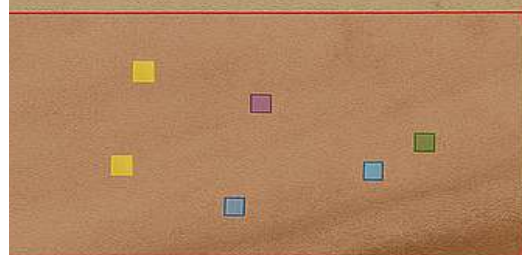


MLT: UN TEMPLATE QGIS PER MONITORAGGIO DI MARINE LITTER DA FOTOGRAMMETRIA AEREA

RAPPORTO TECNICO

Marco Paterni ⁽¹⁾, Marina Locritani⁽²⁾, Luciano Massetti ⁽³⁾,
Silvia Merlino⁽⁴⁾

- (1) IFC – Istituto di Fisiologia Clinica
- (2) INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- (3) IBE – Istituto per la BioEconomia
- (4) ISMAR - Istituto di Scienze Marine,



I droni stanno rivoluzionando il monitoraggio del marine litter, offrendo una prospettiva aerea ad altissima risoluzione che permette di individuare rifiuti anche molto piccoli lungo tratti costieri estesi. La possibilità di sorvolare aree difficilmente accessibili rende questi strumenti fondamentali per ottenere dati omogenei, ripetibili e privi dell'errore umano tipico delle rilevazioni a terra. Attraverso la fotogrammetria, le immagini acquisite vengono trasformate in ortomosaici accurati che documentano lo stato reale dell'ambiente costiero. Quando questi dati vengono integrati in un sistema GIS, si arricchiscono di attributi spaziali e diventano informazioni strutturate su cui eseguire analisi quantitative, confronti temporali e calcoli statistici.

L'unione tra droni e GIS consente di mappare con precisione la distribuzione del marine litter, identificare pattern di accumulo, monitorare l'evoluzione del fenomeno e supportare decisioni informate per interventi di pulizia e prevenzione. Questa sinergia tecnologica trasforma semplici immagini in una base solida per la ricerca scientifica e la gestione responsabile degli ecosistemi marini.

“La tecnologia ci dà la possibilità di osservare ciò che prima era invisibile. Sta a noi usarla per proteggere, non per distruggere.”

Jacques-Yves Cousteau

Sommario

1 INTRODUZIONE.....	5
1.1 Contesto generale e rilevanza del monitoraggio del marine litter	5
1.2 Evoluzione delle tecniche di rilievo e ruolo della fotogrammetria da drone	5
1.3 Necessità di strumenti GIS standardizzati	6
1.4 Obiettivi del template QGIS MLT	6
2 STRUTTURA GENERALE	7
2.1 Elementi.....	7
2.2 Dataset raster (orto.tif)	7
2.3 Il Geopackage (Geopack.gpkg)	8
2.3.1 Tabella “Categorie”	8
2.3.2 Tabella “Tipologia”	8
2.3.3 Tabella “Colore”	10
2.3.4 Tabella “Materiale”	10
2.4 Sistema di classificazione	11
2.4.1 Struttura gerarchica	11
2.4.2 Coerenza e standardizzazione	11
2.4.3 Supporto alle analisi spaziali e temporali.....	12
2.4.5 Integrazione con standard e protocolli	12
2.4.6 Ruolo nel workflow operativo.....	12
2.5 Mappa di background	12
3. Mappatura dei marine litter.....	13
3.1 Obiettivi della mappatura	13
3.2 Interpretazione visiva dell’ortomosaico.....	13
3.3 Selezione degli oggetti	14
3.4 Attribuzione e compilazione degli attributi	17
3.5 Esportazione dei dati.....	18
3.6 Tecniche di supporto alla digitalizzazione	19
3.7 Validazione interna.....	19
3.8 Produzione di indicatori	20
3.9 Workflow riassuntivo	22

4. CONCLUSIONI	23
4.1 Punti di forza del template	23
4.2 Impatti operativi e scientifici	23
4.3 Benefici dell'utilizzo degli ortomosaici da drone	23
4.4 Limiti e considerazioni	24
4.5 Possibili sviluppi futuri	24
4.6 Sintesi finale	24
BIBLIOGRAFIA	25
Repository per condivisione	26
CONTATTI	26

1 INTRODUZIONE

Si presenta in questo capitolo il contesto ambientale e tecnologico del monitoraggio del marine litter, spiegando il ruolo dei droni e la necessità di strumenti GIS standardizzati per l'analisi degli ortomosaici. Vengono inoltre descritti gli obiettivi del template QGIS sviluppato e la struttura complessiva del documento.

