monitoraggio del clima.

Composto da tre satelliti, lo strumento principale della missione è un altimetro radar, ma i satelliti in orbita polare trasportano più strumenti, inclusi imager ottici.

La missione Sentinel-3 è gestita congiuntamente dall’ESA e da EUMETSAT per fornire servizi operativi di osservazione oceanica e terrestre.

2.3.4 Sentinel-4

L’obiettivo principale della missione Sentinel-4 [7] è monitorare i principali gas traccia e aerosol della qualità dell’aria in tutta Europa a supporto del Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)² ad alta risoluzione spaziale e con un rapido tempo di rivisitazione.

La missione fa parte del programma europeo di osservazione della Terra "Copernicus", gestito dall’Unione europea insieme all’Agenzia spaziale europea (ESA) in collaborazione con l’Agenzia europea dell’ambiente (AEA).³

La componente spaziale Copernicus comprende una serie di missioni spaziali dedicate chiamate "Sentinelle" ed è sviluppata e acquistata dall’Agenzia spaziale europea. Le missioni Sentinel-4, -5 e -5 precursori (S4, S5, S5P, rispettivamente) sono concepite come elementi complementari di una costellazione al servizio delle esigenze specifiche del CAMS. La missione geostazionaria S4 fornirà dati orari sui costituenti troposferici in Europa principalmente per applicazioni sulla qualità dell’aria. Le specie target della missione Sentinel-4 includono i parametri chiave della qualità dell’aria NO₂ (biossido di azoto), O₃ (ozon), SO₂ (anidride solforosa), HCHO (formaldeide),

²1 Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) è un servizio implementato dal Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF), lanciato l’11 novembre 2014, che fornisce dati e informazioni continui sulla composizione atmosferica [8]

³L’Agenzia europea dell’ambiente (EEA) è un organismo della UE che si dedica alla fondazione di una rete di monitoraggio per controllare le condizioni ambientali europee. [9]

2. STATO DELL'ARTE

CHOCHO (gliossale) e aerosol. Complementariamente, le missioni Low Earth Orbiting (LEO) S5 e S5p consegneranno le specie bersaglio S4 e inoltre CO (monossido di carbonio), CH4 (metano) e O stratosferico3 (ozono) con copertura giornaliera globale per applicazioni climatiche, di qualità dell'aria e di ozono / superficie UV.

Il segmento spaziale della missione Sentinel-4 consiste in uno spettrometro di imaging della luce ultravioletta-visibile-nel vicino infrarosso (UVN) imbarcato sul satellite Meteosat Third Generation Sounder (MTG-S).

Airbus Defense and Space è il primo appaltatore responsabile dello sviluppo di Sentinel-4

2.3.5 Sentinel-5

La missione Sentinel-5 [10]fa parte del Programma Europeo di Osservazione della Terra "Copernicus" che è coordinato e gestito dalla Commissione Europea (CE). La componente spaziale dell'infrastruttura di osservazione Copernicus è sviluppata sotto il controllo dell'Agenzia spaziale europea (ESA).

La componente spaziale Copernicus comprende una serie di missioni spaziali chiamate "Sentinelle" sviluppate e acquistate dall'Agenzia spaziale europea. Le missioni Sentinel-4, -5 e -5 precursori (rispettivamente S4, S5, S5P) sono concepite come elementi complementari di una costellazione al servizio delle esigenze specifiche dei servizi di monitoraggio atmosferico (CAMS) di Copernicus. Questi servizi forniranno informazioni coerenti sulle variabili atmosferiche a sostegno delle politiche europee e a beneficio dei cittadini europei e copriranno l'ozono e i raggi UV superficiali, la qualità dell'aria e le applicazioni climatiche. Sentinel-5 è focalizzato sulla qualità dell'aria e sull'interazione composizione-clima con i principali prodotti di dati che sono O₃NO₂COSI2, HCHO, CHOCHO e aerosol. Inoltre, Sentinel-5 fornirà anche parametri di qualità per CO, CH4, e O stratosferica3 con copertura globale giornaliera per applicazioni climatiche, di qualità dell'aria e di ozono / superficie UV.

2. STATO DELL'ARTE

La missione Sentinel-5 consiste in un sistema di spettrometri ad alta risoluzione che opera nella gamma ultravioletto-infrarosso a onde corte con 7 diverse bande spettrali: UV-1 (270-300nm), UV-2 (300-370nm), VIS (370-500nm), NIR-1 (685-710nm), NIR-2 (745-773nm), SWIR-1 (1590-1675nm) e SWIR-3 (2305-2385nm). Lo strumento sarà trasportato sul satellite MetOp-SG A.

2.3.6 Sentinel-5P

Una missione satellitare precursore, Sentinel-5P [11] mira a colmare la lacuna di dati e fornire continuità di dati tra il ritiro del satellite Envisat e la missione Aura della NASA e il lancio di Sentinel-5. L'obiettivo principale della missione Sentinel-5P è quello di eseguire misure atmosferiche, ad alta risoluzione spazio-temporale, relative alla qualità dell'aria, alle forzanti climatiche, all'ozono e alle radiazioni UV. L'ora locale del satellite di attraversamento del nodo ascendente delle 13.30 è stata scelta per facilitare la cosiddetta operazione di formazione libera con la navicella spaziale Suomi-NPP della NASA. Questo concetto consentirà l'utilizzo di dati di maschera nuvola ad alta risoluzione co-locati forniti dallo strumento VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) a bordo del satellite Suomi-NPP.

Il satellite è stato lanciato con successo il 13 ottobre 2017 dal cosmodromo di Plesetsk in Russia.

2.3.7 Sentinel-6

Sentinel-6 [12] Michael Freilich è la prossima missione di riferimento di altimetria radar per estendere l'eredità delle misurazioni dell'altezza della superficie del mare, almeno fino al 2030. Si tratta di una missione satellitare di osservazione della Terra sviluppata per fornire una maggiore continuità alla serie temporale molto stabile di misurazioni del livello medio del mare e dello stato del mare oceanico iniziata nel 1992, con la missione TOPEX / Poseidon.⁴

⁴TOPEX/Poseidon è stata una missione congiunta di altimetro satellitare tra la NASA e l'agenzia spaziale statunitense; e CNES, l'agenzia spaziale francese, per mappare la

2. STATO DELL'ARTE

Oltre a osservare l'innalzamento del livello del mare, Michael Freilich di Copernicus Sentinel-6 fornirà misurazioni quasi in tempo reale dell'altezza della superficie del mare, dell'altezza significativa delle onde e di altri prodotti su misura per i servizi operativi nei settori oceanico, meteorologico e idrologico.

2.4 Aree Tematiche

[14] Gli strumenti trasportati a bordo dei satelliti Copernicus si concentrano su diversi aspetti del Sistema Terra.

Le missioni Sentinel forniscono una serie unica di osservazioni per il programma Copernicus, a partire dalle immagini radar per tutte le stagioni, diurne e notturne.

Le applicazioni rientrano in sei categorie principali:

2.4.1 Monitoraggio atmosferico

Il monitoraggio della qualità e delle condizioni dell'atmosfera del nostro pianeta è uno strumento essenziale nella previsione degli eventi meteorologici.

Le aree specifiche del monitoraggio atmosferico sono le seguenti:

- **Serra:** I gas serra aiutano a mantenere il nostro pianeta caldo, ma con parametri in eccesso la temperatura del pianeta aumenterebbe, e al contrario la temperatura precipiterebbe senza questi gas. I satelliti possono aiutare a misurare gli accumuli di gas nell'atmosfera e determinare le tendenze future.
- **Ozono e radiazioni solari UV:** La misurazione della variazione dello strato di ozono è oggi operativamente possibile ad un'elevata risoluzione temporale e spaziale quasi in tempo reale, consentendo aggiornamenti continui sugli effetti dell'inquinamento.

topografia della superficie oceanica. Lanciato il 10 agosto 1992, è stato il primo grande satellite di ricerca oceanografica.[13]

2. STATO DELL'ARTE

- **Aerosol:** I satelliti possono aiutare a monitorare i potenziali livelli di aerosol nocivi nell'atmosfera e distinguere tra aerosol naturali e quelli prodotti dall'uomo. Si tratta di uno strumento importante negli sforzi volti a prevenire un ulteriore inquinamento atmosferico.

