

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA



Corso di Laurea Triennale in
Ingegneria Informatica e dell'Automazione

*Integrazione di dati AIS ed immagini SAR da Sentinel-1 per scopi
di monitoraggio di attività illegali in mare*

*Integration of AIS data and Sentinel-1 SAR images
to monitor illegal activities at sea*

Relatore:
DOTT. MANCINI ADRIANO

Tesi di Laurea di:
MARTINO ENRICO PIO

Correlatore:
GALDELLI ALESSANDRO

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Obiettivi	7
1.2	Struttura della Tesi	7
2	Dispositivi	9
2.1	Automatic Identification System (AIS)	10
2.1.1	<i>MMSI</i>	11
2.1.2	AIS DATA	12
2.1.3	Invio dei dati <i>AIS</i>	12
2.1.4	Ricezione dei dati <i>AIS</i>	12
2.1.5	Limiti dell' <i>AIS</i>	13
2.2	Synthetic Aperture Radar (SAR)	14
2.2.1	Funzionamento	15
2.2.2	Sentinel-1	18
2.3	AIS & SAR	21
3	Strumenti software	23
3.1	SUMO	24
3.1.1	Software	25
3.1.2	Dati di input	25
3.1.3	Processamento di immagini <i>SAR</i>	30
3.2	Database Geospaziali	32
3.2.1	<i>PostgreSQL</i>	32
3.2.2	<i>PostGIS</i>	33
3.2.3	QGIS	36
4	Analisi	39
4.1	Monitoraggio di aree specifiche	40
4.2	Matching AIS & SAR	45
4.3	Alcuni studi	48
4.3.1	09 Marzo	48
4.3.2	Settimana più pescosa del 2019	50

5	Conclusioni	53
6	Appendice	55
6.1	CSV	55
6.2	GitHub	55
6.3	SQL	55
	Bibliografia	57
	Elenco delle figure	59
7	Ringraziamenti	65

Capitolo 1

Introduzione

La Terra vanta una vocazione naturale per le attività legate al mare come la pesca, il trasporto e il turismo.

Tuttavia le risorse marine devono essere gestite con attenzione, nell'ottica di assicurarne la disponibilità per le future generazioni, così da garantire uno sviluppo sostenibile per il settore. Il mare va protetto dal fenomeno di pesca intensiva, così come dagli impatti negativi che scaturiscono da altre attività umane affinché la sua ricchezza possa costituire un patrimonio accessibile a tutti.

Il monitoraggio dell'ambiente marino, nello specifico di attività umane all'interno di esso, è fondamentale per preservare una risorsa, così vasta, che da secoli fornisce numerosi benefici all'uomo.

A tale scopo, l'obiettivo dello studio è quello di dimostrare come sia possibile sfruttare le molteplici risorse tecnologiche del 21° secolo, integrando dati provenienti da diverse fonti, per fornire un quadro completo delle imbarcazioni e di individuare eventuali attività illegali in mare.

La sorveglianza marina può essere eseguita utilizzando diverse metodologie. Una prima opzione consiste in sistemi cooperativi in cui le navi stesse segnalano la propria identità e la propria posizione. Una seconda opzione consiste in sistemi non cooperativi e consente il rilevamento di navi che non trasportano a bordo sistemi di tracciamento, ad esempio navi da pesca più piccole, oppure navi che hanno spento illegalmente il dispositivo di tracciamento.

L'approccio utilizzato in questo lavoro di tesi è quello di integrare dati cooperativi provenienti da dispositivi **AIS** (Automatic Identification System) e dati non cooperativi come le immagini **SAR** (Synthetic Aperture Radar) derivanti dal satellite dell'Agenzia Spaziale Europea, Sentinel-1.

- **AIS:** Automatic Identification System.

Costituito da un ricevitore GPS (Global Positioning System) e da una radio dati che consente alle imbarcazioni di tutto il mondo di identificarsi a vicenda e di trasmettere dati importanti alle altre barche, ma anche alle stazioni terrestri e ai centri di traffico sulla costa.

- **SAR:** Synthetic Aperture Radar.

Una speciale tecnica radar che consente di ottenere immagini ad alta risoluzione da grande distanza, ad esempio dallo spazio.

Il dato AIS e l'immagine SAR cooperano al fine di fornire una caratterizzazione completa di ogni imbarcazione presente in mare, in qualsiasi zona e istante temporale, la cui individuazione potrebbe risultare difficile per molte circostanze. Dato AIS e immagine SAR, presi singolarmente, non sono sufficienti per fornire un'esperienza completa di monitoraggio marino.

Esaminare unicamente il dato proveniente da un sensore AIS non è sufficiente perché quest'ultimo può essere spento di proposito, anche se illegalmente, oppure può non essere presente in tutte le imbarcazioni dato che le navi sotto ai 15 metri di lunghezza non hanno l'obbligo di possedere a bordo il sensore AIS.

Segnali deboli, interferenze e aree affollate possono essere altre ragioni per le quali non basta sottoporre ad analisi solo i dati AIS. Di conseguenza attività vietate potrebbero non essere individuate.

L'analisi delle immagini SAR si rivela più adatta per la sorveglianza del traffico marittimo in contesti operativi, in quanto consente il rilevamento della nave su ampie aree senza essere particolarmente influenzato dalle condizioni meteorologiche e dai cicli giorno-notte. Tuttavia, come verrà mostrato nei capitoli successivi, il dato SAR è ricevuto dal satellite, di conseguenza durante il moto attorno alla Terra non può fornire una copertura completa istante per istante.

Si vuole dimostrare come la sinergia tra dati AIS e immagini SAR possa permettere di elaborare un sistema robusto di monitoraggio del mare in situazioni spazio-temporali differenti.

1.1 Obiettivi

Il presente lavoro di tesi si propone di mostrare un approccio efficace per l'analisi dell'attività marittima in diverse situazioni.

A tale scopo si vuole:

- Integrare i dati AIS e le immagini SAR tramite software ed algoritmi di rilevamento delle imbarcazioni al fine di raccogliere i risultati ottenuti dalle analisi in database geo-spaziali;
- gestire in maniera ottimale i dati e individuare attività illegali in mare
- evidenziare una corrispondenza tra:
 - l'imbarcazione individuata in una zona vietata, tramite l'analisi dell'immagine SAR;
 - la posizione fornita dalla barca in modo collaborativo, tramite il sensore AIS.

1.2 Struttura della Tesi

L'elaborato è strutturato nel seguente modo:

- definizione dei dispositivi impiegati per il rilevamento della posizione delle navi;
- quadro completo delle fonti dei dati impiegati nello studio;
- esposizione degli strumenti software utilizzati;
- analisi e sviluppo software;
- conclusioni e sviluppi futuri.

Capitolo 2

Dispositivi

Nel seguente capitolo vengono presentate le due tipologie di dati di tipo collaborativo e non collaborativo che saranno oggetto dello studio di tesi.

In particolare verranno impiegati dati **AIS** forniti in modo collaborativo dalle stesse imbarcazioni e immagini provenienti dal radar ad apertura sintetica **SAR** di *Sentinel-1*, di tipo non collaborativo.

A tal proposito verranno discussi singolarmente, spiegandone le caratteristiche e il funzionamento, in seguito verrà caratterizzata l'idea affinché vengano sfruttate le due fonti in modo sinergico, al fine di individuare le barche e monitorare le attività di pesca svolte in mare in maniera ottimale.

2.1 Automatic Identification System (AIS)

L'**AIS** è un dispositivo costituito da un ricevitore GPS e da una radio dati. Il sistema *AIS* consente alle imbarcazioni di tutto il mondo di identificarsi a vicenda e di trasmettere dati importanti alle altre barche, ma anche alle stazioni terrestri e ai centri di traffico sulla costa. Per garantire che i dati *AIS* siano utilizzabili in tutto il mondo, l'Unione Internazionale delle telecomunicazioni (UIT) [1] ha definito tipi di messaggi o telegrammi standard che ogni apparecchiatura *AIS* deve essere in grado di ricevere e/o inviare, sempre che il tipo di apparecchio sia predisposto per il rispettivo telegramma. I tipi di telegramma più importanti sono i dati della barca, la posizione, la velocità e la rotta.

In origine, l'*AIS* era esclusivamente di tipo terrestre, il che significa che il segnale veniva inviato dalla barca a terra e aveva un raggio di circa 20 miglia (tenendo conto anche della curvatura della terra). Quando le navi iniziarono a navigare sempre più lontano dalla terra, iniziarono a inviare il segnale a satelliti in orbita bassa, che poi ritrasmettevano le informazioni a terra. Questo sistema ha permesso alle navi di navigare molto lontano dalla costa rendendo il segnale più facilmente reperibile [2].



Figura 2.1: Esempio di dispositivo AIS.

Fonte: <https://up42.com/blog/tech/a-complete-guide-to-marine-traffic-tracking-tech-and-ais-data>

Il sistema AIS è stato originariamente sviluppato per la navigazione commerciale con lo scopo di evitare collisioni in mare. L'*AIS* a bordo offre una migliore pianificazione e un processo decisionale più facile. Grazie all'*AIS* è possibile monitorare dinamicamente l'attuale situazione del traffico in acqua. I cambiamenti di rotta e di velocità delle imbarcazioni circostanti vengono visualizzati automaticamente ed è possibile calcolare la distanza attuale tra due barche e il tempo impiegato per percorrerla, evitando così per tempo collisioni in mare.

Le manovre necessarie possono essere facilmente organizzate via radio marittima grazie alla trasmissione dei numeri *MMSI* (2.1.1) (Maritime Mobile Service Identity).

```
(base) C:\Users\Lenovo\test>C:/Users/Lenovo/anacond/python.exe c:/Users/Lenovo/test/full_tab.py
  mmsi      datetime  latitude  longitude  difftime  distance  msec  nodi
0  247341200  2021-01-15 10:21:04  43.78475   13.79687  11:24:13    0    0  NaN
1  247360200  2021-01-15 11:27:12  44.04983   13.81683  21:56:45    0    0  NaN
2  247341200  2021-01-15 17:11:44  42.77046   14.60036  19:11:13    0    0  NaN
3  247341200  2021-01-15 02:21:14  42.50615   16.78498  06:30:55    0    0  NaN
4  247341200  2021-01-15 07:21:26  41.83210   16.63633  09:22:22    0    0  NaN
```

Figura 2.2: Visualizzazione di dati *AIS* utilizzando la libreria *Pandas* di *Python*.

Nella figura 2.2 sono mostrate solo alcune delle informazioni che un dato *AIS* fornisce. La visualizzazione è permessa grazie alla libreria *Python* chiamata *Pandas* [3].

Pandas fa parte della distribuzione *Anaconda* [4] e permette di manipolare dati in formato *CSV* (comma-separated values) per rendere più semplice l'analisi e la gestione in maniera ottimale.

2.1.1 *MMSI*

Il Maritime Mobile Service Identity (*MMSI*) è un numero unico a 9 cifre. Le prime 3 cifre compongono il *MID* (*Maritime Identification Digit*) e identificano la nazionalità che nel caso dell'Italia è 247 [5]. Le rimanenti 6 cifre sono assegnate dall'autorità competente che sostituisce il nominativo internazionale (o indicativo di chiamata) di ogni apparecchio radio ed emittente.

L'*MMSI* identifica una singola imbarcazione, una stazione costiera (CRS), un gruppo di unità navali (flotta) o un gruppo di stazioni costiere [6].

2.1.2 AIS DATA

I dati inviati dal dispositivo AIS si racchiudono in due tipologie: statici e dinamici. I dati statici sono rappresentati dal codice MMSI e dal nominativo della barca. Di fatto non variano con il tempo, identificano la barca e rimangono costanti per tutto il tempo di navigazione.

I dati dinamici sono invece la posizione, velocità e rotta rispetto al fondo [7]. Questi ultimi variano a distanza di pochi secondi richiedendo una continuità nel fornire le informazioni.

2.1.3 Invio dei dati AIS

I dati AIS sono trasmessi dall'imbarcazione utilizzando trasmettitori AIS su due frequenze VHF riservate (AIS 1: 161,975 MHz, canale 87 B e AIS 2: 162,025 MHz, canale 88B) in un arco di tempo fisso tramite il protocollo dati HDLC. In totale al minuto sono disponibili 4500 slot di tempo - 2250 slot per canale [8]. Il singolo segnale inviato dall'imbarcazione è chiamato "ping".

2.1.4 Ricezione dei dati AIS

I dati AIS possono essere ricevuti e valutati senza costi dai ricevitori AIS. Per la valutazione e l'uso utile dei dati AIS è necessario un display adeguato. Può essere un chartplotter con carta nautica elettronica, un dispositivo radar con software AIS o un programma per PC adatto. Il collegamento ad un chart plotter può essere effettuato tramite NMEA0183 o NMEA2000, a seconda del dispositivo [9].

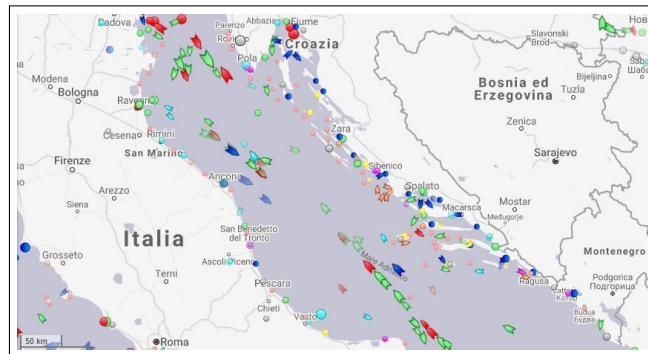


Figura 2.3: Marine Traffic .

Fonte: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:16.7/centery:43.5/zoom:7>

2.1.5 Limiti dell'*AIS*

I dati *AIS* non sono sufficienti. Non tutte le imbarcazioni sono dotate di un dispositivo *AIS* oppure quest'ultimo può essere spento (illegalmente). Le barche più piccole, in particolare, spesso non hanno un ricetrasmittitore *AIS* e alcuni veicoli militari non trasmettono i segnali *AIS*. Inoltre le scarse prestazioni e la trasmissione di informazioni errate da parte dell'*AIS* rappresentano problemi considerevoli durante l'uso di tali apparecchiature per operazioni di monitoraggio e di anticollisione [10]. I dati *AIS*, individualmente, non forniscono un sistema sufficientemente robusto per il monitoraggio delle attività in mare. Per tale motivo ciò che si propone di fare è congiungere i dati forniti dall'*AIS* con le informazioni provenienti dalle immagini *SAR* (2.2).