1.1 Contesto generale e rilevanza del monitoraggio del marine litter

Il problema dei rifiuti marini (marine litter) è riconosciuto a livello globale come una delle principali minacce per l'ambiente costiero e marino. La dispersione di materiali plastici, vetro, metalli, gomma, tessuti e altri manufatti antropici compromette il funzionamento degli ecosistemi, riduce la qualità del paesaggio, aumenta i rischi per la fauna marina e genera impatti economici significativi sulle attività legate al turismo e alla pesca.

Nel contesto europeo, la Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (MSFD 2008/56/CE) impone agli Stati Membri l'adozione di programmi di monitoraggio dei marine litter, favorendo l'armonizzazione delle metodologie e la produzione di dati confrontabili.

1.2 Evoluzione delle tecniche di rilievo e ruolo della fotogrammetria da drone

Tradizionalmente, il monitoraggio del marine litter si è basato su ispezioni visuali in campo e su raccolte manuali di dati. Sebbene queste tecniche siano ancora fondamentali, esse risultano spesso laboriose, dispendiose in termini di tempo e non sempre ripetibili con elevata accuratezza spaziale. L'avanzamento delle tecnologie di telerilevamento ha ampliato le possibilità operative, in particolare grazie all'impiego di droni (UAS/SAPR), capaci di acquisire immagini ad alta risoluzione con grande rapidità e copertura di aree estese. Le elaborazioni fotogrammetriche – ortomosaici, DSM e modelli tridimensionali – permettono di:

- osservare la superficie delle spiagge con dettaglio centimetrico;
- identificare e geolocalizzare oggetti potenzialmente riconducibili a rifiuti;
- ripetere i rilievi nel tempo con elevata coerenza metrica;
- integrare i dati in flussi GIS per successive analisi quantitative.

Questa metodologia risulta particolarmente efficace per monitoraggi sinottici, confronti interstagionali e valutazioni su aree difficilmente raggiungibili.

1.3 Necessità di strumenti GIS standardizzati

L'analisi di ortomosaici ad alta risoluzione richiede un approccio strutturato, basato su procedure digitali e geografiche che garantiscano precisione e replicabilità. Tuttavia, l'interpretazione dei rifiuti da immagini aeree presenta alcune criticità:

- variabilità nelle condizioni di luce e nella texture della spiaggia;
- potenziali limiti nel distinguere piccoli oggetti o materiali parzialmente coperti;
- inconsistenza nei criteri di classificazione adottati da operatori diversi.

Per rispondere a queste sfide è necessario disporre di un template GIS che:

1. **standardizzi il workflow** dalla lettura dell'ortomosaico alla digitalizzazione degli oggetti;
2. **definisca classi di rifiuti coerenti con le principali linee guida** (es. MSFD, UNEP, OSPAR, linee guida ISPRA);
3. **assicuri uniformità dei dati prodotti** attraverso campi attributo, simbologie univoche e layout di progetto preconfigurati;
4. **sia facilmente utilizzabile da tecnici e operatori di monitoraggio**, anche senza elevate competenze GIS.

1.4 Obiettivi del template QGIS MLT

Il template QGIS **MLT** (**M**arine **L**itter **T**emplate) illustrato in questo report è stato sviluppato per supportare le attività di identificazione, conteggio e classificazione del marine litter a partire da ortomosaici ottenuti mediante rilievi fotogrammetrici con drone.

Le principali finalità del template sono:

- fornire uno **spazio di lavoro già configurato**, ottimizzato per l'analisi visiva dei rifiuti;
- mettere a disposizione **layer vettoriali specifici** (puntuali, lineari o poligonali) per la digitalizzazione degli oggetti;
- includere **campi attributo codificati**, utili a garantire uniformità nella classificazione;
- integrare una **simbologia dedicata**, pensata per distinguere rapidamente le principali categorie di litter;
- predisporre **strumenti di misura, filtri e layout di esportazione**, per facilitare la produzione di report e database interoperabili.

2 STRUTTURA GENERALE

Questo capitolo illustra la struttura del template utilizzato per l'analisi dei marine litter, sono descritti gli elementi costituenti e le loro funzionalità.