2.4.2 Sicurezza

:La sorveglianza e la sicurezza possono essere difficili da gestire da terra. Le osservazioni dallo spazio possono rendere molto più facile il monitoraggio dei confini e delle rotte marittime e tenere traccia delle situazioni in via di sviluppo.

Le aree specifiche della sicurezza sono le seguenti:

- **Sorveglianza delle frontiere:** Il controllo e la sorveglianza delle frontiere sono essenziali per monitorare e ridurre la criminalità transfrontaliera. I dati satellitari possono anche essere utilizzati per proteggere infrastrutture critiche come condotte e installazioni.
- **Sorveglianza marittima:** La sorveglianza marittima comprende il monitoraggio delle frontiere marittime, la sicurezza marittima, l'immigrazione illegale e il traffico illegale.

2.4.3 Monitoraggio marino

Le informazioni sullo stato e le dinamiche delle zone oceaniche e costiere possono essere utilizzate per aiutare a proteggere e gestire l'ambiente marino e le risorse in modo più efficace, nonché per garantire la sicurezza in mare e monitorare l'inquinamento da fuoriuscite di petrolio e altri eventi.

Le aree specifiche del monitoraggio marino sono le seguenti:

- **Sicurezza marittima:** La sicurezza marittima riguarda il benessere e la qualità dell'oceano. I satelliti possono contribuire a garantire questa sicurezza continua ed esaminare le minacce osservando le fuoriuscite di petrolio e altri potenziali pericoli.

2. STATO DELL'ARTE

- **Risorse marine:** L'ambiente marino è una fonte abbondante di risorse e fornisce cibo, risorse naturali sotto forma di petrolio, gas e minerali, e la potenza dell'oceano può essere sfruttata per generare energia. I satelliti possono aiutare a localizzare e studiare queste risorse.
- **Clima e previsioni stagionali:** I satelliti sono uno strumento vitale per monitorare il clima e come può influenzare le stagioni meteorologiche, portando a fenomeni come "El Niño"⁵. Ciò è utile per prevedere potenziali sistemi meteorologici.

2.4.4 Gestione delle emergenze

Quando si verifica un'emergenza, i dati satellitari possono rivelarsi essenziali per formare una risposta. I dati storici possono fornire una prospettiva su una situazione, mentre i dati attuali possono aiutare ad analizzare e gestire l'emergenza.

Le aree specifiche del monitoraggio marino sono le seguenti:

- **Inondazioni:** Il crescente numero di eventi meteorologici intensi fa sì che gli eventi alluvionali siano più frequenti. Il loro monitoraggio è essenziale per le autorità di soccorso e di protezione civile, mentre la mappatura della loro portata è ampiamente effettuata dalle compagnie di assicurazione.
- **Incendi boschivi:** L'identificazione dei punti caldi degli incendi e la diffusione degli eventi di incendio dal satellite viene utilizzata non solo nell'ambiente naturale, ma anche per gli incendi legati a disastri industriali.

⁵El Niño-Oscillazione Meridionale (conosciuto anche con la sigla ENSO - El Niño-Southern Oscillation) è un fenomeno climatico periodico che provoca un forte riscaldamento delle acque dell'Oceano Pacifico Centro-Meridionale e Orientale (America Latina) nei mesi di dicembre e gennaio in media ogni cinque anni, con un periodo statisticamente variabile fra i tre e i sette anni.

2. STATO DELL'ARTE

- **Frane:** La mappatura dell'entità dei danni causati dalle grandi frane è fondamentale per i servizi di recupero. Una grande quantità di lavoro è tuttavia rivolta in particolare allo studio della previsione e della prevenzione di tali eventi.
- **Terremoti ed eruzioni vulcaniche:** Le tragiche conseguenze sia del terremoto che dell'attività vulcanica sono evidenti, il loro monitoraggio e la mappatura tempestiva sono essenziali per aiutare gli sforzi di soccorso. Mentre una migliore previsione ha lo scopo di ridurre l'impatto di un tale evento.

2.4.5 Cambiamento climatico

I satelliti sono uno strumento vitale per monitorare il cambiamento climatico del nostro mondo, fornendo viste su larga scala delle aree colpite e contribuendo alla crescita di archivi di dati da utilizzare in studi a lungo termine. Le aree specifiche del cambiamento climatico sono le seguenti:

- **Monitoraggio ambientale marino:** Lo studio dell'ambiente marino è utilizzato principalmente dall'industria della pesca per monitorare le fioriture algali e la distribuzione del fitoplancton⁶, entrambi elementi chiave della catena alimentare oceanica.
- **Monitoraggio atmosferico:** I sensori spaziali aiutano a rilevare cambiamenti altrimenti invisibili, scrutando lateralmente o giù attraverso l'atmosfera per costruire viste tridimensionali della sua composizione chimica, sensibili a poche parti per miliardo.

2.4.6 Monitoraggio del territorio

Il monitoraggio del territorio terrestre è utile per molti campi, in particolare l'agricoltura, la silvicoltura, la topografia e gli studi sulla copertura

⁶L'insieme dei piccoli organismi vegetali acquatici (Alghe e Cianobatteri) facenti parte del plancton.

2. STATO DELL'ARTE

del suolo e sui cambiamenti del suolo. I dati possono essere utilizzati per tenere traccia delle tendenze attuali e prevedere i cambiamenti futuri. Le aree specifiche del monitoraggio del territorio sono le seguenti:

- **Mappatura dei rischi:** Identificare i rischi sulla terra e nell'acqua può essere uno strumento vitale per la prevenzione e per fornire soluzioni. I satelliti possono fornire viste inestimabili da una prospettiva più elevata e aiutare ad analizzare i rischi.
- **Agricoltura di precisione:** L'agricoltura di precisione che utilizza dati satellitari è un metodo di gestione delle aziende agricole con un alto grado di precisione. Le osservazioni satellitari possono tracciare con precisione le variazioni nei campi e fornire statistiche che possono essere utilizzate per determinare quali strumenti, pratiche e decisioni possono essere migliori per un'azienda agricola.

2.5 Corine Land Cover (CLC)

Corine Land Cover (CLC) è un programma varato dall'unione europea nel 1985 con l'obiettivo di fornire informazioni geografiche coerenti sulla copertura del suolo dei 12 paesi della comunità europea.

Appositamente per il progetto è stata realizzata una cartografia in scala 1:100000 per tutti i paesi membri.

Successivamente gli sviluppatori di CLC hanno posto come unità minima cartografabile 25 ettari, che a quella scala risulta essere un quadrato di 5x5 mm o un cerchio di raggio 2.8 mm.

La classificazione è stata realizzata in tre livelli gerarchici:

- Livello 1: si distinguono 5 classi fondamentali
- Livello 2: è un prodotto intermedio utilizzato per cartografie a scala da 1:500000 a 1:1000000, comprende 15 classi
- Livello 3: utilizzato sulle cartografie 1:100000 e comprende 44 classi.

2. STATO DELL'ARTE

L'ultimo aggiornamento del 2012 copre ben 39 paesi; è stato prodotto in due anni con immagini acquisite tra il 2011 e il 2012 e raggiunge un'accuratezza globale della classificazione pari al 85%

In questa tesi sono state utilizzate le esatte linee guida del progetto appena definito e le medesime classificazioni e relative colorazioni. Di seguito riportiamo la tabella delle varie colorazioni.