2.2 Synthetic Aperture Radar (SAR)

Synthetic Aperture Radar, abbreviato con **SAR**, è una speciale tecnica radar che consente di ottenere immagini ad alta risoluzione da grande distanza, ad esempio dallo spazio [11].

In passato, gli obiettivi principali dei sistemi *SAR* erano lo studio dell'interazione delle onde elettromagnetiche con la superficie terrestre. Recentemente, lo sviluppo di sistemi *SAR* multicanale ha consentito lo sviluppo di tecniche più sofisticate per le attività di sorveglianza [12].

Il monitoraggio ambientale, la mappatura delle risorse terrestri e marine richiedono immagini ad ampia area e ad alta risoluzione. Spesso, queste immagini devono essere acquisite di notte o in condizioni meteorologiche avverse. Il radar ad apertura sintetica (*SAR*) fornisce tale capacità. Tali radar sfruttano le caratteristiche di propagazione a lungo raggio dei segnali radar e la complessa capacità di elaborazione delle informazioni della moderna elettronica digitale per fornire immagini ad alta risoluzione. Il radar ad apertura sintetica (*SAR*) integra le capacità fotografiche e di "*imaging*" ottico perché non è limitato dall'ora del giorno o dalle condizioni atmosferiche [13].

Nei sistemi RADAR, per misurare le distanze vengono usate le microonde [14]. Il sistema *SAR* invia impulsi radar lateralmente. Ciò consente al radar di restituire al sensore i segnali che colpiscono i diversi oggetti sulla Terra in momenti differenti, consentendo di distinguere gli oggetti.

2.2.1 Funzionamento

Un sensore produce un'onda elettromagnetica incidente con una certa energia e in seguito registra la quantità di tale energia che viene riflessa dopo aver interagito con la Terra. A differenza delle immagini ottiche che sono simili all'interpretazione di una fotografia, i dati *SAR* richiedono una gestione diversa in quanto il segnale è sensibile alle caratteristiche della superficie come la struttura e l'umidità.

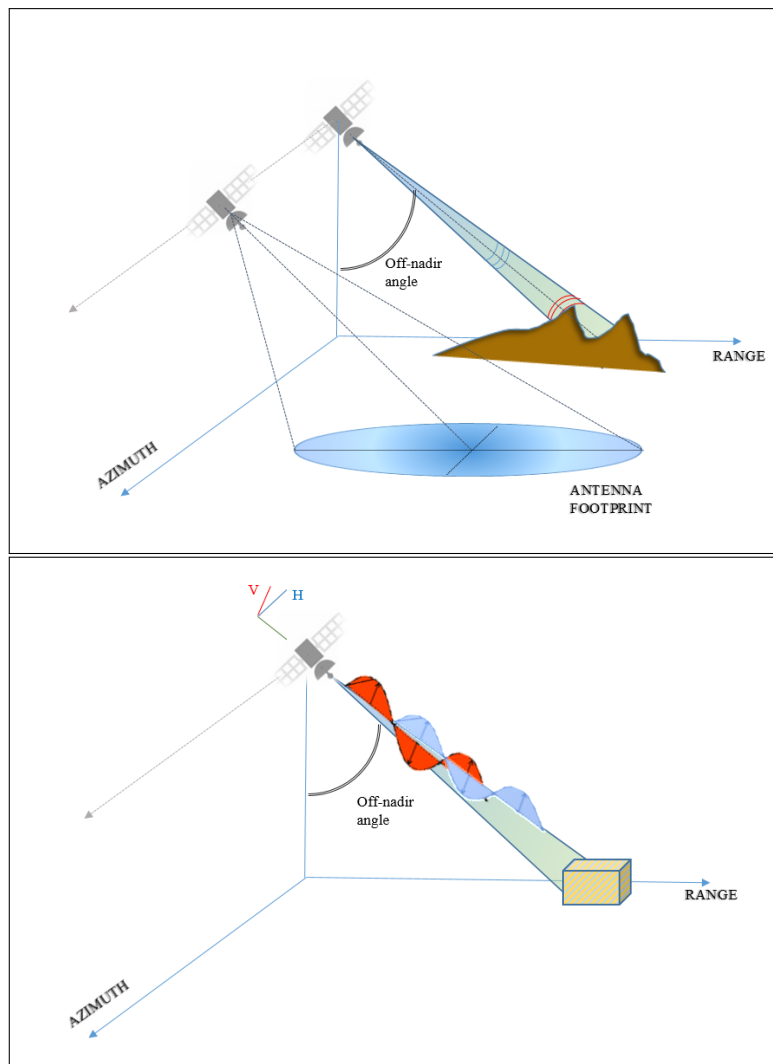


Figura 2.4: Rappresentazione delle onde incidenti su differenti superfici

Fonte: <https://rsde.fbk.eu/research/synthetic-aperture-radar-SAR>

L'onda riflessa fornisce numerose informazioni sull'oggetto. Nei dati radar l'intensità di segnale misurata dal sensore (*backscatter*) [15] dipende da caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche della superficie riflettente e dalle modalità di emissione/acquisizione del segnale. Ad esempio il *backscatter* è nullo nel caso di superfici perfettamente lisce poiché il segnale viene riflesso interamente nella direzione opposta a quella di provenienza.

Più la superficie è irregolare, maggiore sarà la probabilità che parte del segnale venga riflesso verso il sensore, quindi il *backscatter* aumenta; nel caso di superfici ad angolo (corner reflector) l'onda subisce una doppia riflessione per cui torna interamente nella direzione di provenienza e il *backscatter* è massimo (ciò accade ad esempio nelle aree edificate).

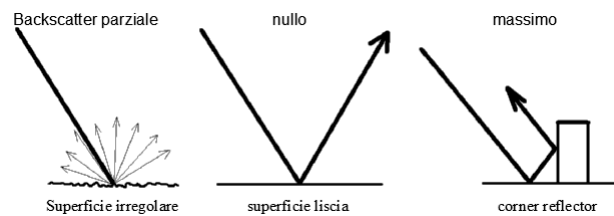


Figura 2.5: Rappresentazione del *backscatter* parziale, nullo e massimo
 Fonte: <http://www.alspergis.altervista.org/lezione/15.html>

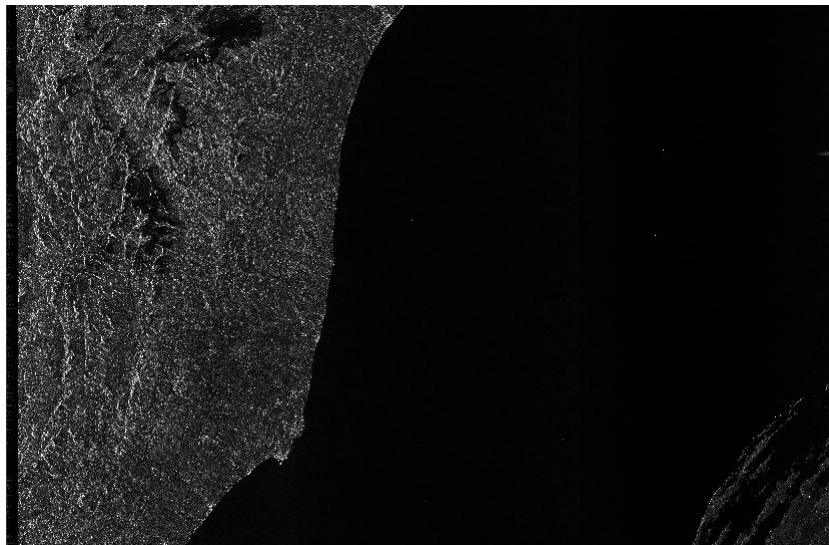


Figura 2.6: Esempio di immagine radar Sentinel-1A, banda C e polarizzazione VH.

Fonte: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>

Una particolarità interessante delle onde radar è la loro capacità, proporzionale alla lunghezza d'onda, di oltrepassare nuvole, chiome arboree, sedimenti sabbiosi sciolti (come mostrato in figura 2.6).

Il *SAR* si rivela uno strumento prezioso per le applicazioni marine e costiere, consentendo la determinazione di alcuni dei parametri che caratterizzano lo stato del mare: correnti ed onde. Non solo, *SAR* ci consente di individuare imbarcazioni in situazioni climatiche controverse con un basso margine di errore.

Le immagini *SAR* sottoposte ad analisi nello studio di Tesi sono fornite dalla missione spaziale dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), **Sentinel-1**.

2.2.2 Sentinel-1



Figura 2.7: Sentinel-1.

Fonte: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/>

Sentinel-1 è una missione spaziale dell'Agencia Spaziale Europea (*ESA*). La missione Sentinel-1 è composta da una costellazione di due satelliti che condividono lo stesso piano orbitale, che operano giorno e notte eseguendo immagini radar ad apertura sintetica in banda C, operante in quattro modalità di immagine con risoluzioni spaziali che arrivano fino a 5 metri e copertura fino a 400 km [16]. Fornisce capacità di doppia polarizzazione **VV** (Vertical transmit and Vertical receive) e **VH** (Vertical transmit and Horizontal receive) [17], tempi di revisione molto brevi e consegna rapida dei dati, consentendo di acquisire immagini indipendentemente dal tempo e condizioni atmosferiche. Per ogni osservazione sono disponibili misurazioni precise della posizione e dell'assetto del veicolo spaziale.

Sentinel-1 funziona in una modalità programmata per evitare conflitti e per produrre un archivio dati coerente a lungo termine costruito per applicazioni basate su serie temporali lunghe [18].

Dettagli della missione:

- **Lancio:** 3 aprile 2014
- **Orbita:** Polare, eliosincrona a un'altitudine di 693 km
- **Intervallo di copertura:** Sentinel-1 è una costellazione di due satelliti che orbitano a una distanza di 180°, fornendo pertanto immagini della Terra intera ogni sei giorni (all'equatore)
- **Strumento:** Radar ad Apertura Sintetica (SAR) in banda C
- **Principali applicazioni:** Monitoraggio dei ghiacci marini, perdite di petrolio, venti marini, onde e correnti, cambiamenti di destinazione del terreno e gestione delle emergenze (ad esempio in caso di inondazioni e terremoti)

Tramite Sentinel Hub EO Browser [19] è possibile visualizzare le immagini SAR più recenti e indicare una precisa zona di interesse al fine di visualizzarla in dettaglio (Figura 2.8).

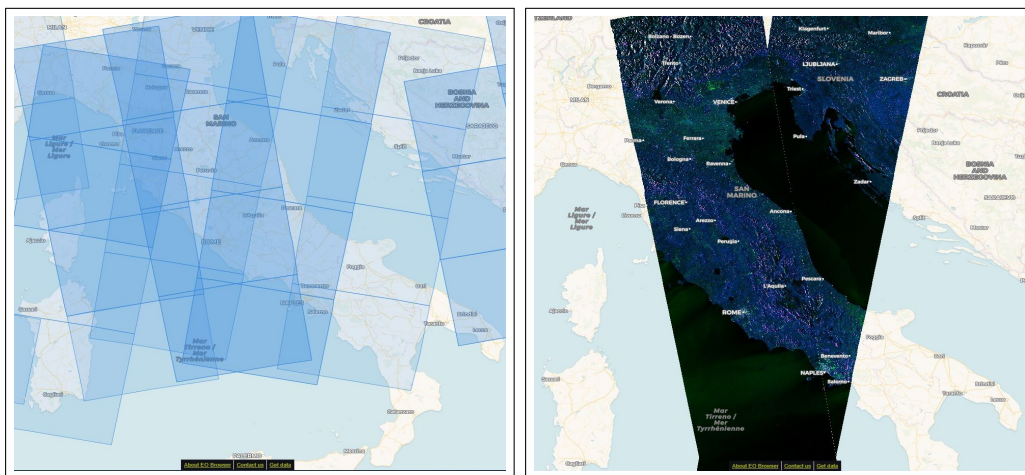


Figura 2.8: Sentinel Hub EO Browser
Fonte: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

La costellazione *Sentinel-1* rappresenta un approccio innovativo alle analisi di immagini *SAR* in risposta diretta alle esigenze operative verso i dati geospaziali richiesti nell'ambito del programma GMES UE-ESA [20].

La missione garantisce la continuità della banda C e permette di selezionare una singola polarizzazione (VV o VH) o una doppia polarizzazione (VV+VH o HH+HV) mantenendo caratteristiche chiave come stabilità, accuratezza e strumenti ben calibrati. Allo stesso tempo sono stati migliorati notevolmente caratteristiche come affidabilità, copertura geografica, dati diffusi rapidamente e la possibilità di reperire dati anche a distanza di molto tempo.

La coppia di due satelliti che condividono lo stesso piano orbitale fornisce quindi, quasi ogni giorno, copertura in tutta Europa indipendentemente dalle condizioni atmosferiche, migliorando così la possibilità di effettuare analisi di immagini *SAR* più frequentemente. Tutto ciò incide positivamente sulla possibilità di effettuare monitoraggi sul mare con maggiore frequenza e facilità.

2.3 AIS & SAR

Impiegare in modo sinergico dati provenienti da fonti diverse, terrestri e spaziali, può permettere di monitorare in maniera efficace le attività marittime e individuare illegalità come il transito e la pesca in aree non consentite.

In tal senso l'integrazione di dati *AIS* (Automatic Identification System) e dati provenienti da immagini *SAR* (Synthetic Aperture Radar) fornisce la possibilità di rilevare ciò che sta accadendo in mare rilevando le navi che non stanno riportando i dati di posizionamento (in modo intenzionale o meno) tramite il sensore *AIS* e convalidare le navi rilevate nelle immagini *SAR* mostrando una corrispondenza con i dati terrestri *AIS* [21].

L'obiettivo che si propone di raggiungere nello studio di tesi è di ottimizzare al meglio i dati *AIS* e *SAR* affinché si possa migliorare la consapevolezza della situazione marina (*MSA: Maritime Situational Awareness*) e l'utilizzo sostenibile degli oceani, mari e risorse marine [22].