2.1 Elementi

Il progetto è composto da:

- **un raster base (ortomosaico)** utilizzato per la fotointerpretazione
- **layer vettoriali** organizzati nel geopackage `Geopack.gpkg`
- **una mappa di background** OSM per contestualizzazione

Questa struttura rende il template facilmente portabile, scalabile e riutilizzabile in studi diversi.

2.2 Dataset raster (orto.tif)

L'ortofoto costituisce il cuore visivo del template, rappresentando la base di riferimento su cui vengono identificati, interpretati e mappati gli oggetti di marine litter. Nel progetto, il file `orto.tif` è un ortomosaico generato tramite tecniche di fotogrammetria a partire da immagini acquisite con drone. Questo prodotto combina un'elevata risoluzione spaziale con un'accurata georeferenziazione, consentendo un'analisi dettagliata del territorio costiero.

L'ortomosaico permette di osservare in modo uniforme tratti di litorale anche estesi, mantenendo coerenza cromatica e geometrica tra le singole immagini originarie. La risoluzione tipica (1–3 cm/pixel) consente di distinguere piccoli oggetti come bottiglie, tappi, pezzi di polistirolo, frammenti colorati e altri rifiuti marini che a distanza ravvicinata risulterebbero invisibili.

Per ottenere prestazioni ottimali, l'ortofoto deve presentare:

- **elevata nitidezza**, utile all'individuazione degli oggetti;
- **correzione geometrica accurata**, per garantire misure affidabili;
- **assenza di distorsioni**, fondamentale nelle aree costiere irregolari;
- **omogeneità luminosa**, così da evitare falsi positivi in analisi automatizzate;
- **coerenza metrica**, indispensabile per analisi spaziali e calcolo distanze o superfici.

Grazie a queste caratteristiche, l'ortomosaico non è soltanto un elemento visivo, ma uno strumento scientifico essenziale, che consente al GIS di diventare una piattaforma quantitativa per lo studio e il monitoraggio del marine litter.

2.3 Il Geopackage (Geopack.gpkg)

Il geopackage rappresenta il fulcro informativo del template QGIS, raccogliendo in un unico file tutte le strutture vettoriali, i domini di classificazione e gli elementi necessari alla catalogazione del marine litter. Si tratta di un formato moderno, compatto e conforme agli standard OGC, che consente una gestione ordinata e coerente dei dati.

Al suo interno sono presenti diverse tabelle. La tabella principale (marine litter) contiene tutti i dati che descrivono il rifiuto. Ogni rifiuto è descritto da informazioni geospaziali, che sono fornite automaticamente dal GIS durante la digitalizzazione del rifiuto, e altri definiti dall'operatore con l'ausilio di tabelle che definiscono le *classificazioni simboliche* (Categorie, Materiale, Colore, Tipologia). Questa organizzazione garantisce uniformità semantica, riutilizzabilità e robustezza nelle analisi.

2.3.1 Tabella “Categorie”

La tabella **Categoria** contiene l'elenco delle macro-categorie di rifiuti utilizzate per una prima classificazione ad alto livello. È una struttura essenziale per aggregare i rifiuti in grandi gruppi omogenei.

Colonne:

- `fid` – identificatore interno
- `Id` – codice numerico della categoria
- `Descrizione` – descrizione testuale della categoria

Contenuto:

- Frammenti
- Contenitori e oggetti monouso
- Materiali da barca/pesca e imballaggio
- Oggetti sanitari
- Abbigliamento
- Altre tipologie

2.3.2 Tabella “Tipologia”

La tabella **Tipologia** elenca le tipologie specifiche di rifiuti, fornendo la granularità più fine della classificazione.

Colonne:

- `Identificativo`
- `descrizione` dettagliata dell'oggetto (es. rete da pesca, tanica, frammento rigido, tappo)
- `collegamenti` con livelli superiori

Contenuto in relazione ai collegamenti con i livelli superiori (categoria):