Figura 2.3: Corine land cover classes

2.6 Contributi di altre missioni

Il programma Copernicus comprende [15, 16, 17], oltre alla serie di satelliti Sentinel appositamente pensati e dedicati al programma, una lunga serie di altre missioni anche di altre agenzie spaziali chiamate “Contributing missions” (missioni contribuenti), che integrano la componente spaziale del programma. Ci sono circa trenta missioni di contributo, alcune sono di ESA,

2. STATO DELL'ARTE

altre degli stati membri e altre ancora di enti terzi europei o internazionali che condividono alcuni dati con Copernicus. Le categorie di missioni che contribuiscono al programma sono:

- SAR
- sensori ottici
- sistemi di altimetria
- atmosferiche

SAR

Le missioni SAR, che integrano i dati provenienti dalla missione Sentinel-1, sono:

- **Envisat:** missione ESA del 2002, ha un sensore radar a banda C ed opera in quattro modalità differenti: image, wave, wide-swath e global monitoring, nelle prime due modalità la risoluzione è di circa 30 m, in wide-swath è di 150 m e in global monitoring è di 1000 m.
- **Cosmo-SkyMed:** missione italiana costituita da quattro satelliti e lanciata nel 2010, opera con un sensore radar in banda X ed opera in tre modalità: Stripmap con uno swath di 3040 km e una risoluzione spaziale di 3-15 m, ScanSar con uno swath di 100x100 km e risoluzione di 30x30 m, Spotlight-2 con uno swath di 10x10 km e risoluzione di 1m.
- **Radarsat-2:** missione Canadese del 2007, con radar a banda C, opera in diversi modi con un range di risoluzioni che va da 3 a 100 m e swath che variano da 20 a 500 km.
- **TerraSAR-X:** missione tedesca del 2007 equipaggiata con sensore a banda X che opera in tre diverse modalità con risoluzioni spaziali di 1 m (area di 5x10 km), 3m (30x50 km) e 16 m (100x150 km).

Sensori ottici

Le missioni che prevedono sensori che lavorano in campo ottico integrano i dati provenienti dalla missioni Sentinel-2 e 3 e sono:

2. STATO DELL'ARTE

- **Envisat:** è equipaggiata anche con sensori ottici, in totale conta 15 bande spettrali con una risoluzione spaziale di 300m, ricopre l'intera superficie terrestre in tre giorni.
- **DMC (Disaster Monitoring Constellation):** lanciato tra il 2002 e il 2005, ha una risoluzione di 32 m (22 m dal 2009) e uno swath di 600 km, inoltre DCM-3 ha una banda pancromatica con risoluzione spaziale di 1 m.
- **Hiros:** offre immagini con risoluzione submetrica (0,5 m) nel pancromatico⁷ e nel multispettrale con swath di 12 km.
- **Pleiades:** missione italo-francesca, progettata per sostituire la missione francese SPOT e per completare le informazioni fornite da Cosmo-SkyMed con una risoluzione spaziale di 0,5 m.
- **RapidEye:** missione tedesca del 2008, offre immagini in cinque bande spettrali con risoluzione spaziale di 6,5 m.
- **SPOT:** missione francese iniziata nel 1986 con l'ultima serie lanciata nel 2005.
- **SPOT-5:** in pancromatico le risoluzioni sono di 2,5 m e 10 m in multispettrale con una copertura al suolo di 60x60 km.

Sistemi di altimetria

Le missioni che sono equipaggiate con un sensore radar altimetrico, integrano i dati della missione Sentinel-3 e sono:

⁷Si dice pancromatico un materiale sensibile a tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile, sintetizzate per comodità nelle tre bande ottiche: rosso, verde e blu.[18]

2. STATO DELL'ARTE

- **Cryosat:** missione ESA del 2010, questa missione ha un sensore mai usato prima ed è capace di misurare lo spessore del ghiaccio e monitorare gli spostamenti delle masse di ghiaccio galleggiante.
- **Jason-2 (OSTM/Jason-3):** è un satellite internazionale nato dalla cooperazione di NASA e un altro ente, misura la superficie del mare con accuratezza centimetrica.
- **Saral/Altika:** missione nata dalla collaborazione tra Francia e India.

Atmosferiche

Queste missioni si uniranno alle Sentinel 4 e 5 e contribuiranno allo studio dell'atmosfera e della meteorologia:

- **Calipso:** missione di collaborazione tra NASA e Francia, è stato lanciato nel 2006, ha un sensore per lo studio dell'aerosol e un radiometro a infrarossi.
- **Envisat:** tra tutti gli strumenti che ospita ha anche il già citato Sciamanchy, che insieme agli strumenti GOMOS e MIPAS, è dedicato allo studio delle concentrazioni dei gas atmosferici.
- **Meteosat (seconda generazione):** progetto di ESA e Eumetsat, forniscono dati per le previsioni meteorologiche.
- **MetOp:** missione ESA e Eumetsat composta da due satelliti lanciati nel 2006 e 2012.

2.7 Accesso ai dati

L'ecosistema Copernicus Data Space offre accesso immediato a un'ampia gamma di dati e servizi di osservazione della Terra aperti e gratuiti. Fa seguito al successo dell'attuale servizio di distribuzione Copernicus Data Hub, che garantisce la continuità dell'accesso aperto e gratuito ai dati Copernicus e amplia il portafoglio per il trattamento dei dati e le possibilità di accesso ai dati.

Oltre ai servizi di download, i prodotti Sentinel Data sono disponibili negli ambienti cloud di Copernicus Data and Information Access Service (DIAS). Ogni DIAS fornisce risorse di elaborazione, strumenti e fonti di dati complementari a condizioni commerciali per facilitare ulteriormente l'accesso ai dati Sentinel.

CAPITOLO 3

MATERIALI E METODI

3.1 Welcome to Python (breve storia del linguaggio)

Il linguaggio Python è stato sviluppato dall'olandese Guido Van Rossum negli anni Novanta con l'obiettivo di migliorare il linguaggio Perl.

L'intento di Van Rossum era quello di creare un linguaggio potente come il Perl ma più comprensibile e leggibile per l'occhio umano dei programmati.

La sintassi di Python è molto più semplice e questo ne migliora la leggibilità del codice sorgente. L'uso di Python si è diffuso rapidamente nella community globale degli sviluppatori. In poco tempo ha raggiunto la notorietà di altri linguaggi web oriented come Java e lo stesso Perl. Nel corso del tempo il linguaggio di programmazione ha beneficiato di una vera e propria evoluzione, soprattutto grazie al fatto d'essere open source. Tutti hanno contribuito a migliorarlo. Attualmente Python è utilizzato da molte società di software development e persino da molti colossi del Web, come il motore di ricerca Google e la piattaforma di condivisione dei video online YouTube.

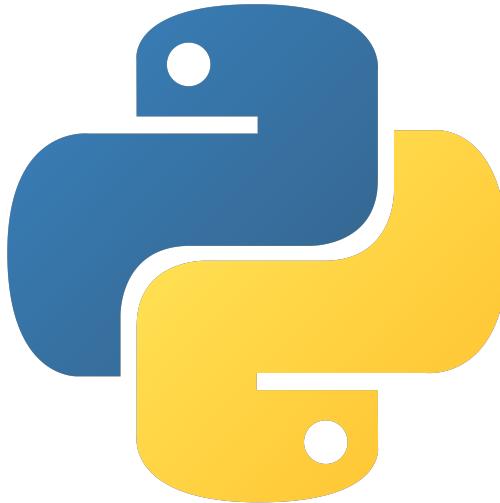


Figura 3.1: Logo Python

3.1.1 Perchè si chiama "Python"?

L'origine del nome è davvero particolare. Il creatore del linguaggio era un appassionato del gruppo comico inglese Monty Python. Questa passione ha influito sulla scelta del nome da dare al linguaggio di programmazione. Ha un'origine decisamente bizzarra. Il gruppo comico ha involontariamente contribuito a coniare diverse terminologie internet. Una di queste è l'omonimo nome dato al linguaggio ("Python"). L'altro termine è la parola "spam", tratta da un loro vecchio sketch televisivo trasmesso sulla BBC negli anni '70 e usata venti anni dopo per indicare una comunicazione online di scarsa qualità e ripetuta fino all'osessione.

3.1.2 Perchè scegliere Python?

- **E' gratuito:** Python è completamente gratuito ed è possibile usarlo e distribuirlo senza restrizioni di copyright. Nonostante sia free, da oltre 25 anni Python ha una comunità molto attiva, e riceve costantemente miglioramenti che lo mantengono aggiornato e al passo coi tempi.
- **E' facile da usare:** Python è un linguaggio semplice e potente con il quale molti iniziano a programmare. La sintassi e i diversi moduli e

3. MATERIALI E METODI

funzioni che sono già inclusi nel linguaggio sono consistenti, intuitivi, e facili da imparare, e il design del linguaggio si basa sul principio del least astonishment (cioè della minor sorpresa: il comportamento del programma coincide con quanto ci si aspetta).