A tal fine l'approccio che si andrà ad utilizzare sarà:

- rilevare le imbarcazioni presenti in mare a partire da immagini *SAR* provenienti da *Sentinel-1* utilizzando il software SUMO (Search for Unidentified Maritime Objects);
- importare i dati *AIS* in database geospaziali che ne permettono la visualizzazione e l'analisi;
- effettuare una corrispondenza tra le due fonti di dati al fine di confermare eventuali attività non consentite in mare.

L'integrazione di dati *AIS* e *SAR* permette di colmare i principali problemi delle due differenti tecnologie.

Per quanto riguarda i dati *AIS*, in alcuni casi vengono trasmessi un numero elevato di segnali da diverse navi che, sovrapponendosi, provocano la perdita di alcune informazioni essenziali. Ciò causa la difficoltà di identificare i segnali *AIS* corrispondenti a particolari navi.

Per quanto riguarda i dati provenienti da immagini *SAR* basate su satellite *Sentinel-1*, essi forniscono un'ampia area di copertura per una particolare regione. È possibile stimare le informazioni sulle navi come le dimensioni, la posizione e la velocità. Tuttavia l'acquisizione satellitare di tipo *SAR* è complicata perché esse avviene solo per brevi periodi di tempo, quindi non possono fornire un'informazione continua della situazione marittima [23].

Nei capitoli successivi si mostreranno alcuni software ed algoritmi che permettono di unificare le due tipologie di dati favorendo un solido monitoraggio delle acque e mostrare eventuali attività illegali.

Capitolo 3

Strumenti software

L'impiego sinergico di dati *AIS* e immagini *SAR* può permettere di monitorare in maniera efficace le attività illegali in mare.

Il primo passo è quello di analizzare immagini *SAR* da *Sentinel-1*, utilizzare software specifici per il rilevamento delle imbarcazioni e riportare i dati in appositi database geospaziali. Il secondo passo consiste nel riportare i dati *AIS* nel medesimo database geospaziale e infine trovare una corrispondenza tra i dati provenienti da dispositivi *AIS* e da immagini *SAR*.

In questo capitolo vengono mostrati gli strumenti software che permettono di individuare le imbarcazioni a partire da immagini *SAR* e di riportarle in database geospaziali.

3.1 SUMO

SUMO (*Search for Unidentified Maritime Objects*) è un algoritmo per il rilevamento delle navi nelle immagini satellitari *SAR* (Synthetic Aperture Radar). È stato sviluppato nel corso di oltre 15 anni, utilizzando una grande quantità di immagini *SAR* da quasi tutti i satelliti *SAR* disponibili operanti in banda L, C e X. Come convalidato dai test di benchmark, funziona molto bene su un'ampia gamma di modalità di immagine *SAR* (da Spotlight a ScanSAR) e risoluzioni (da 1 a 100 m) e per tutti i tipi e dimensioni di navi, entro i limiti fisici imposti dal radar imaging.

Questo capitolo descrive, in dettaglio, l'approccio algoritmico in tutte le fasi del rilevamento della nave: mascheramento del terreno, rilevamento del bersaglio, stima degli attributi della nave e una tecnica per diminuire i falsi allarmi.

SUMO è un rilevatore *CFAR* (Constant False Alarm Rate) basato su pixel per immagini radar multi-look. Assume una distribuzione K per il disturbo del mare, corretto tuttavia per le deviazioni del disturbo del mare effettivo da questa distribuzione, implementando un metodo veloce e robusto per la stima del disturbo del mare.

Il raggruppamento dei pixel rilevati in bersagli (navi) utilizza diverse soglie per gestire la distribuzione tipicamente irregolare del backscatter su una nave. In un'immagine multipolare, i diversi canali sono fusi. Le ambiguità azimutali, una fonte comune di falsi allarmi nel rilevamento delle navi, vengono rimosse. Per ogni obiettivo viene calcolato un indicatore di affidabilità. Nella post-elaborazione, utilizzando i risultati di una serie di immagini, vengono rimossi anche falsi allarmi aggiuntivi da target ricorrenti (fissi), comprese le ambiguità di portata.

SUMO può essere eseguito in modalità semiautomatica, dove un operatore può verificare ogni target rilevato. Può anche essere eseguito in modalità completamente automatica, permettendo di eseguire rapidamente numerose analisi.

Il numero di sistemi *SAR* satellitari continua ad aumentare, così come la loro applicazione alla sorveglianza marittima. La politica sui dati aperti del programma europeo *Copernicus*, che include il satellite *Sentinel-1*, ha notevolmente aumentato la disponibilità di immagini *SAR*. Questo lavoro di tesi mira a soddisfare la conseguente domanda più ampia di conoscenze sui rilevatori di navi *SAR* [24].

3.1.1 Software

Il software **SUMO** (*Search for Unidentified Maritime Objects*) è disponibile al download in modo gratuito ed è reperibile dalla Repository di **GitHub** dell'*European Commission* [25]. La versione di **SUMO** utilizzata in questo studio è la **1.3.5**. Una volta scaricato il file **ZIP** (Compressed File) ed estratto, è possibile avviare l'applicazione *SUMO* aprendo il file "*start.bat*" presente nella cartella appena estratta. All'avvio del software *Sumo* il primo step è quello di fornire al programma un'immagine di tipo *SAR* da analizzare. L'immagine *SAR* fornita al programma è infatti l'*Input* del software **SUMO**.

3.1.2 Dati di input

SUMO prende come input principale un'immagine *SAR* e i suoi metadati e produce come output principale un elenco delle navi rilevate con i loro attributi. Per il download delle immagini che forniscono l'input del software *SUMO* si hanno due fonti:

- **Copernicus** [26] fornisce informazioni di riferimento regolari e sistematiche sullo stato fisico, la variabilità e la dinamica del mare, oceani e degli ecosistemi marini [27].



Figura 3.1: Logo Copernicus
Fonte: <https://www.copernicus.eu/en/media>

- **Onda** [28] è una piattaforma che consente agli utenti di ospitare dati e creare le proprie applicazioni nel Cloud promuovendo lo sfruttamento dei dati dei satelliti per l'osservazione della Terra e delle informazioni geospaziali fornendo l'accesso ai servizi per lo sviluppo di nuove soluzioni [29].



Figura 3.2: Logo Onda
Fonte: <https://www.onda-dias.eu/cms/>

3.1.2.1 Copernicus

Il sito internet di *Copernicus* [30] permette di accedere al catalogo di immagini satellitari *SAR* e di filtrare i contenuti specificando:

- L'arco temporale di interesse
- La missione: Sentinel-1, Sentinel-2 e Sentinel-3
- La piattaforma satellitare: S1A e S1B
- Il tipo di prodotto: SLC, GRD e OCN
- La polarizzazione: HH, VV, HV, VH, HH+HV e VV+VH
- La modalità del sensore: SM,IW, EW e WV
- L'area di interesse direttamente dalla mappa satellitare (Figura 3.3)

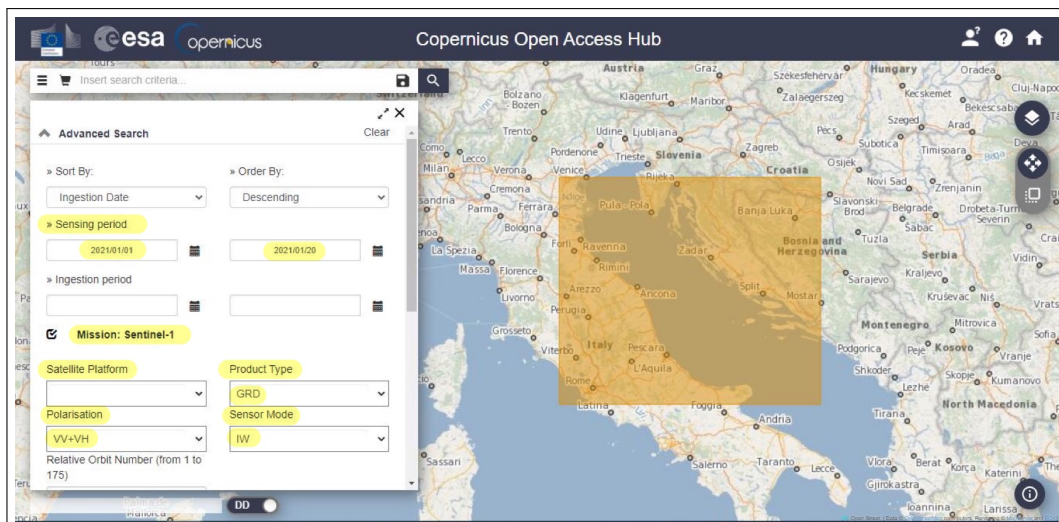


Figura 3.3: Visualizzazione dei filtri applicabili al catalogo di *Copernicus*.

Link al catalogo: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Al fine di processare in maniera ottimale le immagini *SAR* in **SUMO**, i filtri da inserire sono(Figura 3.3):

- Mission: *Sentinel-1*
- Product type: *GRD*
- Polarization: *VV+VH*
- Sensor Mode: *IW*

Una volta effettuata la ricerca è possibile selezionare le immagini di interesse da un elenco dei risultati ottenuti. Selezionare un obiettivo dall'elenco permette di visualizzare l'area corrispondente nella mappa (Figura 3.4).

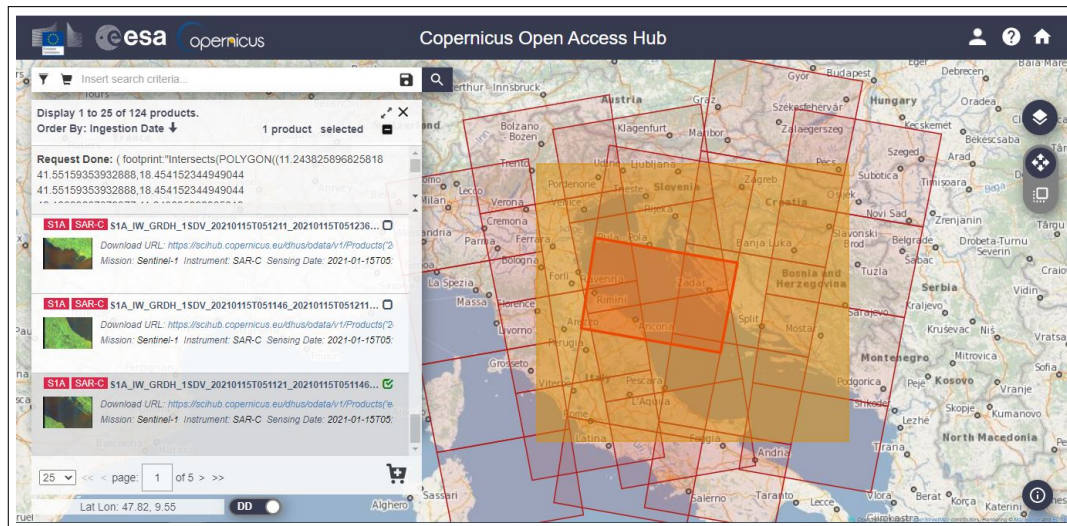


Figura 3.4: Visualizzazione dei risultati rilevati

Link al catalogo: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Dopo aver selezionato l'immagine di interesse è possibile effettuare il download dell'immagine in formato **ZIP**.

Nel caso in cui il prodotto selezionato sia recente è possibile effettuare il download istantaneamente, altrimenti l'immagine desiderata viene aggiunta al carrello e dopo una circa venti minuti è disponibile per il download.

3.1.2.2 Onda

L'applicazione web *Onda* [31] consente di accedere al catalogo di immagini satellitari *SAR* e di filtrare i contenuti specificando:

- L'area d'interesse
- Il periodo di interesse
- La missione: Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, ENVISAT, LANDSAT-8, Copernicus-Land, Copernicus-Marine e Copernicus-Atmosphere
- La piattaforma satellitare: S1A e S1B
- Il tipo di prodotto: SLC, GRD, OCN e RAW
- La modalità del sensore: SM,IW, EW e WV (Figura 3.5).

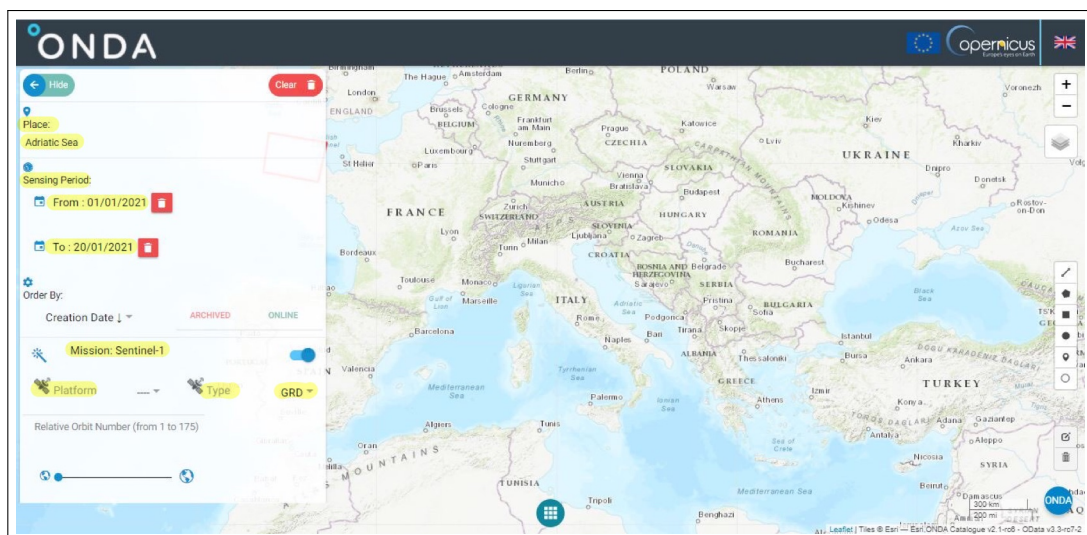
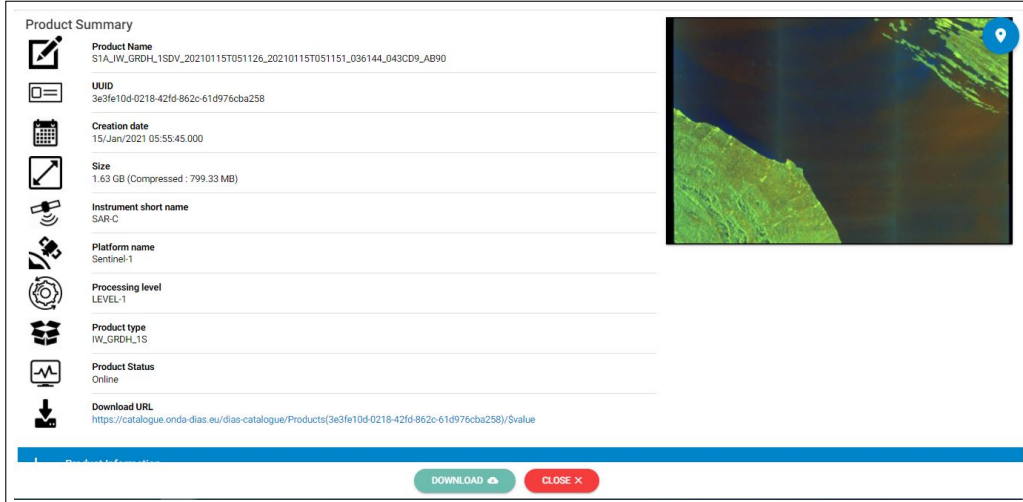


Figura 3.5: Visualizzazione dei filtri applicabili al catalogo di *Onda*

Link al catalogo: <https://catalogue.onda-dias.eu/catalogue/>

Una volta effettuata la ricerca e dopo aver selezionato l'immagine di interesse è possibile visionare i dettagli dell'immagine: nome, data di acquisizione, dimensione ecc. (Figura 3.6). Successivamente è possibile effettuare il download del prodotto desiderato.