Categoria	Tipologia
Frammenti	Pezzo di materiale per cui non distinguibile l'oggetto da cui proviene
Contenitori e oggetti monouso	Bottiglie (interi o frammenti)
	Contenitori detersivi o simili (interi o frammenti)
	Bidoni, taniche, secchi, vasi da fiori (interi o frammenti)
	scatole, cartoni (interi o frammenti)
	tappini ed anelli da bottiglia di bibita
	tappi o coperchi di contenitori (interi o frammenti)
	bombolette spray
	lattine/latte per cibi o bevande di metallo (interi o frammenti)
	Stoviglie, piatti, tazze e bicchieri,i (interi o frammenti)
	cassette (interi o frammenti)
	forchette, bastoncini, cannucce, bacchette (interi o frammenti)
	Altri contenitori non definiti (interi o frammenti)
	Altri oggetti da pesca o da imbarcazione (interi o frammenti)
Materiali da barca/pesca e imballaggio	Pezzi di reti da pesca, lenze, galleggianti
	retine mitilicoltura (interi o frammenti)
	boe (interi o frammenti)
	cassette (interi o frammenti)
	cordame nautico
	sacchetti (interi o frammenti)
	Imballaggio: corde, fili, nastri, involti, reticelle (interi o frammenti)
	Altri tipi di oggetti per imballaggio (interi o frammenti)
	Altri oggetti da pesca o da imbarcazione (interi o frammenti)
	Altri oggetti da pesca o da imbarcazione (interi o frammenti)
Oggetti sanitari	mascherine
	Cotton fioc
	guantini
	siringhe
	flaconcini medicine (interi o frammenti)
	Altri tipi di oggetti sanitari (interi o frammenti)
Abbigliamento	scarpe, ciabatte, stivali, zoccoli (interi o frammenti)
	guanti (interi o frammenti)
	cinture, borse, cappelli o resti di abiti, giacche, ecc. (riconoscibili)
	Altri tipi di oggetti da abbigliamento non definiti
	Lampadine (anche rotte) di vario tipo
Altre tipologie	Bancali in legno/legno lavorato (interi o frammenti)
	accendini
	Ruote auto
	Giornali, fogli di carta (interi o frammenti)
	Materiale edile/ceramico (interi o frammenti)
	elettrodomestici
	reti metalliche
	tubi
	fili elettrici
	Giochi (palloni, soldatini, frammenti di giocattoli), interi o frammenti
	Altri oggetti non classificati o non riconoscibili (interi o frammenti)

2.3.3 Tabella “Colore”

La tabella **Colore** classifica i rifiuti sulla base del loro colore principale, un'informazione fondamentale per:

- facilitare l'individuazione visiva su ortomosaico
- supportare eventuali algoritmi di riconoscimento automatico
- eseguire analisi sulla visibilità e sul degrado dei materiali

Colonne:

- fid
- IdColore
- ColoreDesc – descrizione del colore

Contenuti:

- Trasparente
- Bianco
- Blue
- Celeste
- Giallo
- Grigio
- Marrone
- Nero
- Rosa
- Rosso
- Verde
- Viola
- Non definito

2.3.4 Tabella “Materiale”

La tabella **Materiale** raccoglie le informazioni sulla natura fisica dei rifiuti, permettendo studi su degradabilità, persistenza e origini probabili.

Colonne:

- fid
- Id – identificatore del materiale
- Descrizione – tipo di materiale

Contenuti:

- cartone/carta
- ceramica
- cuoio
- gomma
- gommapiuma
- polistirolo
- stoffa
- tetrapack
- vetro
- non riconoscibile

2.4 Sistema di classificazione

Il sistema di classificazione rappresenta uno degli elementi chiave del template QGIS, poiché garantisce coerenza, ripetibilità e confrontabilità dei dati raccolti durante il monitoraggio del marine litter. La struttura adottata è pensata per supportare sia l'interpretazione visiva da ortomosaici sia successive analisi statistiche e spaziali.

2.4.1 Struttura gerarchica

La classificazione è organizzata secondo una gerarchia multilivello che permette di descrivere ogni rifiuto con diversi gradi di dettaglio:

- **Categoria:** livello macro, utilizzato per raggruppare i rifiuti in classi principali facilmente confrontabili;
- **Materiale:** livello intermedio che descrive la natura fisica del rifiuto (plastica, metallo, vetro, ecc.);
- **Tipologia:** livello descrittivo fine, che identifica l'oggetto specifico (bottiglia, rete, frammento, tanica, ecc.);
- **Colore:** attributo trasversale che fornisce informazioni utili per l'individuazione visiva e per eventuali approcci di riconoscimento automatico.

Questa struttura consente di passare agevolmente da analisi generali a studi dettagliati sulla composizione dei marine litter.

2.4.2 Coerenza e standardizzazione

L'uso di tabelle dedicate nel geopackage assicura che i valori attribuiti agli oggetti siano standardizzati e controllati. La compilazione degli attributi tramite domini predefiniti riduce il rischio di errori, ambiguità o interpretazioni soggettive, aumentando l'affidabilità del dataset finale.