- **E' multi-programma:** Python è un linguaggio multi-paradigma, che supporta sia la programmazione procedurale (che fa uso delle funzioni), sia la programmazione ad oggetti (includendo funzionalità come l'ereditarietà singola e multipla, l'overloading degli operatori, e il duck typing). In più supporta diversi elementi della programmazione funzionale (come iteratori e generatori).
- **E' multi-piattaforma:** È possibile usarlo su diverse piattaforme come: Unix, Linux, Windows, DOS, Macintosh, Sistemi Real Time, OS/2, cellulari Android e iOS. Ciò è possibile perché si tratta di un linguaggio interpretato, quindi lo stesso codice può essere eseguito su qualsiasi piattaforma purché abbia l'interprete Python installato.
- **E' ricco di librerie:** Ogni installazione di Python include la standard library, cioè una collezione di oltre 200 moduli per svolgere i compiti più disparati, come ad esempio l'interazione con il sistema operativo e il filesystem, o la gestione di diversi protocolli. Inoltre, il Python Package Index consente di scaricare ed installare migliaia di moduli aggiuntivi creati e mantenuti dalla comunità.
- **E' performante ed integrabile con altri linguaggi:** I programmi vengono automaticamente compilati in un formato chiamato bytecode prima di essere eseguiti. Questo formato è più compatto ed efficiente e garantisce prestazioni elevate.

3.2 Le librerie e i moduli del linguaggio Python

Il linguaggio Python consente di sviluppare nuove funzioni anche molto complesse. Le funzioni e le classi sono poi raccolte in librerie dette moduli.

3. MATERIALI E METODI

Ogni modulo contiene numerose funzioni utilizzabili nella stesura del programma. La community di sviluppatori in Python è molto grande, infatti una volta creata una nuova libreria, il programmatore la condivide con tutti gli altri questo è un punto di forza del linguaggio di programmazione. Alcune librerie si sono diffuse così tanto da diventare librerie standard di Python, rendendo il linguaggio ancora più potente rispetto alla versione d'origine.

Un modulo può essere importato in un programma tramite l'istruzione `IMPORT`, come riportato di seguito

```
import webcolors
```

Nel linguaggio Python le funzioni e le classi sono considerate come un oggetto e pertanto le librerie sono compatibili con tutti i sistemi operativi e le piattaforme (Unix, Linux, Mac, Windows).

Questa caratteristica ha contribuito al successo del linguaggio Python, ed essendo un linguaggio portabile, esso è estendibile anche ad altri linguaggi di programmazione, ad esempio, il linguaggio C.

Nello sviluppo del progetto, che andremo a descrivere nel prossimo capitolo, fondamentale è stato l'utilizzo di alcune delle librerie di supporto al linguaggio Python. Di seguito andremo ad elencare e a descrivere quelle che sono state utilizzate, ma il loro ambito di utilizzo verrà definito del capitolo 4.

3.2.1 Pandas

Pandas è una libreria di Python open source, potente e popolare, usata per la manipolazione e l'analisi dei dati. È particolarmente utile per lavorare con dati strutturati, come fogli di calcolo o database e fornisce un modo per manipolare e analizzare facilmente grandi quantità di dati.

La struttura dei dati principali in Pandas è il DataFrame, che è una struttura simile a una tabella con righe e colonne. I dati possono essere originati da una varietà di fonti, come file CSV, file Excel o database. Una volta creato, il DataFrame può essere facilmente manipolato, pulito e trasformato con una varietà di funzioni e metodi integrati.

3. MATERIALI E METODI

3.2.2 Numpy

La libreria Numpy consente di lavorare con vettori e matrici in maniera più efficiente e veloce di quanto non si possa fare con le liste e le liste di liste(matrici). Il costrutto di base è l'ndarray, che può avere dimensioni qualunque e tipi corrispondenti a quelli del C o del Fortran, che restano i linguaggi attualmente più utilizzati per il calcolo numerico.

Uno dei punti di forza di numpy è di poter lavorare sui vettori sfruttando le ottimizzazioni di calcolo vettoriale del processore della macchina e questo rende particolarmente efficiente i calcoli, rispetto per esempio alle liste.

3.2.3 Extcolors e rgb2hex

La libreria extcolors permette di estrarre i colori da un'immagine. Il risultato è presentato in due formati, testo e immagine. In particolare nel nostro caso abbiamo scelto il formato testo e quindi restituisce i valori RGB, che verranno convertiti in codici colore HEX con la libreria rgb2hex.

3.2.4 Matplotlib

Matplotlib è una libreria per la creazione di grafici per il linguaggio di programmazione Python e la libreria matematica NumPy. Fornisce API orientate agli oggetti che permettono di inserire grafici all'interno di applicativi usando toolkit GUI generici, come WxPython, Qt o GTK. C'è anche una interfaccia “pylab” procedurale basata su una macchina degli stati (come OpenGL) progettata per assomigliare a quella di MATLAB. All'inizio la libreria venne sviluppata principalmente da John Hunter e distribuita sotto licenza di tipo BSD. Oggi matplotlib supporta le versioni di python 2.7 e 3.2.

3.2.5 Colormap

La libreria Colormap fornisce semplici utility per convertire colori tra RGB,HEX,HLS,HUV e una classe per creare facilmente mappe a colori per matplotlib.

3.3 Che cos'è JSON?

JSON (JavaScript Object Notation) è un semplice formato per lo scambio di dati. Per le persone è facile da leggere e scrivere, mentre per le macchine risulta facile da generare e analizzarne la sintassi. Si basa su un sottoinsieme del Linguaggio di Programmazione JavaScript, Standard ECMA-262 Terza Edizione-Dicembre 1999.



Figura 3.2: Logo Json

JSON è un formato di testo completamente indipendente dal linguaggio di programmazione. Utilizza convenzioni conosciute dai programmatore di linguaggi della famiglia C, come C, C++, C, Java, JavaScript, Perl, Python e molti altri. Questa caratteristica fa di JSON un linguaggio ideale per lo scambio dei dati.

JSON è basato su due strutture:

- serie di coppie nome/valore
“name1”:”value1”, “name2”:”value2”
- liste ordinate di valori, chiamate array
[“valore1”,”valore”]

Questi dati vengono letti da un parser JSON che li converte nel tipo di dati appropriato per il linguaggio di programmazione usato nel recupero dei dati.

3.4 MongoDB

MongoDB è un database NoSQL open source. NoSQL significa che il database non utilizza tabelle relazionali come un database SQL tradizionale.

3. MATERIALI E METODI

Esistono diversi tipi di database NoSQL, ma MongoDB memorizza i dati in oggetti simili a JavaScript, noti come documenti. Sebbene MongoDB sia diventato sinonimo di framework Node.js basato su JavaScript, i driver ufficiali del database MongoDB sono disponibili per la maggior parte dei framework, linguaggi e runtime, tra cui Node.js, PHP e Python. Si può anche optare per librerie come Mongoose, che offrono un livello di astrazione più elevato o funzioni di mappatura relazionale degli oggetti (ORM). A differenza delle tabelle SQL, non ci sono limiti strutturali a ciò che si può memorizzare in MongoDB. Gli schemi dei dati non vengono applicati: potete memorizzare quello che volete dove volete. Questo rende MongoDB ideale per le strutture di dati più organiche o disordinate.



Figura 3.3: Logo MongoDB

3.4.1 Elementi di MongoDB

Elenchiamo ora gli elementi utili per operare con questo nuovo tipo di DB.

- **Documento:** Un singolo oggetto in un archivio di dati, analogo a un record o a una riga in una tabella di un database SQL.
- **Campo:** Un singolo dato all'interno di un documento, come un nome o un numero di telefono, analogo a un campo o a una colonna di una tabella SQL.
- **Raccolta:** Un insieme di documenti simili, analogo a una tabella SQL. Anche se potreste inserire tutti i vostri documenti in un'unica raccolta,

3. MATERIALI E METODI

di solito è più pratico raggrupparli in tipi specifici. In una rubrica di contatti potreste avere una raccolta per le persone e una per le aziende.