The screenshot shows a 'Product Summary' interface with the following details:

- Product Name:** S1A_IW_GRDH_1SDV_20210115T051126_20210115T051151_036144_043CD9_AB90
- UUID:** 3e3fe10d-0218-42fd-862c-61d976cba258
- Creation date:** 15/Jan/2021 05:55:45.000
- Size:** 1.63 GB (Compressed : 799.33 MB)
- Instrument short name:** SAR-C
- Platform name:** Sentinel-1
- Processing level:** LEVEL-1
- Product type:** IW_GRDH_1S
- Product Status:** Online
- Download URL:** [https://catalogue.onda-dias.eu/dias-catalogue/Products\(3e3fe10d-0218-42fd-862c-61d976cba258\)/\\$value](https://catalogue.onda-dias.eu/dias-catalogue/Products(3e3fe10d-0218-42fd-862c-61d976cba258)/$value)

At the bottom of the interface, there are two buttons: 'DOWNLOAD' and 'CLOSE X'. A thumbnail image of the SAR data is visible on the right side of the summary.

Figura 3.6: Visualizzazione dei dettagli di un'immagine di tipo *SAR*
Link al catalogo: <https://catalogue.onda-dias.eu/catalogue/>

3.1.3 Processamento di immagini SAR

Una volta effettuato il download dell'immagine SAR di interesse (dal sito *Copernicus* oppure *Onda*) in formato **ZIP**, il file contenuto nella cartella estratta che andremo a fornire come input al software **SUMO** è nominato "*manifest.safe*". Il software **SUMO** elaborerà l'immagine fino a visualizzarla (Figura 3.7).

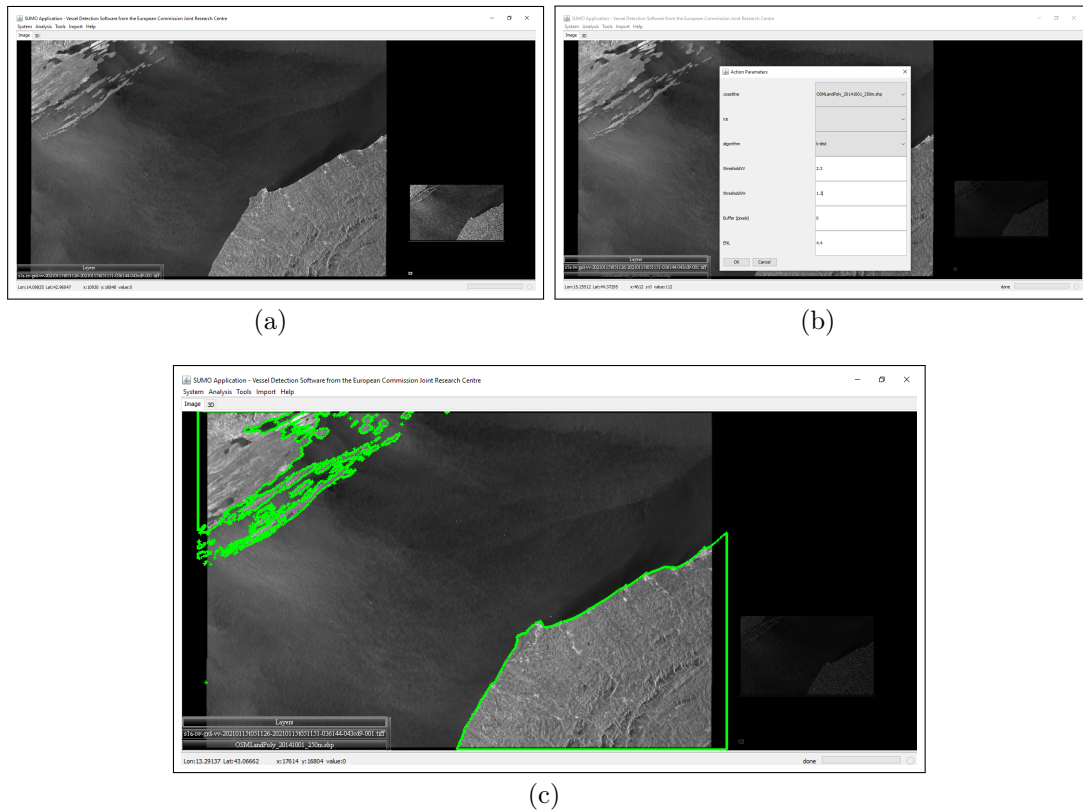


Figura 3.7:

- a) Immagine SAR aperta in SUMO.
- b) Applicazione del vettore di *Coastline* e settaggio di threshold VV: 2.3 e VH: 1.3.
- c) Immagine con coastline e pronta per l'analisi.

In figura 3.7 vengono mostrati i vari passaggi preliminari prima di iniziare l'analisi vera e propria. In seguito all'apertura dell'immagine passando il file "*manifest.safe*", il secondo passaggio è quello di importare un vettore di "*Coastline*" che va a indicare al programma **SUMO** la superficie terrestre presente nell'immagine che deve ignorare durante l'analisi. Nell'esempio in figura 3.7 è stato utilizzato un vettore di 250 metri dalla costa effettiva. L'ultima fase preliminare è quello di indicare le variabili di soglia: *threshold VV* e *threshold VH*. Si è preferito utilizzare dei valori di soglia rispettivamente di 2.3 e 1.3. Ora i settaggi dell'analisi sono pronti e si può avviare l'analisi effettiva. Terminata l'analisi, il software **SUMO** restituirà tutte le imbarcazioni trovate nell'immagine.

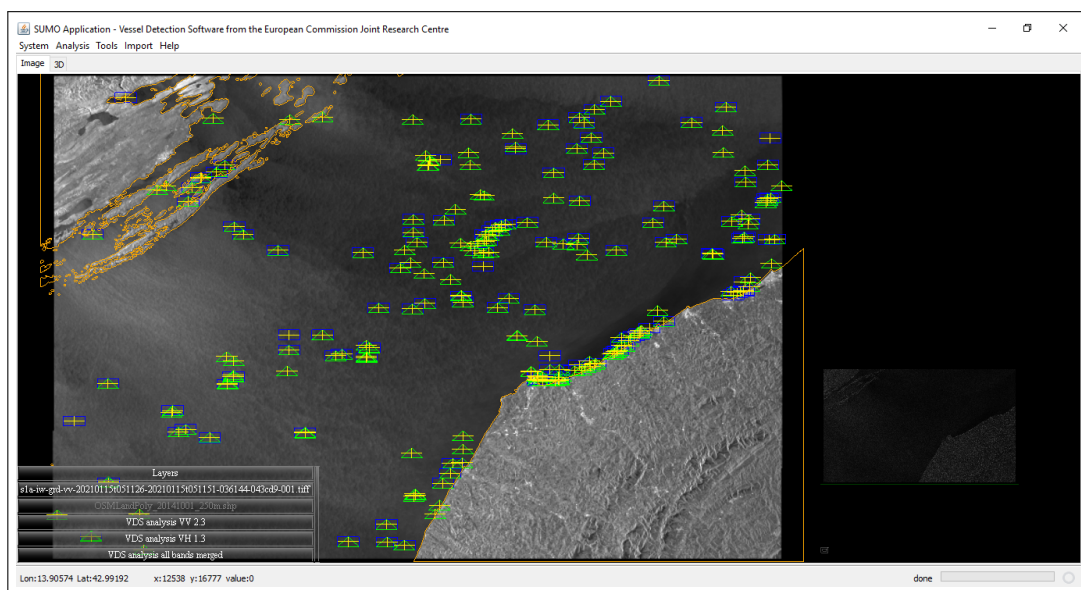


Figura 3.8: *Target* trovati da **SUMO** in polarizzazione *VV* e *VH*. I rettangoli blu rappresentano i *target in banda VV*, i triangoli verdi rappresentano i *target in banda VH* e i *target* gialli rappresentano la fusione delle due bande

Per fornire un risultato più efficace si è optato per prendere come riferimento solo i *target in banda VH* (triangoli verdi) perché sono quelli con meno falsi positivi e più robusti ai rumori del fondale.

I risultati delle analisi di immagini *SAR* con software **SUMO** presentano un elenco di tutti i *target* (imbarcazioni) trovati dal software con le relative caratteristiche: latitudine, longitudine, data, numero di pixel, dimensioni ecc. . **SUMO** permette di salvare i risultati ottenuti dalle analisi in diversi formati: *XML*, *CSV*, *SHP* ecc. .

Affinché i risultati possano essere importati in database geospaziali il formato che si è preferito utilizzare per il salvataggio dei risultati è il *CSV*.

3.2 Database Geospaziali

Immagazzinare i risultati ottenuti dal software *SUMO* è fondamentale affinché si possano effettuare delle analisi approfondite sui dati allo scopo di monitorare le attività illegali in mare.

Per il salvataggio dei risultati ottenuti da *SUMO* si è utilizzato il sistema di database relazionale noto come *PostgreSQL* [32].

3.2.1 *PostgreSQL*

PostgreSQL è un potente sistema di database relazionale a oggetti *open source* che utilizza ed estende il linguaggio *SQL* e combina molte funzioni per immagazzinare e manipolare in totale sicurezza i carichi di lavoro di dati più complessi. L'origine di PostgreSQL può essere fatta risalire al 1986. Fa parte del progetto *POSTGRES* dell'Università della California, Berkeley, ha più di 30 anni di esperienza nello sviluppo attivo sul progetto principale [32].



Figura 3.9: Logo di PostgreSQL.
Fonte: <https://www.postgresql.org/>

PostgreSQL ha una solida reputazione per la sua convalidata architettura, affidabilità, integrità dei dati, robusto set di funzionalità, estensibilità e la dedizione della comunità open source dietro il software per fornire costantemente soluzioni performanti e innovative. *PostgreSQL* funziona su tutti i principali sistemi operativi, è conforme ad ACID [33] dal 2001 e dispone di potenti componenti aggiuntivi come il popolare estensore di database geospaziale **PostGIS** [34] che fornisce tutti gli strumenti necessari per approfondire lo studio di dati geografici quali sono la posizione delle imbarcazioni, la loro struttura, dimensioni ecc.

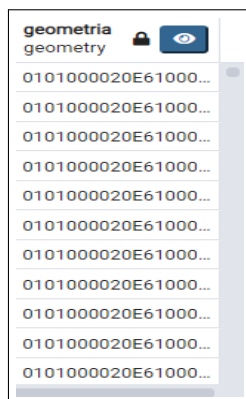
La versione software di *PostgreSQL* utilizzata per lo studio di tesi è la *11.10*, disponibile sul sito ufficiale [35]. Il download mette a disposizione un client web di *PostgreSQL* chiamato **pgAdmin**. *pgAdmin* è la piattaforma di sviluppo e amministrazione open source più popolare e ricca di funzionalità per PostgreSQL [36]. *pgAdmin* permette di creare un database da zero, creare le tabelle ed eseguire operazioni di ottimizzazione sulle stesse. Presenta un feedback sulla creazione delle tabelle per evitare eventuali errori. Sono previste delle funzionalità per l'inserimento dei dati (popolazione del database), per le *query*, per il backup dei dati, ecc.