2.4.3 Supporto alle analisi spaziali e temporali

Grazie al sistema di classificazione, è possibile:

- confrontare la composizione del marine litter tra aree diverse;
- analizzare variazioni temporali tra campagne di monitoraggio successive;
- individuare categorie o materiali predominanti;
- valutare l'efficacia di interventi di pulizia o mitigazione.

2.4.5 Integrazione con standard e protocolli

La struttura gerarchica del sistema di classificazione è compatibile con numerosi protocolli di monitoraggio nazionali e internazionali (es. MSFD- Marine Strategy Framework Directive, UNEP- United Nations Environment Programme). Ciò facilita l'interscambio dei dati, l'armonizzazione con altri studi e l'integrazione in sistemi di reporting ambientale.

2.4.6 Ruolo nel workflow operativo

Durante la fase di digitalizzazione, il sistema di classificazione guida l'operatore nella corretta attribuzione degli oggetti, rendendo il processo più rapido e uniforme. In fase di analisi, la stessa struttura consente di generare mappe tematiche, grafici e indicatori sintetici, trasformando i dati grezzi in informazioni utili per la gestione ambientale.

2.5 Mappa di background

La mappa di background svolge un ruolo fondamentale nel progetto, fornendo il contesto geografico necessario per interpretare correttamente la distribuzione del marine litter. Essa consente di collocare gli oggetti mappati rispetto alla linea di costa, agli elementi naturali e alle infrastrutture presenti, migliorando la comprensione spaziale del fenomeno. L'utilizzo di una basemap standardizzata, come OpenStreetMap, garantisce un riferimento cartografico coerente e aggiornato, utile sia in fase di digitalizzazione sia nella validazione dei dati.

Il template prevede inoltre la possibilità di **variare facilmente la mappa di background**, integrando altri servizi cartografici analoghi, come **Google Maps, Google Satellite, Bing Maps o altri servizi XYZ**, in funzione delle esigenze operative. Questa flessibilità consente di scegliere la basemap più adatta in base al livello di dettaglio, alla risoluzione o al tipo di contesto (urbano, naturale, costiero), migliorando ulteriormente l'interpretazione visiva e la qualità complessiva dell'analisi cartografica.

3. Mappatura dei marine litter

La mappatura del marine litter all'interno del template QGIS MLT è concepita come un processo strutturato, scalabile e ripetibile. Il flusso di lavoro integra osservazione visiva ad alta risoluzione, digitalizzazione rigorosa e attribuzione standardizzata.

3.1 Obiettivi della mappatura

La fase di mappatura mira a ottenere:

- una **localizzazione accurata** degli oggetti
- la **classificazione coerente** dei marine litter
- una **quantificazione comparabile** nel tempo e tra aree differenti
- la creazione di un dataset pronto per analisi statistiche, spaziali e modellistiche

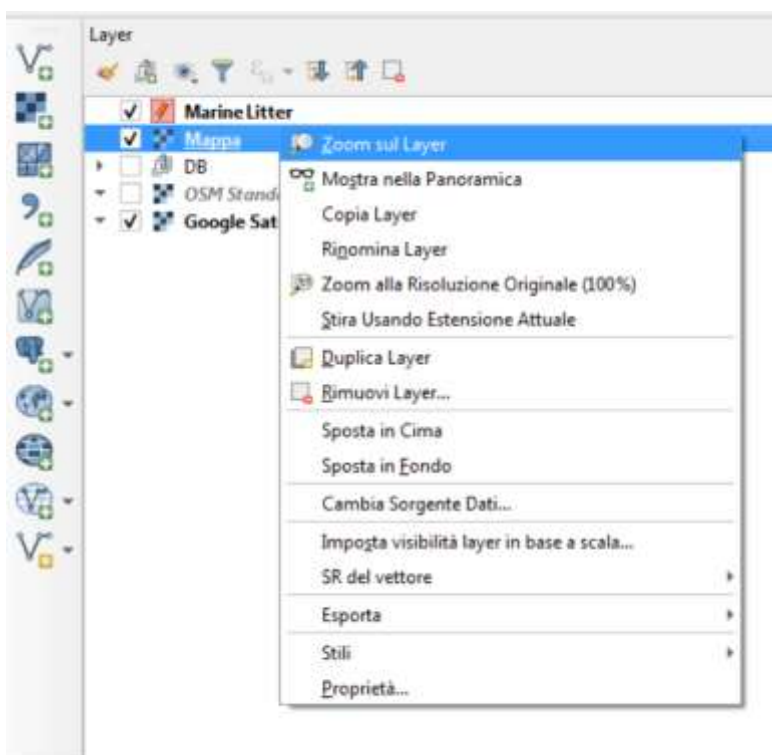
3.2 Interpretazione visiva dell'ortomosaico