- **Database:**Una raccolta di dati correlati, identica nel significato a un database SQL.
- **Schema:**Uno schema definisce le strutture dei dati. Nei database SQL è necessario definire le definizioni delle tabelle con i relativi campi e tipi prima di poter memorizzare i dati. In MongoDB questo non è necessario, anche se è possibile creare uno schema che convalidi i documenti prima che possano essere aggiunti a una raccolta.
- **Indice:**Una struttura di dati utilizzata per migliorare le prestazioni delle query, identica nel significato agli indici di SQL.
- **Chiave primaria:**Un identificatore unico per ogni documento. MongoDB aggiunge automaticamente un campo id unico e indicizzato a ogni documento di una raccolta.
- **Joins:**SQL offre un operatore JOIN che consente di recuperare i dati da più tabelle normalizzate con un'unica query. Le unioni non erano possibili in MongoDB fino alla versione 3.6 e le limitazioni permangono. Questo è un altro motivo per cui i dati dovrebbero essere denormalizzati in documenti autonomi.
- **Transazioni:**Quando un aggiornamento modifica due o più valori su un singolo documento, MongoDB si assicura che vadano tutti a buon fine o che falliscano tutti. Gli aggiornamenti di due o più documenti devono essere racchiusi in una transazione. MongoDB supporta le transazioni dalla versione 4.0, ma è necessario un set di repliche multi-server o un cluster sharded.

CAPITOLO 4

RISULTATI SPERIMENTALI

4.1 Obiettivi

Il lavoro di tirocinio descritto in questa tesi ha come obiettivo lo sviluppo di algoritmi per lo studio dell’analisi del suolo mediante l’utilizzo delle immagini del satellite Sentinel-2 della costellazione Copernicus.

In particolare grazie allo studio effettuato su queste immagini è stato possibile analizzare mediante rappresentazione grafica la percentuale di vegetazione presente su un determinato territorio da noi scelto e osservare come essa evolve nel corso del tempo grazie all’utilizzo di una variabile temporale. In particolare per ogni territorio, grazie all’applicazione del Corine Land Cover(CLC) è stato possibile ottenere una mappatura relativa alla copertura del suolo.

Nei paragrafi successivi verrà descritto nel dettaglio il lavoro svolto e verranno mostrati i risultati ottenuti.

4. RISULTATI SPERIMENTALI

4.2 Esperimento

L'attività di tirocinio è stata suddivisa su tre fasi attribuendo ad ognuna di esse un corrispettivo in CFU nonché ore/lavoro.

4.2.1 Fase di introduzione

In questa prima fase, oltre che ad essere caratterizzata dall'inserimento nel team aziendale, fondamentale per conoscere l'azienda stessa, ho affrontato un piccolo periodo di studio individuale incentrato sull'apprendimento del linguaggio Python, che mi ha permesso di realizzare il progetto proposto.

In particolare dopo aver effettuato qualche piccolo test su semplici esercizi pratici siamo passati alla delineazione dei vari passi da svolgere per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato.

Fondamentale è stato anche lo studio approfondito del satelliti Sentinel-2 relativo al mio caso di studio e la creazione di un account Sentinel-Hub per poter accedere al vastissimo database di informazioni offerte dalle missioni Sentinel.

4.2.2 Fase operativa

In questa seconda fase mi sono concentrata sulle immagini offerte dai satelliti in precedenza citati, in particolare ho scelto dei territori e per questi ho effettuato il download delle immagini, tutto interamente gestito tramite scrittura di codice Python e supporto delle numerose sue librerie. Possiamo vedere qui di seguito alcuni risultati ottenuti riguardo la città di Salerno.

4. RISULTATI SPERIMENTALI

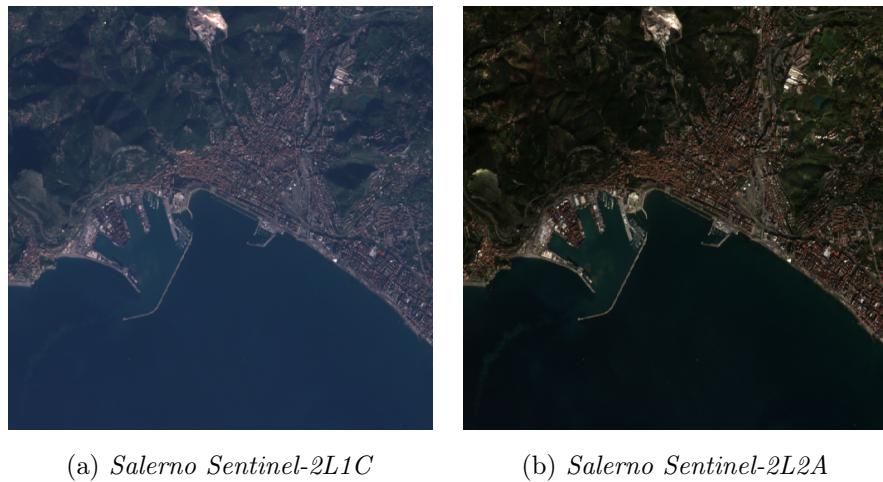


Figura 4.1: Salerno-L2A/L1C

Come definito nel capitolo 2 la caratteristica che differenzia questi due satelliti è la presenza di parametri atmosferici. Il satellite Sentinel-2L2A essendo privo di questa caratteristica offre immagini ad una risoluzione migliore, abbiamo quindi deciso di studiare le immagini da esso offerte.

Nella fase successiva grazie al supporto delle librerie Python Extcolors, `rgb2hex`, `Matplotlib` ho ottenuto per ciascuna immagine analizzata la percentuale di ogni singolo colore presente in essa. Queste percentuali sono state raggruppate in un file `.json` e poi successivamente attraverso una specifica funzione (`color_to_df`) rappresentate mediante un grafico a torta, come possiamo vedere qui di seguito.

4. RISULTATI SPERIMENTALI

```
#funzione che converte i codici RGB in codici colore HEX con la libreria rgb2hex e crea un dataframe di memorizzazione
#RGB(119,163,69) il corrispondente HEX #77a345
def color_to_df(input):
    colors_pre_list = str(input).replace('([','').split(')',')[0:-1]
    df_rgb = [i.split('),') for i in colors_pre_list]
    df_percent = [i.split('),') for i in df_rgb]

    df_color_up = [rgb2hex(int(i.split(", ")[0].replace("(","")),
                           int(i.split(", ")[1]),
                           int(i.split(", ")[2].replace(")","")) for i in df_percent)

    df = pd.DataFrame(zip(df_color_up, df_percent), columns = ['c_code','occurrence'])
    return df

df_color = color_to_df(colors_x)

#in questo modo realizziamo il grafico a ciambella per visualizzare il risultato
list_color = list(df_color['c_code'])
list_percent = [int(i) for i in list(df_color['occurrence'])]
text_c = [c + ' ' + str(round(p*100/sum(list_percent),1)) + '%' for c, p in zip(list_color,
                                                                                      list_percent)]
fig, ax = plt.subplots(figsize=(90,90),dpi=10)
wedges, text = ax.pie(list_percent,
                      labels=text_c,
                      labeldistance=1.05,
                      colors = list_color,
                      textprops={'fontsize': 40, 'color':'black'}
                     )
plt.setp(wedges, width=0.3)
```

Figura 4.2: Funzione ottenimento percentuali

```
1  {
2      "white": {
3          "perc": 92.6,
4          "valore": 5331459,
5          "hex": "#FFFFFF",
6          "rgb": [
7              255,
8              255,
9              255
10         ]
11     },
12     "black": {
13         "perc": 6.2,
14         "valore": 356093,
15         "hex": "#000000",
16         "rgb": [
17             0,
18             0,
19             0
20         ]
21     },
22     "bisque3": {
23         "perc": 0.2,
24         "valore": 11748,
25         "hex": "#D0BBAS",
26         "rgb": [
27             208,
28             187,
29             165
30         ]
31     },
32 }
```