3.2.2 PostGIS

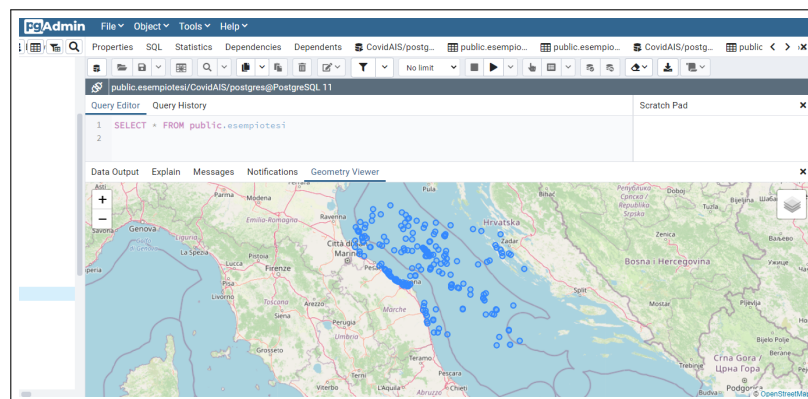
PostGIS [34] è un'estensione del database relazionale a oggetti *PostgreSQL* che consente l'archiviazione di oggetti **GIS** (Geographic Information Systems). *PostGIS* comprende il supporto per gli indici spaziali R-Tree basati su GIST [37], e funzioni per l'analisi e l'elaborazione di oggetti GIS. Aggiunge inoltre il supporto per gli oggetti geografici consentendo l'esecuzione di query sulla posizione in SQL. *PostGIS* permette di ampliare *PostgreSQL* in modo tale da poter immagazzinare, interrogare e manipolare i dati spaziali. È possibile aggiungere l'estensione di *PostGIS* al client web di *pgAdmin*. La versione software di *PostGIS* utilizzata è la 3.1.0, scaricabile sul sito ufficiale [38].

	geom text	lat double precision	lon double precision	id integer	max_value text	tile_average text	tile_std text	threshold text	num_pix double precision	runid text	length double precis
1	POINT ...	44.2912831397381	15.821015205363	0	[0, 0, 239, 0]	[0.0, 0.0, 21.229, ...	[0.0, 0.0, 14...	[0.0, 0.0, 60.9...		39	1611251...
2	POINT ...	44.291286458084	15.8209914365961	1	[0, 0, 248, 0]	[0.0, 0.0, 22.785, ...	[0.0, 0.0, 15...	[0.0, 0.0, 65.0...		87	1611251...
3	POINT ...	44.2912875649677	15.8209835081614	2	[0, 0, 215, 0]	[0.0, 0.0, 22.761, ...	[0.0, 0.0, 15...	[0.0, 0.0, 65.0...		61	1611251...
4	POINT ...	44.2912778833417	15.8210528559893	3	[0, 0, 303, 0]	[0.0, 0.0, 25.564, ...	[0.0, 0.0, 17...	[0.0, 0.0, 72.9...		71	1611251...
5	POINT ...	44.291401141982	15.8208070653797	4	[0, 0, 130, 0]	[0.0, 0.0, 39.325, ...	[0.0, 0.0, 26...	[0.0, 0.0, 113...		16	1611251...
6	POINT ...	44.2913954796806	15.8208476241073	5	[0, 0, 134, 0]	[0.0, 0.0, 38.543, ...	[0.0, 0.0, 28...	[0.0, 0.0, 122...		8	1611251...
7	POINT ...	44.2913931296973	15.8208644568654	6	[0, 0, 124, 0]	[0.0, 0.0, 18.724, ...	[0.0, 0.0, 23...	[0.0, 0.0, 100...		9	1611251...
8	POINT ...	44.2913008068479	15.820886583175	7	[0, 0, 78, 0]	[0.0, 0.0, 26.629, ...	[0.0, 0.0, 18...	[0.0, 0.0, 76.6...		8	1611251...
9	POINT ...	44.2912965407225	15.8209192160781	8	[0, 0, 390, 0]	[0.0, 0.0, 26.059, ...	[0.0, 0.0, 17...	[0.0, 0.0, 74.3...		60	1611251...
10	POINT ...	44.2912885900036	15.8209761659857	9	[0, 0, 294, 0]	[0.0, 0.0, 24.342, ...	[0.0, 0.0, 16...	[0.0, 0.0, 69.7...		72	1611251...
11	POINT ...	44.2912802416735	15.8210359636927	10	[0, 0, 319, 0]	[0.0, 0.0, 21.457, ...	[0.0, 0.0, 14...	[0.0, 0.0, 60.7...		134	1611251...

(a)



(b)



(c)

Figura 3.10: Esempio di importazione del file *CSV* ottenuto dall'elaborazione di SUMO dell'immagine *SAR* oggetto di studio nella sezione 3.1.3 (figura 3.7).

(a) Ogni riga della tabella rappresenta un'imbarcazione e ognuna di esse ha un'informazione geospaziale (figura b) e la relativa raffigurazione (figura c).

Come mostrato in figura 3.10, *PostGIS* consente di gestire in maniera efficace dati di tipo geospaziale. Non si limita a importare e gestire i dati nel database, permette di avere un riscontro pratico dei dati che si stanno gestendo.

PostGIS fornisce molte **funzioni** che permettono di manipolare i dati in maniera robusta. In questo studio ne sono state utilizzate in maniera particolare due:

- **ST_Within**
- **ST_Buffer**

ST_Within è una funzione booleana con una sintassi così definita [39]:

boolean ST_Within(geometry A, geometry B);

Restituisce **true** se la geometria A è completamente contenuta nella geometria B. Affinché questa funzione abbia senso, le geometrie di origine devono essere entrambe della stessa proiezione di coordinate. È chiaro che se **ST_Within (A, B)** è vero e **ST_Within (B, A)** è vero, le due geometrie sono considerate spazialmente uguali.

ST_Buffer è una funzione geometrica con una sintassi così definita [40]:

geometry ST_Buffer(geometry g1, float radius, text buffer_style);

Restituisce un'area di forma e dimensione arbitraria intorno a una geometria che passiamo per argomento (*g1*). Ad esempio:



Figura 3.11: *geometry g1* in questo caso è rappresentato dal cerchietto celeste, il buffer creato è il cerchio con raggio più grande di colore verde.

Fonte: https://postgis.net/docs/ST_Buffer.html

La combinazione delle funzioni **ST_Within** e **ST_Buffer** è fondamentale per gestire al meglio i dati geospaziali di dispositivi *AIS* e immagini *SAR*. La funzione **ST_Buffer** consente di creare un *buffer* della zona di interesse che si desidera controllare da eventuali attività illegali, inserendone la dimensione del raggio e di conseguenza la superficie dell'area che si desidera monitorare. Successivamente, con la funzione **ST_Within**, si può verificare se la figura geometrica relativa a un'imbarcazione è situata all'interno del *buffer* precedentemente creato. In questo modo si può individuare l'eventuale transito di una barca nell'area che si vuole monitorare.

3.2.3 QGIS

QGIS è un'applicazione desktop open source che permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali.

QGIS è un software GIS (Geographic Information System), che permette di analizzare ed editare dati spaziali e di generare cartografia. *QGIS* supporta sia dati vettoriali che *raster* oltre che i principali database spaziali come *PostgreSQL/PostGIS* o *Spatialite*. La forza di *QGIS*, inoltre, è che integra al suo interno gli algoritmi di processing di altri progetti open source, come *GRASS GIS* e *SAGA GIS*, in una interfaccia intuitiva [41].

La versione software di *QGIS* utilizzata è la 3.10.13, disponibile sul sito ufficiale [42].

Nello studio di tesi, il software *QGIS* permette di fornire una visualizzazione delle imbarcazioni trovate a partire da immagini *SAR* e dati *AIS*.

È possibile effettuare un collegamento tra il software *QGIS* e il database geospaziale di *PostgreSQL, PostGis*. Una volta effettuato il collegamento è possibile aprire molteplici tabelle di *PostGis* nello stesso progetto, in modo da effettuare delle analisi approfondite e confrontare dati geometrici provenienti da diverse fonti.

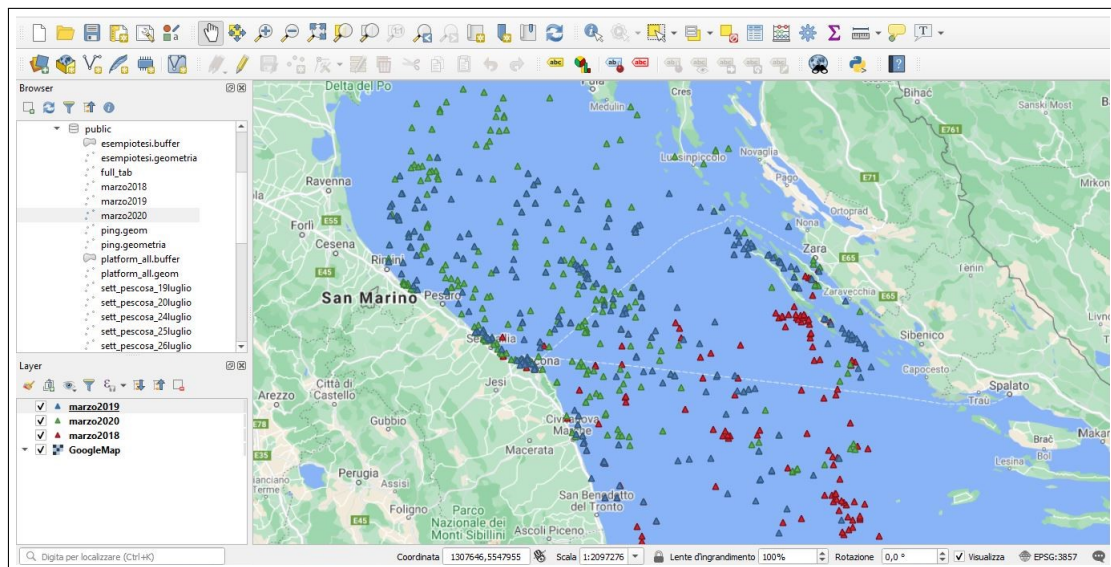


Figura 3.12: Rappresentazione tramite il software *QGIS* di dati provenienti da immagini *SAR* in diversi istanti temporali. In particolare i triangoli rossi, blu e verdi rappresentano i dati presenti in *PostGis* delle imbarcazioni risalenti allo stesso giorni di 3 anni differenti, rispettivamente del 2018, 2019 e 2020.

Il collegamento di *QGIS* al database *PostgreSQL* con estensione *PostGIS*, consente di effettuare delle *query* direttamente all'interno dell'applicazione, nella figura 3.13 viene mostrata la *query* della creazione di un buffer intorno alle imbarcazioni tramite *QGIS*. Ciò consente di rafforzare ulteriormente la sinergia tra i software utilizzati per la gestione di dati geospaziali.

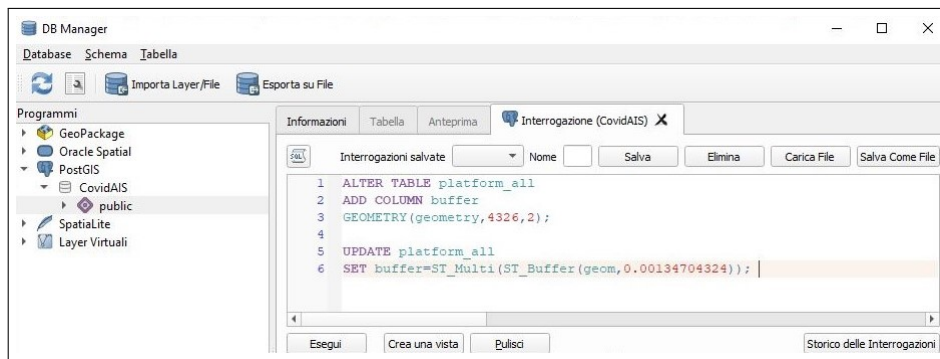


Figura 3.13: Possibilità di eseguire query da *QGIS* su database *PostgreSQL*.

L'insieme dei dispositivi di rilevamento delle imbarcazioni come dati *AIS* e dati provenienti da immagini *SAR*, unitamente agli strumenti software definiti finora come *SUMO*, *PostgreSQL*, *PostGIS*, *QGIS*, permettono di fornire una caratterizzazione completa della posizione delle imbarcazioni e della rappresentazione geometrica di queste ultime.

Il capitolo successivo mostrerà le analisi effettuate mediante i software illustrati, utilizzando in maniera sinergica dati *AIS* e *SAR*, in modo da mostrare la possibile cooperazione tra i vari strumenti. Sarà possibile verificare la posizione delle navi ed eventualmente verificare se sono stati effettuati transiti in aree non consentite e infine trovare una corrispondenza tra i dati *AIS* e *SAR* per attestare la correlazione tra le due fonti.

Capitolo 4

Analisi

I dispositivi e gli strumenti software illustrati nei precedenti capitoli forniscono una base solida per effettuare delle analisi approfondite sulle attività marittime delle imbarcazioni, integrando dati *AIS* e dati derivanti da immagini *SAR*.

In questo capitolo verranno mostrati, utilizzando i dati *AIS* & *SAR* e gli strumenti software illustrati nei precedenti capitoli, gli studi effettuati sul mare e, nello specifico, della posizione delle imbarcazioni in aree non consentite e della differente affluenza di navi in determinate giornate.

In aggiunta agli strumenti precedentemente illustrati, verrà mostrato come sia possibile integrare funzionalmente tutte le fonti disponibili e trovare una corrispondenza tra i dati *AIS* e *SAR* tramite **Python**. *Python* è un linguaggio di programmazione dinamico orientato agli oggetti utilizzabile per molti tipi di sviluppo software. Offre un forte supporto all'integrazione con altri linguaggi e programmi e fornisce un'estesa libreria standard per la gestione di database molto ampi [43]. In questo studio verrà utilizzata in maniera particolare la libreria **Pandas** di *Python*. *Pandas* è uno strumento di analisi e manipolazione dei dati *open-source* veloce, potente, flessibile e facile da usare, costruito sulla base del linguaggio di programmazione *Python* [44].

Le versioni software utilizzate in questo studio sono:

- *Python* alla versione: **3.8.5**
- *Pandas* alla versione: **1.1.3**

4.1 Monitoraggio di aree specifiche

Il primo studio che si vuole affrontare è quello di verificare la posizione delle imbarcazioni in determinate aree geografiche nelle quali non è possibile transitare, come per esempio nelle aree limitrofe alle piattaforme petrolifere.

Una piattaforma petrolifera è un'imponente struttura utilizzata per l'esplorazione di aree marine in cui sono locati potenziali giacimenti di idrocarburi. Allo stesso tempo le piattaforme vengono utilizzate anche per la perforazione di pozzi petroliferi, nel caso sia stata provata l'esistenza del giacimento [45].



Figura 4.1: Piattaforma Angelina, la più antica dell'Adriatico [46].

Le piattaforme presenti nel mar Adriatico sono più di un centinaio. Il transito, e di conseguenza anche la pesca, attorno ai 500 metri è illegale. Le uniche imbarcazioni che possono transitare in tali aree sono quelle adibite allo spostamento degli operai che lavorano sulle piattaforme.

Partendo da un file *CSV*, che contiene un elenco delle piattaforme con le relative caratteristiche come nome, zona, operatore, concessione, minerale, latitudine, longitudine, dimensioni ecc., si può creare un **buffer** di qualche centinaio di metri che circonda la singola piattaforma e vedere se un *Target* (cioè un imbarcazione) rilevato dal software *SUMO* ricade nel buffer di interesse. Infine si vuole constatare una corrispondenza con i dati *AIS* dichiarati dalle stesse imbarcazioni e verificare l'autorizzazione dei movimenti in determinate aree di interesse.

Il primo passaggio è quello di importare in *PostgreSQL* il file *CSV* delle piattaforme presenti nel mar Adriatico e, tramite l'estensione *PostGIS* e l'applicazione *QGIS*, creare un buffer di raggio arbitrariamente grande. Per la creazione del Buffer è stata utilizzata la funzione illustrata nel capitolo 3: **ST_Buffer**.