Figura 4.3: Estratto codice .json

4. RISULTATI SPERIMENTALI

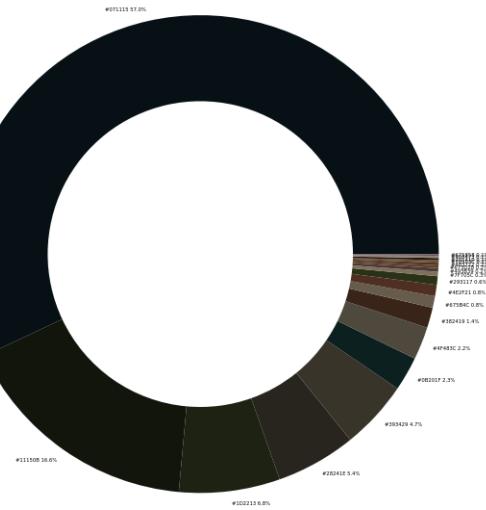


Figura 4.4: Grafico-L2A-Salerno

Nella fase successiva ho applicato il programma del Corine Land Cover (CLC) descritto nel capitolo 2. In questo modo ho effettuato una mappatura dei territori e questo mi ha permesso di studiare le componenti e le risorse offerte da un determinato territorio. Anche in questa fase ho previsto l'ottenimento delle percentuali, il loro raggruppamento all'interno di un file .json e la rappresentazione grafica mediante diagramma a torta. Possiamo osservare un risultato ottenuto relativo alla città di Salerno.

4. RISULTATI Sperimentali

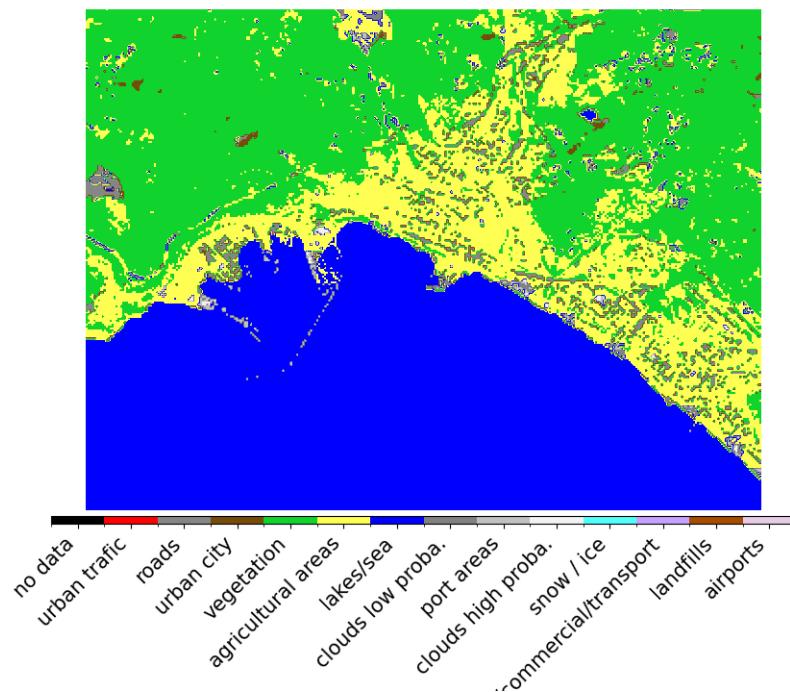


Figura 4.5: Salerno-CLC

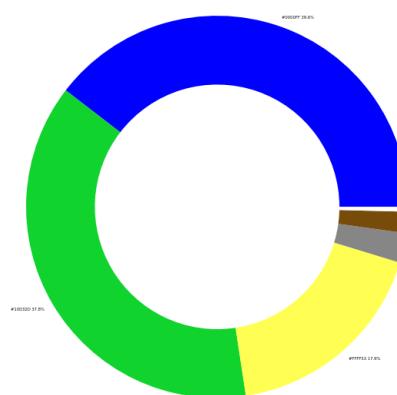


Figura 4.6: Grafico-CLC-Salerno

4. RISULTATI Sperimentali

Terminata questa fase di analisi delle immagini/colori, ho proseguito il lavoro con un'operazione del tutto particolare. Nel nostro script ho previsto l'inserimento di una chiamata "nominatim"¹ Figura 4.7, tale chiamata prende in input una stringa e restituisce un "boundingbox".²

Una serie di operazioni di testing mi hanno permesso di osservare che le immagini risultanti si presentavano in dimensioni(in termini di pixel) estremamente notevoli e questo impediva di studiare nel dettaglio la percentuale di colore. E' stata necessaria quindi un'operazione di partizionamento.

Le immagini sono state suddivise in 3x3 partizioni. Questa operazioni è stata effettuata sia per le immagini L2A che per quelle CLC.

La fase successiva al partizionamento è stata quella di merge. Grazie all'implementazione di un semplice algoritmo di merge è stato possibile ricompattare le singole partizioni in un'unica grande immagine, ottenendo così tutti i singoli dettagli in alta risoluzione.

Di seguito sono stati riportati i risultati ottenuti sempre sulla città di Salerno.

```
citta = ['salerno']
req = requests.get(f"https://nominatim.openstreetmap.org/search?city={citta}&format=json").json()[0]["boundingbox"]
box2=BBox([req[2],req[0],req[3],req[1]], crs=CRS.WGS84)
partizioni =box2.get_partition(3,3)
```

Figura 4.7: Chiamata nominatim

¹Nominatim utilizza i dati di OpenStreetMap per trovare posizioni sulla Terra per nome e indirizzo (geocodifica). Può anche fare il contrario, trovare un indirizzo per qualsiasi posizione sul pianeta.

²I riquadri di delimitazione sono rettangoli allineati all'asse. Sono il tipo di forma chiusa più semplice in planare, rappresentato da due punti contenenti le coordinate minima e massima per ciascun asse.

4. RISULTATI SPERIMENTALI



Figura 4.8: Merge-L2A-Salerno

4. RISULTATI Sperimentali

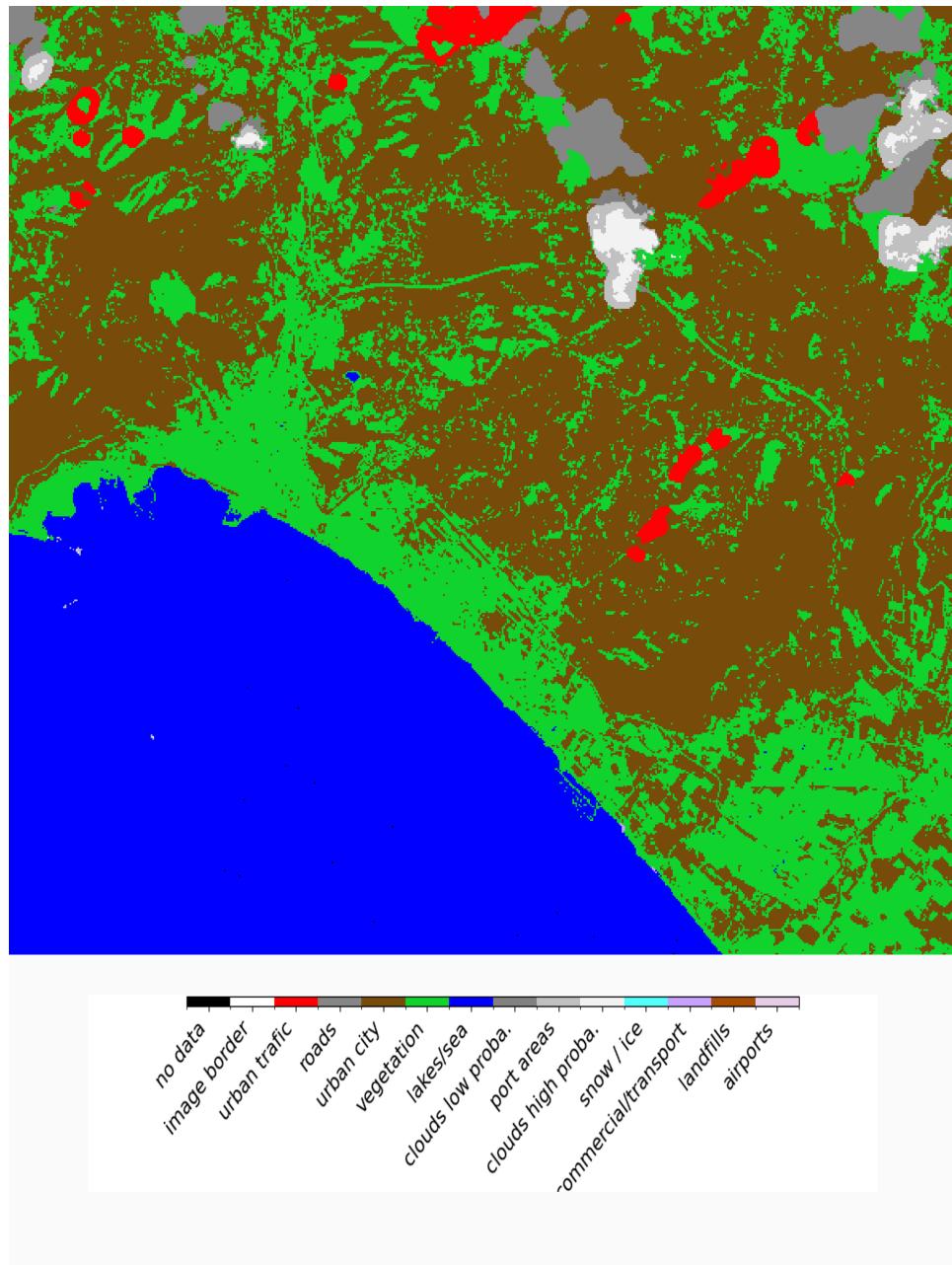


Figura 4.9: Merge-CLC-Salerno

Possiamo notare come in questo modo anche la risoluzione dell'immagine rispetto a quella di partenza è migliorata notevolmente. In particolare prima di effettuare il download si può anche scegliere in quante parti suddividere l'immagine e il periodo temporale, questo è molto utile per poter fare degli studi sull'evoluzione temporale dei territori.

4.3 Fase di automazione

In questa ultima fase mi sono concentrata sull'automazione di tutti gli step precedentemente definiti. In particolare grazie all'utilizzo di un ciclo FOR per ogni immagine che decidiamo di scaricare otterremo:

- Rappresentazione L2A
- Rappresentazione CLC
- Percentuale di colori L2A
- Percentuale di colori CLC
- File .json L2A
- File .json CLC
- Merge L2A
- Merge CLC

La parte finale del progetto è stata dedicata al collegamento e alla gestione del DB.

In particolare mi sono soffermata sul salvataggio delle immagini. Questo è stato realizzato andando semplicemente a convertire l'immagine in formato .png in base64 attraverso il metodo `.base64encode`, l'output non è altro che una stringa.

Come spiegato in precedenza MongoDB è un DB NoSQL quindi parleremo di collection. Ho previsto e realizzato 4 collection.

- **Collection denominata “rawl2a”:** in questa collection sono contenute tutte le informazioni circa le immagini L2A e la conversione base64 delle stesse.
- **Collection denominata “rawclc”:** in questa collection sono contenute tutte le informazioni circa le immagini CLC e la conversione base64 delle stesse.
- **Collection denominata “analisil2a”:** in questa collection sono contenute tutte le informazioni circa l'immagine mergeL2A ottenuta dal merge delle 3x3 partizioni di immagini L2A e conversione base64 della stessa.

4. RISULTATI SPERIMENTALI

- **Collection denominata “analisicle”:** in questa collection sono contenute tutte le informazioni circa l’immagine mergeCLC ottenuta dal merge delle 3x3 partizioni di immaginiCLC e conversione bse64 della stessa.

The screenshot shows the MongoDB Compass interface with the database 'test' selected. The collection 'test.rawl2a' is open, displaying four documents. Each document has fields: '_id' (ObjectId), 'citta' (city), 'data' (date), and 'immagini' (images). The 'immagini' field is shown as an array of binary data objects. The interface includes a sidebar for queries and databases, and a top bar with tabs for Documents, Aggregations, Schema, Explain Plan, Indexes, and Validation.

Figura 4.10: Raffigurazione MongoDB



Figura 4.11: Raffigurazione dettagliata campo "immagine"

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI

Il lancio dei satelliti Sentinel di ESA rappresenta una grande opportunità per l’Europa di creare un sistema tecnologico in grado di fornire immagini radar e multispettrali open source a tutti i cittadini del mondo.

L’accesso ad immagini con risoluzione geometrica di 20m è una opportunità importante per tutti coloro che usufruiscono del dato satellitare per compiere studi legati al monitoraggio del territorio.

L’obiettivo principale di questo lavoro di tesi è stato quello di sperimentare l’utilizzo delle immagini fornite dal satellite Sentinel-2 per poter non solo, analizzare la percentuale di vegetazione presente nei territori ma anche ottenere mappe tematiche di copertura del suolo (land cover).

I dati satellitari forniti dai due satelliti citati in precedenza sono stati utili sia singolarmente che combinati tra di loro.

Anche se i risultati precedentemente mostrati sono relativi solo alla città di Salerno ,per la sperimentazione sono state prese in considerazione diverse zone del territorio italiano.

All’interno del lavoro di tesi fondamentale è stato lo studio delle varie missioni e sperimentazioni precedenti a quella affrontata e questo ha permesso di utilizzare varie risorse provenienti da lavori differenti per ottenere i risultati

5. CONCLUSIONI

mostrati in precedenza.

La scelta di studiare le immagini fornite dal satellite Sentinel-2L2A ha permesso di ottenere delle percentuali di colori ancora più veritieri e questo è stato molto importante per analizzare, nel nostro caso, la percentuale di vegetazione. L'accuratezza ottenuta dalla classificazione del dato multispettrale si può definire buona attestandosi al 91.1%; l'integrazione del dato radar porta ad avere un incremento di accuratezza globale fino a raggiungere il valore di 92.9%.

Queste percentuali confermano che l'utilizzo delle immagini provenienti dalle piattaforme Sentinel, se adeguatamente utilizzate, possono fornire classificazioni e dettagli molto accurati.

E' stata quindi prodotta una mappa di *land cover* con risoluzione geometrica di 20m che fornisce un dettaglio ulteriore sulla copertura del suolo rispetto a qualsiasi altro dato open source disponibile in rete.

Come noto, all'interno del programma Copernicus sviluppato da ESA è stata creata una mappa di copertura del suolo europea, Corine Land Cover, con una risoluzione spaziale di 250m.

Per numerose applicazioni, soprattutto a scala nazionale o regionale, tale dato può essere sufficiente in termini di risoluzione, mentre risulta molto scarso per valutazioni su scale minori.

Le mappe tematiche ottenute sono fedeli all'applicazione del programma del CLC ma risultano essere più dettagliate e precise in quanto è stato possibile ottenerle con una risoluzione spaziale di 20m.

In definitiva si può affermare che il lavoro svolto in questa sperimentazione potrebbe essere inteso come un miglioramento delle mappe Corine Land Cover, il prodotto ottenuto potrebbe essere integrato da dati supplementari e fornire una base decisionale molto solida per studi sul monitoraggio del territorio.

La parte finale del progetto è stata dedicata alla gestione del DB utilizzando un DB NoSQL, mongoDB. La decisione di salvare le immagini nel DB utilizzando il metodo *.base64encode* permette di gestire al meglio lo spazio

5. CONCLUSIONI

di archiviazione del DB stesso e quindi allocare molte più immagini. Vantaggio che non avremmo ottenuto se avessimo allocato le immagini in formato standard(.png o .jpg).

Un eventuale sviluppo futuro della sperimentazione potrebbe avere l'obiettivo di generare una procedura di analisi completamente automatizzata sullo studio dell'evoluzione dei territori.

Sarà inoltre possibile, anche molto utilite integrare ulteriori dati Sentinel provenienti da piattaforme già lanciate in ordita e da quelle che verranno lanciate nel futuro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] anra.it. *RiskManagement*. URL: https://anra.it/c_id/1903.
- [2] Wikipedia. *Crowdmapping*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/Crowdmapping>.
- [3] esa.it. *ESA*. URL: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3.
- [4] esa.it. *Sentinel-1*. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
- [5] esa.it. *Sentinel-2*. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
- [6] esa.it. *Sentinel-3*. URL: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3?p_l_back_url=%2Fweb%2Fsentinel%2Fsearch%3Fq%3Dsentinel-3.
- [7] esa.it. *Sentinel-4*. URL: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-4?p_l_back_url=%2Fweb%2Fsentinel%2Fsearch%3Fp_l_back_url%3D%252Fweb%252Fsentinel%252Fsearch%253Fq%253Dsentinel-3%26q%3Dsentinel-4.
- [8] Wikipedia. *Definizione CAMS*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Copernicus_Atmosphere_Monitoring_Service.