Il file *CSV* delle piattaforme presenti nell'Adriatico è stato fornito dal sito internet: *EMODnet* [47]. È stato sufficiente creare una tabella in *PostgreSQL* con estensione *PostGIS* e importare i dati geospaziali presenti nel *CSV*.

In figura 4.2 vengono mostrate le prime righe della tabella relativa alle piattaforme.

	objectid integer	n_ integer	id integer	nome_strut text	zona text	entro_IJ text	concessione text	operatore text	minerale text	latitudine double precision	longitudin double precision
1	14	14	175	ANGELA ANGELINA	ZA	SI	A.C 27.EA	ENI	GAS	44.391172	12.343127
2	15	15	176	ANGELA CLUSTER	ZA	SI	A.C 27.EA	ENI	GAS	44.392973	12.344848
3	16	16	177	ANNABELLA	ZA	No	A.C 18.AG	ENI	GAS	44.228781	13.078865
4	17	17	178	ANNALISA	ZA	No	A.C 32.AG	ENI	GAS	44.171042	13.113554
5	18	18	288	ANNAMARIA B	ZA	No	A.C 11.AG	ENI	GAS	44.322576	13.407327
6	19	19	179	ANTARES 1	ZA	SI	A.C 30.EA	ENI	GAS	44.393988	12.444429
7	20	20	180	ANTARES A	ZA	SI	A.C 30.EA	ENI	GAS	44.390057	12.453493
8	21	21	181	ANTONELLA	ZA	SI	A.C 5.AV	ENI	GAS	44.214442	12.776663
9	22	22	283	AQUILA 2	ZF	No	F.C 2.AG	ENI	OLIO	40.930188	18.327114
10	23	23	284	AQUILA 3	ZF	No	F.C 2.AG	ENI	OLIO	40.918159	18.32532

Figura 4.2: Alcune righe e alcune colonne in *PostgreSQL* di dati relativi alle piattaforme presenti nel mar Adriatico.

Una volta importati correttamente i dati geospaziali è possibile utilizzare la funzione *PostGIS* chiamata **ST_Buffer**. I dati relativi alla geometria dei Buffer sono inseriti in una nuova colonna, come mostrato in figura 4.3:

geom	buffer
geometry	geometry
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...
0101000020E6100...	0106000020E6100...

Figura 4.3: Colonne relative ai dati geospaziali delle piattaforme. In particolare "geom" rappresenta il punto creato a partire da latitudine e longitudine che è esattamente il centroide della piattaforma. "buffer" rappresenta l'area limitrofa della piattaforma che si desidera monitorare.

In figura 4.4 viene mostrato il risultato di un buffer attorno alla piattaforma "Angela Angelina".

In maniera analoga sono disposti i buffer attorno a tutte le piattaforme presenti nell'Adriatico.

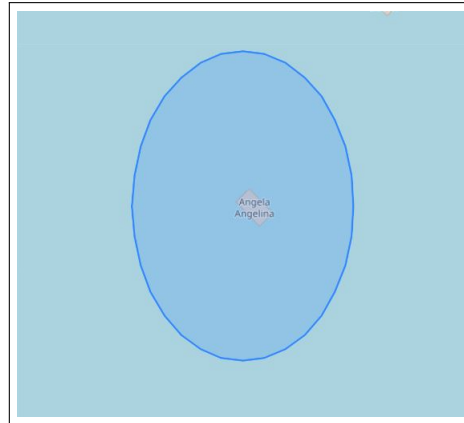


Figura 4.4: Esempio di un Buffer della piattaforma mostrata in figura 4.1 visualizzata tramite *pgAdmin*.

Una volta generato il buffer l'obiettivo è vedere se qualche *target* (imbarcazione) rivelato dal software *SUMO* ricade nell'area che circonda la piattaforma petrolifera. La libreria di **Python** che ci viene incontro è: *Pandas*.

Pandas consente di effettuare un collegamento diretto tra il database geospaziale *PostgreSQL* e l'ambiente di sviluppo, ciò consente di eseguire query complesse in maniera diretta, senza passare per il client di *PostgreSQL*. In questo studio si è rivelato molto produttivo effettuare dei *cicli for* per verificare la posizione di ogni imbarcazione e, nel caso in cui qualcuna di esse si trovasse in uno dei buffer delle piattaforme, è possibile inserirla nel database.

Utilizzando la funzione di *PostGIS*: **ST_Within** è possibile verificare se un target si trova interamente posizionato in un'area di interesse, nel nostro caso il buffer della piattaforma. In caso affermativo, cioè se una barca venisse ritrovata in un buffer, la funzione **ST_Within** riporterebbe "*true*", altrimenti "*false*". Una volta effettuata la verifica, l'insieme dei risultati *booleani* vengono inseriti in una nuova colonna, chiamata "With_in". Il singolo valore per ogni riga sarà "*true*" se il target è stato ritrovato all'interno di un buffer, altrimenti *false*.

```
target_in_platform.py > ...
1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 import psycopg2
4
5
6 con = psycopg2.connect(
7     host="localhost",
8     database="CovidAIS",
9     user="postgres",
10    password="*****")
11
12 cur = con.cursor()
13
14 navi= pd.read_csv("3_VH - Copia (2).csv")
15 piattaforma= pd.read_csv("platform_geom.csv")
16
17 numero_piattaforme=len(piattaforme.geom)
18
19 numero_navi=len(navi.geom)
20
21 for i in range (numero_navi):
22     cur.execute("UPDATE vh SET with_in=ST_Within(geometria,(select buffer from platform_all))")
23
24 con.commit()
25 cur.close()
26 con.close()
27
```

Figura 4.5: Codice Python che verifica se ciascuna imbarcazione trovata dal software SUMO risiede nell'area di qualche piattaforma. Inoltre aggiorna direttamente la colonna *With_in* nella tabella dei target chiamata "VH" impostando a "true" se la barca è situata in una zona limitrofa a una piattaforma, a "false" altrimenti.

Una volta eseguito il codice mostrato in figura 4.5 la colonna "With_in" del database sarà popolata, in questo modo è possibile avere un elenco dettagliato delle imbarcazioni che sono state rilevate nell'area di interesse. Nella prossima sezione vedremo come sia possibile identificare un'imbarcazione cercando una corrispondenza con i dati *AIS*, per poi risalire al codice *MMSI* della nave affinché si possa verificare l'autorizzazione al transito nelle aree circostanti alle piattaforme.

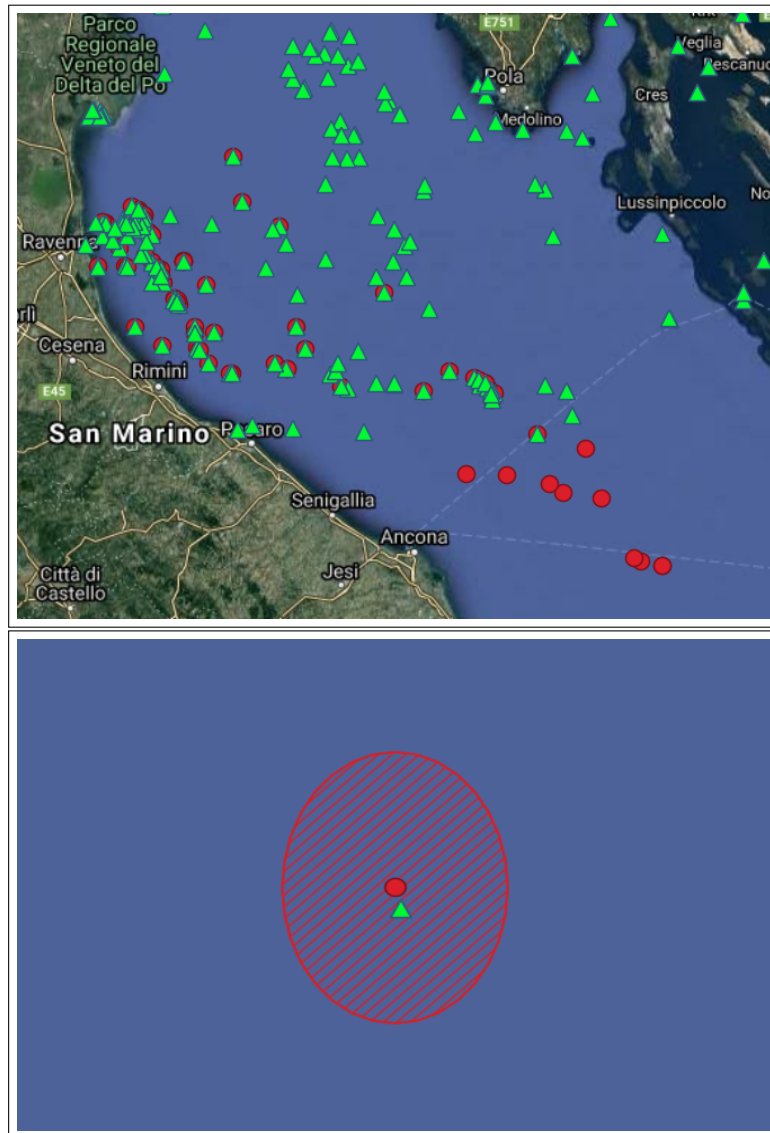


Figura 4.6: La prima immagine rappresentata in QGIS:
I target SUMO (triangoli verdi) e i buffer delle piattaforme (in rosso).
La seconda figura è uno zoom della prima immagine e mostra la presenza di
un'imbarcazione nell'area limitrofa di una piattaforma.

4.2 Matching AIS & SAR

Partendo da un'immagine *SAR* si è riusciti a rintracciare la posizione delle imbarcazioni, in particolare di alcune navi collocate in aree nel quale il transito non è consentito. L'operazione successiva è quella di effettuare una ricerca tra i dati *AIS* per fornire una corrispondenza tra l'immagine *SAR* e il dato *AIS* per finalizzare l'analisi.

I dati *AIS* utilizzati nello studio sono stati forniti dal **CNR** (Consiglio Nazionale delle Ricerche) [48], in particolare dall'Ing. Nora Tasseti e il suo staff.

I dati *AIS* utilizzati per effettuare tale corrispondenza sono racchiusi in un file *CSV* di grande dimensione, ciò non risulta un problema per *PostgreSQL* che è in grado di fare operazioni su vasti database e di conseguenza su tabelle con numerose righe.

La prima operazione è stata quella di importare nel database geospaziale *PostgreSQL* con estensione *PostGIS* il file *CSV* contenente i *Ping AIS* forniti dal *CNR*.

In seguito la strategia di azione è simile a quella utilizzata per le piattaforme, in particolare si prelevano i target *SUMO* che si desiderano controllare per poi effettuare un buffer attorno all'area di interesse. Successivamente si è verificato se i *ping AIS* ricadessero nell'area circostante al target da analizzare. Anche in questo caso si è associata alla tabella dei *ping AIS* un'ulteriore colonna di tipo *Boolean* nominata "With_in". Ciascuna riga della colonna "With_in" restituirà un valore "true" se il dato geografico del *Ping AIS* risiede all'interno del buffer del target *SUMO*, altrimenti il valore è assegnato a "false".

Anche per questa operazione si sono utilizzate in maniera opportuna le due funzioni di *PostGIS*: **ST_Buffer**, **ST_Within**. L'algoritmo della verifica effettiva e dell'aggiornamento del database dei *ping AIS* è stato scritto in Python.

```
matchingAIS > SAR.py > ...
1 import numpy as np
2 import pandas as pd
3 import psycopg2
4
5 con = psycopg2.connect(
6     host="localhost",
7     database="CovidAIS",
8     user="postgres",
9     password="*****")
10
11 cur = con.cursor()
12
13 ping=pd.read_csv("ping.csv")
14 target=pd.read_csv("esempioIesi.csv")
15
16 numero_target=len(target.geom)
17 numero_ping=len(ping.geom)
18
19 cur.execute("UPDATE ping SET with_in=ST_Within(geometria,ST_SetSRID(ST_Buffer(ST_GeomFromText('POINT (13.187216621924343 44.615723564643126)'),0.885),4326))
20
21
22 con.commit()
23 cur.close()
24 con.close()
```

Figura 4.7: Codice Python relativo al matching di dati *AIS* e dati *SAR*.

Di tutte le righe della tabella relativa ai ping *AIS*, *PostGIS* offre la possibilità di estrarre in modo selettivo le righe il cui valore dell'elemento "With_in" risulti "true", diminuendo notevolmente le *tuple* di lavoro.

La seguente *query* permette di selezionare le righe in cui il valore della colonna "With_in" risulti vera:

```
SELECT * from ping where With_in is true
```

La query restituirà tutte le imbarcazioni presenti nel buffer dei target *SUMO* restringendo notevolmente la moltitudine di imbarcazioni oggetto di interesse (Figura 4.8).

mmsi bigint	id integer	datetime timestamp without time zone	latitude double precision	longitudo double precision
247088060	[null]	2020-01-23 22:18:18	43.8788	13.1825
247088060	[null]	2020-01-23 22:26:09	43.8631	13.2066
247088060	[null]	2020-01-23 22:31:36	43.8504	13.2239
247088060	[null]	2020-01-23 22:36:37	43.8387	13.2387
247088060	[null]	2020-01-23 22:42:56	43.8241	13.2571
247088060	[null]	2020-01-23 22:48:38	43.8117	13.2729
247088060	[null]	2020-01-23 22:54:10	43.7985	13.2896
247088060	[null]	2020-01-23 22:59:28	43.786	13.3056
247088060	[null]	2020-01-23 23:04:33	43.7751	13.3194
247088060	[null]	2020-01-23 23:09:35	43.7618	13.3362
247088060	[null]	2020-01-23 23:14:54	43.751	13.3502
247088060	[null]	2020-01-27 00:55:58	43.7787	13.4568
247088060	[null]	2020-01-27 01:01:04	43.7935	13.4541
247088060	[null]	2020-01-27 01:06:58	43.8115	13.4505
247088060	[null]	2020-01-27 01:12:17	43.8274	13.4472
247088060	[null]	2020-01-29 20:16:16	43.9463	13.0781
247088060	[null]	2020-01-29 20:21:24	43.939	13.0864
247088060	[null]	2020-01-29 20:38:39	43.9097	13.1087

Figura 4.8: Tabella dei *ping AIS* dopo la query.