BIBLIOGRAFIA

- [9] Wikipedia. *Definizione AEA*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Agenzia_europea_dell'ambiente.
 - [10] esa.it. *Sentinel-5*. URL: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5?p_l_back_url=%2Fweb%2Fsentinel%2Fsearch%3Fp_l_back_url%3D%252Fweb%252Fsentinel%252Fsearch%253Fp_l_back_url%253D%25252Fweb%25252Fsentinel%25252Fsearch%25253Fq%25253Dsentinel-3%2526q%253Dsentinel-4%26q%3Dsentinel-5.
 - [11] esa.it. *Sentinel-5P*. URL: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p?p_l_back_url=%2Fweb%2Fsentinel%2Fsearch%3Fp_l_back_url%3D%252Fweb%252Fsentinel%252Fsearch%253Fp_l_back_url%253D%25252Fweb%25252Fsentinel%25252Fsearch%25253Fp_l_back_url%25253D%2525252Fweb%2525252Fsentinel%2525252Fsearch%25253Fq%25253Dsentinel-3%2526q%253Dsentinel-4%26q%3Dsentineln%2B5P.
 - [12] esa.it. *Sentinel-6*. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-6/overview>.
 - [13] wikipedia. *Topex/Poseidon*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/TOPEX/Poseidon>.
 - [14] esa. *aree-tematiche*. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/thematic-areas/land-monitoring>.
 - [15] Darius Phiri et al. «Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review». In: *Remote Sensing* 12.14 (2020). ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs12142291. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/14/2291>.
 - [16] M. Drusch et al. «Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services». In: *Remote Sensing of Environment* 120 (2012). The Sentinel Missions - New Opportunities for Science, pp. 25–36. ISSN: 0034-4257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
-

BIBLIOGRAFIA

- URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000636>.
- [17] Alessia Goffi et al. «Towards an automated approach to map flooded areas from Sentinel-2 MSI data and soft integration of water spectral features». In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 84 (2020), p. 101951. ISSN: 1569-8432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101951>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243419303952>.
- [18] wikipedia. *pancromatico*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/Pancromatico>.

ELENCO DELLE FIGURE

2.1	Programma Copernicus	11
2.2	Missioni Sentinel	12
2.3	Corine land cover classes	22
3.1	Logo Python	28
3.2	Logo Json	32
3.3	Logo MongoDB	33
4.1	Salerno-L2A/L1C	37
4.2	Funzione ottenimento percentuali	38
4.3	Estratto codice .json	38
4.4	Grafico-L2A-Salerno	39
4.5	Salerno-CLC	40
4.6	Grafico-CLC-Salerno	40
4.7	Chiamata nominatim	41
4.8	Merge-L2A-Salerno	42
4.9	Merge-CLC-Salerno	43
4.10	Raffigurazione MongoDB	45
4.11	Raffigurazione dettagliata campo "immagine"	45

RINGRAZIAMENTI

"Ringraziamento",una parola magica per esprimere gratitudine.

Una parola così semplice da pronunciare ma ricca di significato.

Una parola che detta anche a bassa voce non perde di importanza.

Molto spesso sottovalutiamo la bellezza di questo termine,quante volte facciamo fatica a dire "Grazie",ai nostri familiari,ai nostri amici,a noi stessi.

Nelle pagine precedenti ho utilizzato tante parole,complesse,comprensibili per alcuni e incomprensibili per altri. Ma adesso concedetemi di dire qualcosa a voi, qui presenti,a chi leggerà queste righe domani e a chi non le leggerà mai.

Permettetemi di rivolgere un pensiero speciale al professore Christiancarmine Esposito per avermi accolta sin da subito con molta umiltà e responsabilità. Grazie per avermi accompagnata in questo percorso e per aver creduto in me.

Grazie ai miei due magnifici tutor Carmine e Daniele,per avermi dato l'opportunità di svolgere il percorso di tirocinio.La loro gentilezza e professionalità mi hanno permesso di vivere questa esperienza a 360gradi senza timori e incertezze.

Grazie anche a tutti i colleghi di Sense Square.

Grazie ai miei genitori,mia sorella,mia nonna ,Carmine,i miei zii, a tutta la mia famiglia . . . grazie per avermi sempre supportata,per aver creduto in me

RINGRAZIAMENTI

e grazie per tutte le fasi di allenamento sui vostri computer :)

Grazie Katia per essermi sempre stata accanto in questo percorso,sin dal primo giorno siamo entrate in sintonia. Due caratteri opposti che apparentemente combaciano a sento ma in fondo si incastrano perfettamente. Grazie per avermi sopportata e soprattutto grazie per ogni singola correzione delle parentesi e ; nei miei codici. Beh se Katia ha reso questo percorso ben movimentato dall'altra parte devo ringraziare Rita per aver mantenuto sempre la calma,per aver affrontato ogni situazione con prudenza e sangue freddo. Grazie MKR.

Grazie Michele x2 ,Andrea e Gabriele x2,la pandemia ci ha separati ma poi siamo ritornati più forti di prima.

Insomma grazie a tutto il mio gruppo di studio/serate.

Da due anni a questa parte condivido la mia quotidianità con delle persone meravigliose,un po' pazze ma adorabili.

Grazie Maria senza di te casa Tamburrino sarebbe una desolazione,grazie per le tue pietanze preparate con tanto amore. Grazie ai taralli di mamma Mara e soprattutto grazie al tuo essere così spontanea e sensibile. Fede non ingelosirti dai,lo sappiamo tutti che sei la nostra diva preferita. Grazie per essere così gentile,per comprendere ogni singolo momento e grazie per ogni parola di conforto che mi hai donato. Grazie alla nuova arrivata Sara,i tuoi biscotti alla zucca sono ottimi,la tua saggezza da matematica è stata una salvezza. Grazie a voi mie coinquiline,grazie per avermi sempre supportata in ogni momento.

Tranquille Martina e Maria Rosaria,non mi sono dimenticata di voi. Mie coinquiline acquisite. Grazie per ogni singolo momento trascorso insieme.

Grazie a tutte le persone che mi hanno accompagnato in questo percorso,a tutti i miei amici di "paese" compagni di tante avventure .

Per ultima ma non per ordine di importanza devo ringraziare una persona. Probabilmente si starà chiedendo "ma vedi un po' mi ha lasciata per ultima? Si è dimenticata di me?". No non mi sono dimenticata di te.

In questo percorso c'è stata una persona che nonostante la mia

RINGRAZIAMENTI

testardaggine, il mio essere sempre scontrosa ha deciso di restarmi accanto. Ha deciso di condividere con me ogni momento, bello e brutto. Ha deciso di prendermi per mano e non lasciarmi mai. Grazie Nives. Grazie per esserci sempre. La tua amicizia mi ha salvata e continuerà a farlo. Ed è proprio vero chi trova un amico trova un tesoro, il mio tesoro l'ho trovato e lo custodirò per sempre.

Grazie a te Marta, qualche anno fa tua madre ti regalava un bracciare con su scritto

“Ce la farai, anche STRAVOLTA”. Beh ce l'hai fatta, stravolta sicuramente ma hai portato a termine questo tuo percorso. Hai incontrato tante difficoltà è vero, alcune volte ti sei buttata giù... ma la caratteristica dei nati sotto il segno della bilancia è quella di non mollare mai, ed è quello che hai fatto. Ora però non ti resta che scoprire come è fatto veramente il mondo, quello in cui devi dimostrare di essere una persona adulta, quello in cui non puoi tornare al prossimo appello. Dicono tutti che sia difficile, ma sono sicura che continuerai ad affrontare la vita a testa alta come hai sempre fatto.

Grazie a tutti, vi amo di bene

Vostra Marta