La quantità di navi analizzate sono adesso in un numero molto ridotto, tuttavia non è sufficientemente ristretto da poter trovare una corrispondenza esatta tra *AIS* e *SAR*. Affinché il campo d'azione sia ulteriormente contenuto, cioè si identifichi la nave inizialmente individuata con *SUMO*, va effettuato un ultimo passaggio. Quest'ultimo passaggio consiste nel confrontare il "**datetime**" (mostrato in figura 4.8) dell'individuazione dell'imbarcazione da parte di *SUMO* e della segnalazione del *ping AIS*.

Il dato *AIS* e il dato relativo all'immagine *SAR* hanno così una piena corrispondenza. Si può infine verificare, mediante il codice "MMSI" associato all'imbarcazione, l'identità della stessa, e quindi verificare l'autorizzazione al transito in prossimità di determinate aree in cui il traffico non è liberamente consentito.

4.3 Alcuni studi

In questa ultima sezione verranno mostrati alcuni monitoraggi effettuati sul mar Adriatico in situazioni distinte.

4.3.1 09 Marzo

Il 09 Marzo 2020 è stato un giorno particolare per tutti gli italiani. È la data in cui il premier Conte decide il lockdown generale in tutto il Paese [49].

L'oggetto di studio in questa sezione è quello di osservare come il lockdown abbia inciso anche sulla situazione marittima. A tal fine verranno presi in analisi tre giornate particolari, il 09 Marzo di tre anni differenti: 2018, 2019 e 2020.

Sono state processate, mediante il software *SUMO*, le immagini *SAR* relative alla stessa area geografica dello stesso giorno ma di tre anni differenti. Dalle analisi delle immagini satellitari risulta che nelle giornate del 09 Marzo del 2018 e del 2019 è stata rilevata una quantità di imbarcazioni nettamente differente rispetto al 2020. Sono state create 3 tabelle in *PostgreSQL* e sono state popolate importando il *CSV* ottenuto dal processamento di *SUMO*. Vediamo come nella stessa area e nello stesso giorno di tre anni differenti ci siano quantità di target notevolmente differenti.

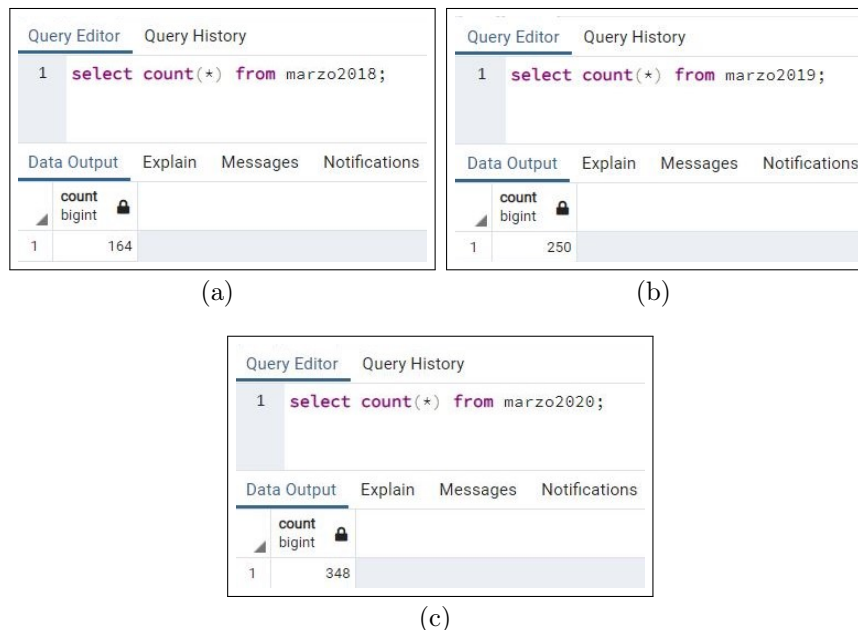


Figura 4.9: Query che effettua un conteggio delle righe, quindi delle imbarcazioni, di ciascuna delle tre tabelle: (a) 09 Marzo 2018, (b) 09 Marzo 2019, (c) 09 Marzo 2020, rispettivamente con **164**, **250**, **348** navi.

I risultati mostrano un aumento del 112% delle imbarcazioni presenti nel mar Adriatico tra il 09 Marzo 2018 e il 09 Marzo 2020. Questo risultato rivela un sostanziale aumento del traffico in mare e probabilmente della pesca nel giorno in cui ci si aspettava un lockdown.

La differente affluenza nei tre anni consecutivi analizzati è illustrata tramite il software QGIS in figura 4.10.

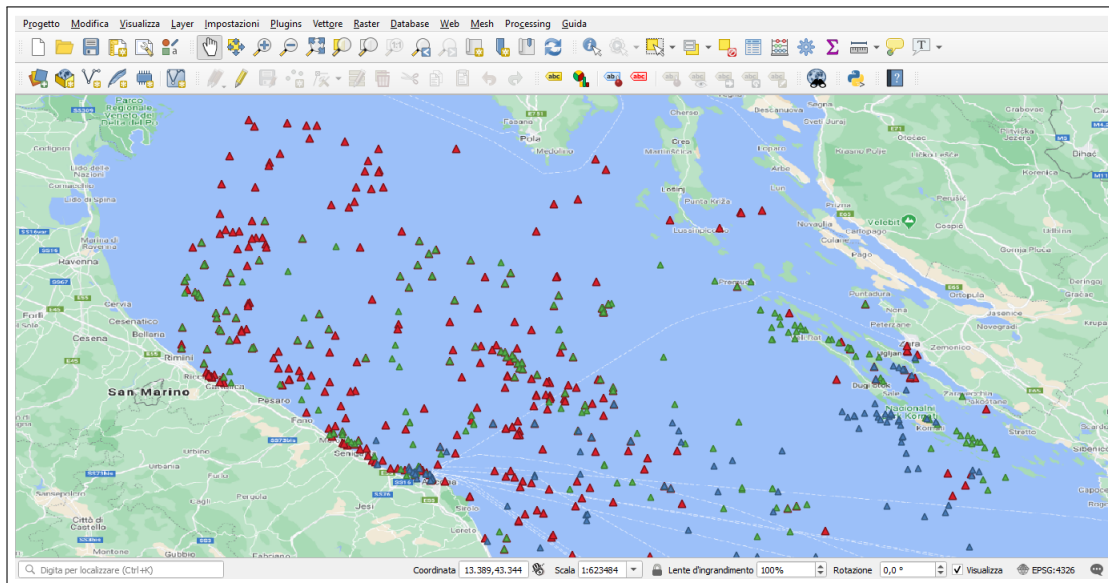


Figura 4.10: Rappresentazione grafica in *QGIS* dei target del **09 Marzo**. I triangoli azzurri rappresentano i target relativi al 2018, i verdi del 2019 e i rossi del 2020.

4.3.2 Settimana più pescosa del 2019

Un altro studio interessante riguarda la settimana più pescosa del 2019. Parliamo dei giorni che vanno dal 19 Luglio al 26 Luglio. Si è analizzata un'immagine *SAR* per ogni giorno della settimana. Si è scelto di considerare un'area specifica, ogni immagine *SAR* presa in considerazione rappresenta la stessa area di interesse ma in giornate differenti. L'area che si è scelto di monitorare è quella a largo di Ancona, mostrata nelle seguente figura:

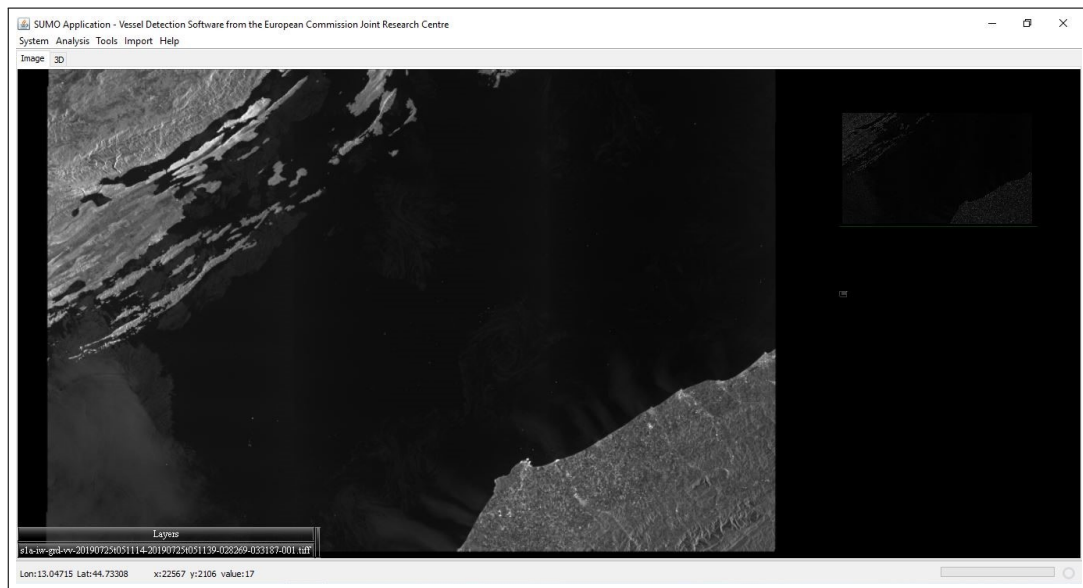


Figura 4.11: Immagine *SAR* visualizzata in *SUMO*. Rappresenta l'area analizzata nello studio della settimana più pescosa del 2019.

L'immagine è stata scaricata dal sito di *Copernicus* [50].

Una volta terminata la ricerca dei target in *SUMO*, i risultati sono stati importati nel database con estensione *PostGIS*. I dati mostrano una quantità di imbarcazioni al di sopra della media. Infatti da *PostGIS* si nota come la quantità di target rilevati dalle immagini *SAR* nella settimana che va dal 19 al 26 Luglio del 2019 sia notevolmente superiore alla media.

Il numero di imbarcazioni si può "contare" grazie alla query nel database *PostGIS*:

```
SELECT count (*) from nome_ Tabella
```

La query restituisce il numero di righe presenti nelle tabelle (è stata popolata una tabella per ogni giorno analizzato della settimana più pescosa).

Ogni riga della tabella rappresenta un'imbarcazione.

La quantità di target rintracciati dal processamento di SUMO, che sono stati successivamente importati in PostGIS, sono riepilogati nella seguente tabella:

19 Luglio 2019	291 target
20 Luglio 2019	243 target
24 Luglio 2019	257 target
25 Luglio 2019	398 target
26 Luglio 2019	230 target

Dalle analisi realizzate è emerso che il picco di imbarcazioni si ha nella giornata del 25 Luglio 2019, con **398** imbarcazioni presenti esclusivamente nell'area rappresentata in figura 4.11. Ci si aspetta quindi un'ingente quantità di navi in tutta l'area complessiva del mar Adriatico.

Nel presente capitolo si è quindi mostrata la possibilità di effettuare il monitoraggio marittimo di aree specifiche. In particolare si è esaminata l'area attorno alle piattaforme petrolifere, il cui transito risulta vietato per le imbarcazioni non autorizzate. In seguito si è dimostrata la possibilità di riconoscere l'eventuale imbarcazione illecita cercando una corrispondenza (*matching*) tra il dato *SAR*, che ci ha permesso di individuare la nave, e il dato *AIS* fornito in modo collaborativo dalla barca stessa. Il *matching* ci permette di avere una conferma del lavoro effettuato e di riconoscere, tramite il codice *MMSI*, l'imbarcazione, consentendo di verificare la propria autorizzazione.

Inoltre sono stati mostrati ulteriori studi, come quello del 09 Marzo e della settimana più pescosa del 2019, evidenziando l'efficacia e la potenzialità degli strumenti software e degli algoritmi utilizzati nello studio.

Capitolo 5

Conclusioni

Nello studio di tesi si è cercato di elaborare un sistema robusto che possa permettere di integrare varie tipologie di dati (AIS e SAR) al fine di monitorare le attività illegali in mare.

A tale scopo si sono inizialmente illustrati i dati collaborativi (forniti dall'AIS) e non collaborativi (forniti da immagini SAR), e i software adoperati per rivelare la posizione delle imbarcazioni. Le navi, tramite delle segnalazioni note come "ping", comunicano la posizione della barca sul quale il dispositivo AIS è situato. L'utilizzo di tale dispositivo non è sufficiente, infatti ci sono casi in cui l'AIS non fa il proprio dovere. Le motivazioni possono essere di diversa natura: spegnimento volontario del sensore, interferenze, eccessivo rumore nel segnale, condizioni atmosferiche non favorevoli ecc. che causano notevoli perdite di informazioni.

Per tale motivo si è scelto di impiegare anche un'altra tipologia di dati, non collaborativo, nota come immagine SAR. Quest'ultima fornisce un sistema satellitare di monitoraggio. Tali immagini provengono dal satellite *Sentinel-1* che, a distanza di tempo, fornisce immagini con polarizzazione VV & VH che possono essere analizzate da software di rilevamento di navi come *SUMO*. Tuttavia anche la fonte satellitare, singolarmente, non fornisce un sistema abbastanza solido. Basti pensare che il satellite, durante la rotazione intorno alla Terra, non può ricoprire completamente la superficie. Infatti, come viene espresso nella sezione 2.2.2, Sentinel-1 fornisce immagini della Terra interamente ogni 6 giorni.

Ciò che si è proposto di fare nello studio è integrare le due fonti di dati: *AIS* e *SAR*. L'integrazione è stata resa possibile grazie all'utilizzo di database geospaziali che ci hanno permesso di immagazzinare e visualizzare i dati *AIS* e *SAR*, in particolare il database noto come *PostgreSQL*. PostgreSQL con estensione *PostGIS* si è rivelato un mezzo robusto per manipolare i dati in collocazioni geografiche precise.

Per completare lo studio e per trovare una corrispondenza effettiva tra il dato *AIS* e il dato proveniente da immagine *SAR* è stata utilizzata in maniera particolare la libreria *Pandas* di *Python*. Alcune operazioni complesse sulle tabelle del database non sarebbero state effettuabili altrimenti.

Sono state mostrate le potenzialità del sistema di integrazione mediante alcuni esempi pratici di applicazione, come il rilevamento di imbarcazioni in prossimità delle piattaforme, studi di giornate particolari come il 09 Marzo 2020 e la settimana più pescosa del 2019.

Identificare l'imbarcazione tramite algoritmi scritti in linguaggio Python e **verificare** l'autorizzazione mediante il codice *MMSI* sono stati due punti chiave per fornire un metodo robusto di monitoraggio di attività illegali in mare.

L'obiettivo cardine dello studio di tesi è stato quello di dimostrare come sia possibile sfruttare le tecnologie che si ha a disposizione oggi giorno affinché si possano difendere le risorse del nostro pianeta, in particolare del mare, che è spesso vittima di un'eccessiva privazione di fonti naturali da parte degli uomini in contesti di illegalità.

Capitolo 6

Appendice

6.1 CSV

CSV è un semplice formato di file utilizzato per memorizzare dati tabulari, come un foglio di calcolo o un database. I file in formato CSV possono essere importati ed esportati da programmi che memorizzano dati in tabelle, come Microsoft Excel, OpenOffice Calc o PostgreSQL.

CSV sta per "comma-separated values", quindi i suoi campi di dati sono spesso separati o delimitati da una virgola.

6.2 GitHub

GitHub è un servizio di hosting per progetti software. Il nome deriva dal fatto che "GitHub" è una implementazione dello strumento di controllo versione distribuito Git.

Il sito è principalmente utilizzato dagli sviluppatori, che caricano il codice sorgente dei loro programmi e lo rendono scaricabile dagli utenti, come il software **SUMO**.

6.3 SQL

SQL (Structured Query Language) è un linguaggio standardizzato per database basati sul modello relazionale (RDBMS), progettato per le seguenti operazioni:

- Creare e modificare schemi di database
- Inserire, modificare e gestire dati memorizzati
- Interrogare i dati memorizzati
- Creare e gestire strumenti di controllo e accesso ai dati

A dispetto del nome, non si tratta perciò di un semplice linguaggio di interrogazio-

ne: alcuni suoi sottoinsiemi, infatti, permettono di creare, gestire e amministrare database.

Bibliografia

- [1] <https://www.esteri.it/mae/it>.
- [2] <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/automatic-identification-system-ais-integrating-and-identifying-marine-communication-channels/>.
- [3] <https://pandas.pydata.org/>.
- [4] <https://docs.continuum.io/anaconda/>.
- [5] <https://www.marinepanservice.com/>.
- [6] <https://www.magellanostore.it/guide-vhf-dsc-e-mmsi-che-cosa-sono.html>.
- [7] <https://www.svb-marine.it/it/categoria/elettronica-gps-sistemi-a-i-s-ricevitori-e-trasmittitori-a-i-s.html>.
- [8] <https://www.svb-marine.it/it/guida/ais.html>.
- [9] <https://www.svb-marine.it/it/guida/nmea-2000.html>.
- [10] Abbas Harati-Mokhtari. Automatic identification system (ais): A human factors approach. pages 2–3, 2003.
- [11] <https://earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>.
- [12] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468013319300622>.
- [13] <https://www.sandia.gov/radar/>.
- [14] <https://www.esa.int/specials/>.
- [15] <http://www.alspergis.altervista.org/lezione/15.html>.
- [16] <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>.
- [17] <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9567>.

- [18] <https://www.onda-dias.eu/cms/it/data/catalogue/sentinel-1/>.
- [19] <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.
- [20] The radar mission for gmes operational land and sea services. *ESA Bulletin 131*, August 2007.
- [21] Carmen Ferrà Anna Nora Tassetti Alessandro Galdelli, Adriano Mancini. Integrating ais and sar to monitor fisheries: a pilot study in the adriatic sea. *2020 IMEKO TC-19 International Workshop on Metrology for the Sea*, July 2020.
- [22] Pasquale Iervolino Lotfi Achiri, Raffaella Guida. Sar and ais fusion for maritime surveillance. *Surrey Space Centre*, September 2018.
- [23] Kazuo Ouchi Sudhir Kumar Chaturvedi, Chan-Su Yang and Palanisamy Shanmugam. Ship recognition by integration of sar and ais. *THE JOURNAL OF NAVIGATION*, September 2012.
- [24] Carlos Santamaria François-Xavier Thoorens Naouma Kourti Harm Greidanus, Marlene Alvarez and Pietro Argentieri. The sumo ship detector algorithm for satellite radar images. *European Commission, Joint Research Centre (JRC), Directorate for Space, Security Migration*, March 2017.
- [25] https://github.com/ec-europa/sumo/releases/tag/sumo_win64_1.3.5.
- [26] <https://www.copernicus.eu/en>.
- [27] <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/marine>.
- [28] <https://www.onda-dias.eu/cms/>.
- [29] <https://www.onda-dias.eu/cms/>.
- [30] <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- [31] <https://catalogue.onda-dias.eu/catalogue/>.
- [32] <https://www.postgresql.org/about/>.
- [33] <https://it.wikipedia.org/wiki/acid>.
- [34] <https://postgis.net/>.
- [35] <https://www.enterprisedb.com/downloads/postgres-postgresql-downloads>.
- [36] <https://www.pgadmin.org/>.
- [37] <https://postgis.net/docs/manual-dev/postgis-it.html>.

-
- [38] <https://postgis.net/install/>.
 - [39] https://postgis.net/docs/st_within.html.
 - [40] https://postgis.net/docs/st_buffer.html.
 - [41] <https://it.wikipedia.org/wiki/qgis>.
 - [42] <https://www.qgis.org/it/site/forusers/download.html>.
 - [43] <https://www.python.it/>.
 - [44] <https://pandas.pydata.org/>.
 - [45] https://it.wikipedia.org/wiki/piattaforma_petrolifera.
 - [46] <https://www.lastampa.it/cronaca/2016/04/15/news/a-ravenna-la-piattaforma-piu-antica-dell-adriatico-1.36591373>.
 - [47] <https://www.emodnet-humanactivities.eu/>.
 - [48] <https://www.cnr.it/>.
 - [49] <https://www.corriere.it/cronache/cards/covid-settimana-marzo-che-cambio-l-italia/9-marzo-lockdown.shtml>.
 - [50] <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

Elenco delle figure

2.1	Esempio di dispositivo AIS. Fonte: https://up42.com/blog/tech/a-complete-guide-to-marine-traffic-tracking-tech-and-ais-data	10
2.2	Visualizzazione di dati AIS utilizzando la libreria <i>Pandas</i> di <i>Python</i>	11
2.3	Marine Traffic . Fonte: https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:16.7/centery:43.5/zoom:7	12
2.4	Rappresentazione delle onde incidenti su differenti superfici Fonte: https://rsde.fbk.eu/research/synthetic-aperture-radar-SAR	15
2.5	Rappresentazione del <i>backscatter</i> parziale, nullo e massimo Fonte: http://www.alspergis.altervista.org/lezione/15.html	16
2.6	Esempio di immagine radar Sentinel-1A, banda C e polarizzazione VH. Fonte: https://scihub.copernicus.eu/dhus/	16
2.7	Sentinel-1. Fonte: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/	18
2.8	Sentinel Hub EO Browser Fonte: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/	19
3.1	Logo Copernicus Fonte: https://www.copernicus.eu/en/media	25
3.2	Logo Onda Fonte: https://www.onda-dias.eu/cms/	25
3.3	Visualizzazione dei filtri applicabili al catalogo di <i>Copernicus</i> . Link al catalogo: https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	26
3.4	Visualizzazione dei risultati rilevati Link al catalogo: https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	27
3.5	Visualizzazione dei filtri applicabili al catalogo di <i>Onda</i> Link al catalogo: https://catalogue.onda-dias.eu/catalogue/	28
3.6	Visualizzazione dei dettagli di un'immagine di tipo <i>SAR</i> Link al catalogo: https://catalogue.onda-dias.eu/catalogue/	29
3.7	a) Immagine <i>SAR</i> aperta in SUMO. b) Applicazione del vettore di <i>Coastline</i> e settaggio di threshold VV: 2.3 e VH: 1.3. c) Immagine con coastline e pronta per l'analisi.	30
3.8	<i>Target</i> trovati da SUMO in polarizzazione <i>VV</i> e <i>VH</i> . I rettangoli blu rappresentano i <i>target in banda VV</i> , i triangoli verdi rappresentano i <i>target in banda VH</i> e i <i>target</i> gialli rappresentano la fusione delle due bande	31
3.9	Logo di PostgreSQL. Fonte: https://www.postgresql.org/	32

3.10	Esempio di importazione del file <i>CSV</i> ottenuto dall'elaborazione di SUMO dell'immagine <i>SAR</i> oggetto di studio nella sezione 3.1.3 (figura 3.7). (a) Ogni riga della tabella rappresenta un'imbarcazione e ognuna di esse ha un'informazione geospaziale (figura b) e la relativa raffigurazione (figura c).	33
3.11	<i>geometry g1</i> in questo caso è rappresentato dal cerchietto celeste, il buffer creato è il cerchio con raggio più grande di colore verde. Fonte: https://postgis.net/docs/ST_Buffer.html	34
3.12	Rappresentazione tramite il software <i>QGIS</i> di dati provenienti da immagini <i>SAR</i> in diversi istanti temporali. In particolare i triangoli rossi, blu e verdi rappresentano i dati presenti in PostGis delle imbarcazioni risalenti allo stesso giorni di 3 anni differenti, rispettivamente del 2018, 2019 e 2020.	36
3.13	Possibilità di eseguire query da <i>QGIS</i> su database <i>PostgreSQL</i>	37
4.1	Piattaforma Angelina, la più antica dell'Adriatico [46].	40
4.2	Alcune righe e alcune colonne in <i>PostgreSQL</i> di dati relativi alle piattaforme presenti nel mar Adriatico.	41
4.3	Colonne relative ai dati geospaziali delle piattaforme. In particolare "geom" rappresenta il punto creato a partire da latitudine e longitudine che è esattamente il centroide della piattaforma. "buffer" rappresenta l'area limitrofa della piattaforma che si desidera monitorare.	41
4.4	Esempio di un Buffer della piattaforma mostrata in figura 4.1 visualizzata tramite <i>pgAdmin</i>	42
4.5	Codice Python che verifica se ciascuna imbarcazione trovata dal software SUMO risiede nell'area di qualche piattaforma. Inoltre aggiorna direttamente la colonna <i>With_in</i> nella tabella dei target chiamata "VH" impostando a "true" se la barca è situata in una zona limitrofa a una piattaforma, a "false" altrimenti.	43
4.6	La prima immagine rappresenta in <i>QGIS</i> : I target SUMO (triangoli verdi) e i buffer delle piattaforme (in rosso). La seconda figura è uno zoom della prima immagine e mostra la presenza di un'imbarcazione nell'area limitrofa di una piattaforma.	44
4.7	Codice Python relativo al matching di dati <i>AIS</i> e dati <i>SAR</i>	46
4.8	Tabella dei <i>ping AIS</i> dopo la query.	47
4.9	Query che effettua un conteggio delle righe, quindi delle imbarcazioni, di ciascuna delle tre tabelle: (a) 09 Marzo 2018, (b) 09 Marzo 2019, (c) 09 Marzo 2020, rispettivamente con 164 , 250 , 348 navi.	48
4.10	Rappresentazione grafica in <i>QGIS</i> dei target del 09 Marzo . I triangoli azzurri rappresentano i target relativi al 2018, i verdi del 2019 e i rossi del 2020.	49

4.11 Immagine <i>SAR</i> visualizzata in <i>SUMO</i> . Rappresenta l'area analizzata nello studio della settimana più pescosa del 2019. L'immagine è stata scaricata dal sito di <i>Copernicus</i> [50].	50
--	----

Capitolo 7

Ringraziamenti

In questa ultima sezione vorrei ringraziare tutti coloro che hanno partecipato, in parte o completamente a questo percorso.

In primo luogo vorrei ringraziare il relatore della mia tesi, il Dottor Adriano Mancini, per l'affascinante e coinvolgente argomento proposto e per la completa disponibilità durante questi ultimi mesi del mio percorso. Inoltre vorrei ringraziare il correlatore Alessandro Galdelli per il suo aiuto fondamentale nelle analisi effettuate nello studio di tesi.

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori che mi hanno sempre appoggiato e che non mi hanno mai fatto mancare nulla. A papà che ha sempre creduto in me, prima ancora che iniziassi a crederci anche io, a mamma che si fa sempre in quattro per aiutarmi. Grazie perché mi avete aiutato nei momenti più difficili e nei periodi più bui nei quali mi sono perso. Non sarebbe stato lo stesso altrimenti. Grazie a mia sorella Ilaria, la persona che più mi conosce e che riesce sempre a mettermi allegria. Grazie per esserci sempre quando ne ho bisogno e per aiutarmi continuamente.

Una dedica speciale va a nonna Concetta e a chi non c'è più.. grazie per l'incoraggiamento e per la fiducia. Grazie anche a zio Matteo per le spiegazioni essenziali e per le idee originali che mi ha dato per la tesi.

Grazie a Feli, mio cugino, coinquilino e soprattutto amico per essere la mia spalla da sempre e specialmente negli ultimi anni.

Grazie a Daniele, Filippo, Pasquale, Michele e Nicola che da dieci anni e anche più ci sono sempre, nonostante io non sia stato sempre presente. Grazie a Gengio che, tra un insulto e l'altro, mi ha dato la giusta motivazione e ci ha sempre creduto. Grazie a Ciuco che dall'inizio alla fine è sempre stata al mio fianco e mi ha dato le giuste dritte. Grazie a Nicolino che è sempre disponibile per qualsiasi cosa e che mi appoggia in tutto.

Grazie anche a Vittoria, Davide, Evelyn, Dalila, Angela, Carmen, Mariapia e Adriana. Insieme formiamo un gruppo stupendo.

Agli amici dell'università: Luca, Lucrezia, Claudio, Laura e Matteo. Nonostante vi conosca da pochi anni siete molto importanti, questi anni universitari non sarebbero stati così divertenti senza di voi.

Non sono bravo con i discorsi e con i ringraziamenti ma apprezzate lo sforzo, ho cercato di ringraziare tutti coloro che hanno fatto parte del mio percorso e che vorrei che ci siano anche in futuro. L'università è stata una sfida, mi ha dato la possibilità di mettermi alla prova e posso dire con certezza che se si crede fino in fondo a ciò che si fa si possono realizzare tutti i sogni. Non avrei mai creduto di potercela fare ed è anche merito di tutti voi. Semplicemente grazie.