L'operatore analizza l'ortofoto ad alta risoluzione e identifica gli oggetti anomali o riconducibili a rifiuti. I principali criteri utilizzati sono:

- forma
- colore
- dimensione
- texture
- contesto geografico

Immagini ad alta risoluzione (1–3 cm/pixel) permettono di distinguere con buona affidabilità categorie specifiche come bottiglie, frammenti, reti, sacchetti ecc.

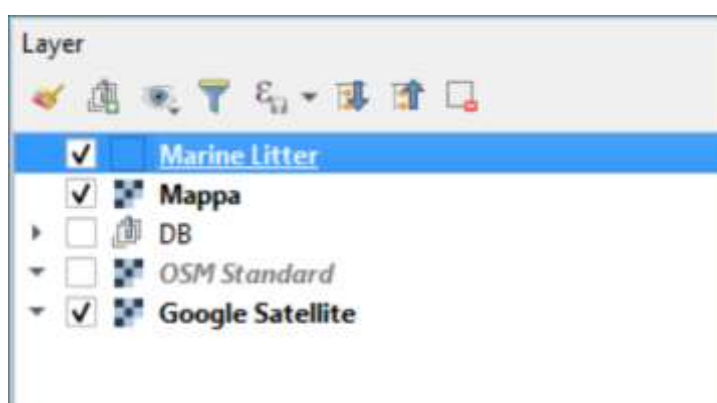
Il progetto ricerca l'ortomosaico nel file ORTO.TIF situato nella stessa cartella di lavoro, quindi si consiglia di inserire in questa cartella l'ortomosaico in formato GeoTIFF e di rinominarlo con il nome ORTO.TIF. All'inserimento di una nuova immagine è consigliabile selezionare il layer corrispondente (Mappa), clicca su questo per attivare la funzione ZOOM SUL LAYER.



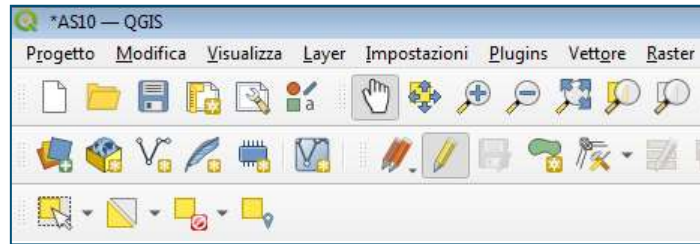
3.3 Selezione degli oggetti

Ogni oggetto individuato può essere digitalizzato manualmente nel layer **Marine Litter** usando lo strumento **poligono**.

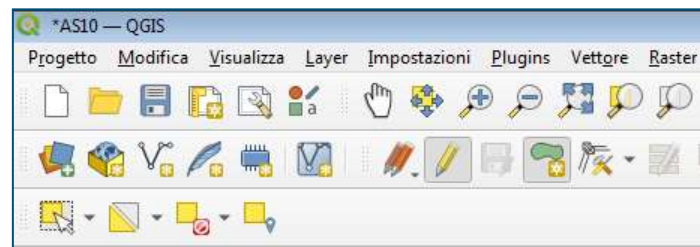
Operativamente si parte dalla selezione del layer:



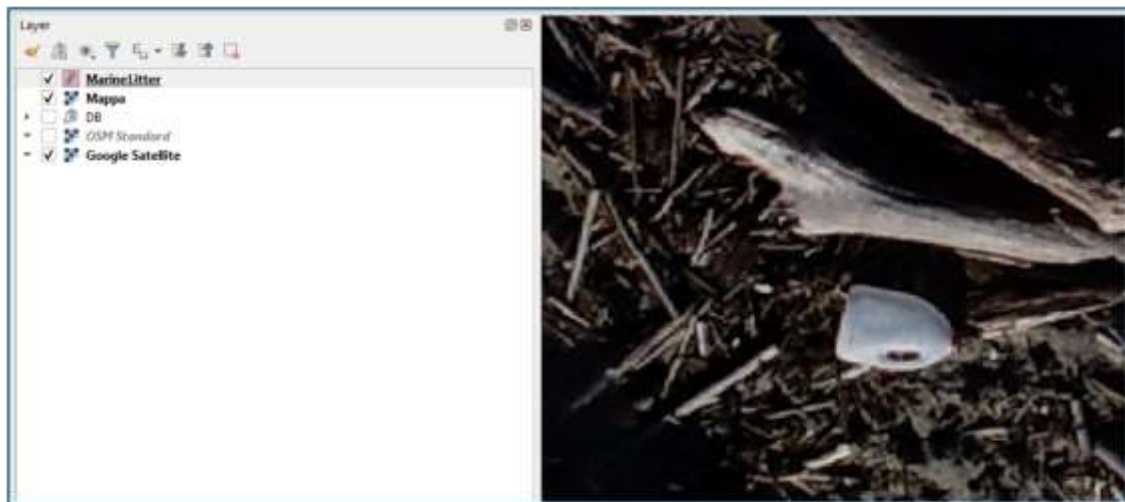
Si imposta la modalità di editing:



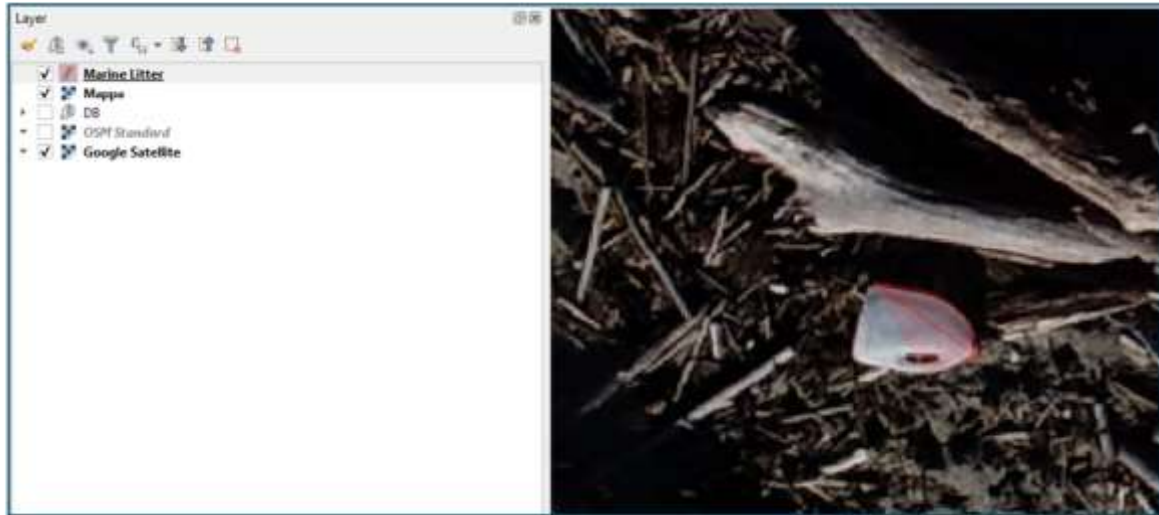
Si seleziona lo strumento poligono:



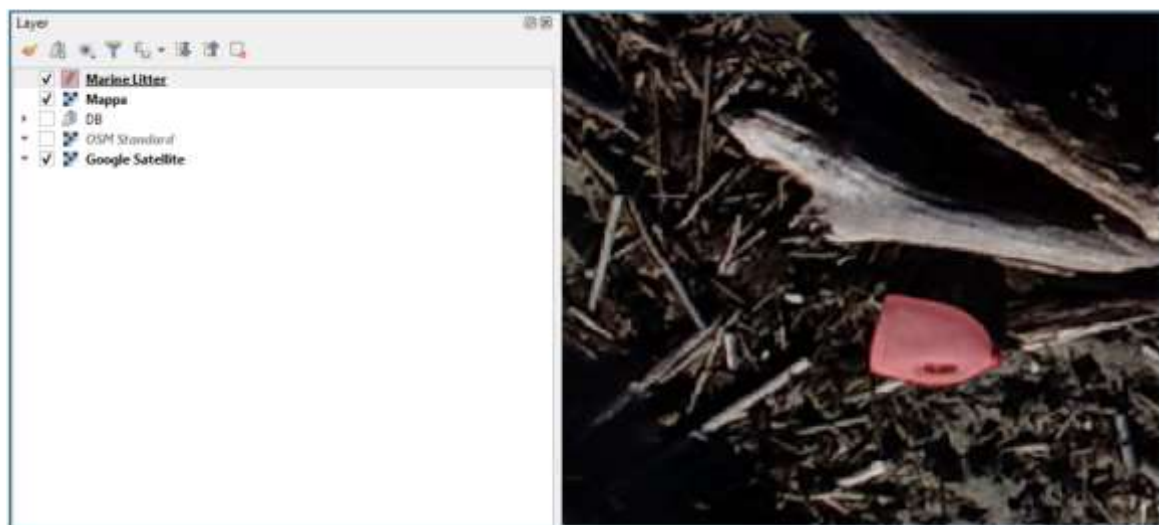
Si individua l'oggetto:



Si traccia il contorno dell'oggetto con il mouse:



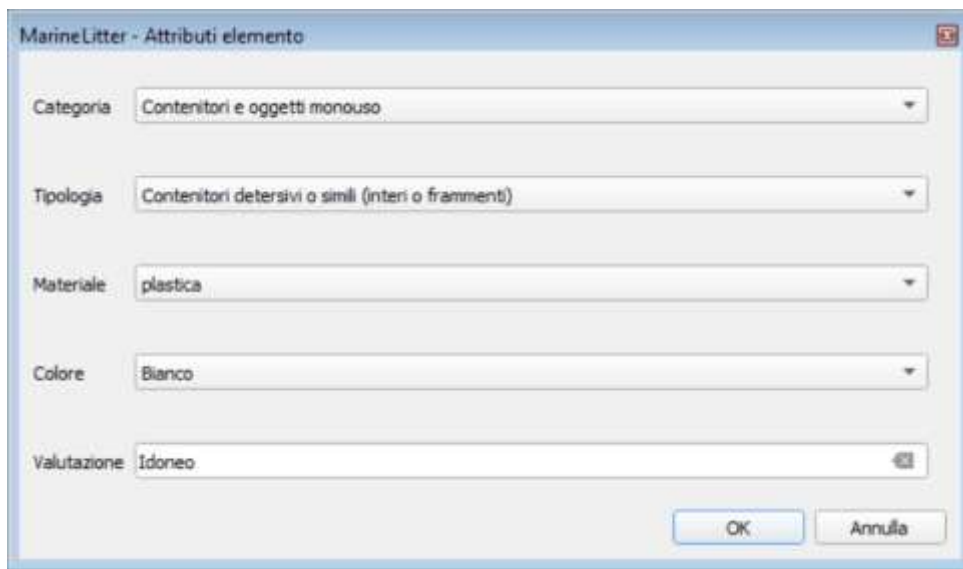
Si chiude il contorno e l'oggetto risulta ora selezionato:



La scelta della geometria influenza successive analisi come il calcolo di superficie o densità.

3.4 Attribuzione e compilazione degli attributi

Al termine della selezione grafica dell'oggetto, grazie all'integrazione con le tabelle del geopackage, l'operatore assegna agli oggetti valori standardizzati tramite menu a tendina.

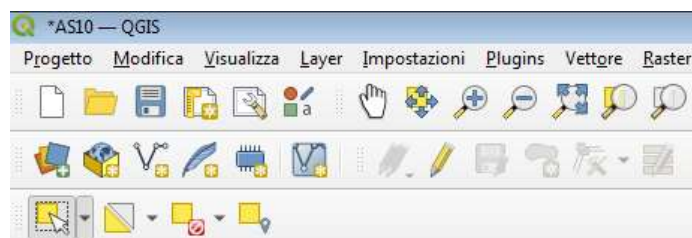


Gli attributi tipici includono:

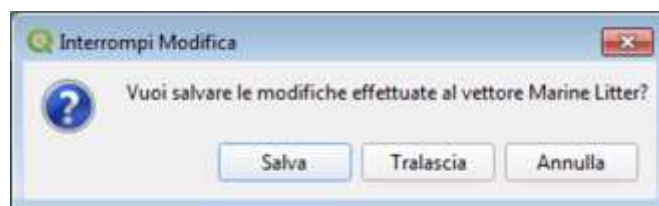
- **Categoria** (macro-livello)
- **Tipologia** (bottiglia, frammento, container, rete, ecc.)
- **Materiale** (plastica, vetro, metallo, ecc.)
- **Tipologia** (bottiglia, frammento, container, rete, ecc.)
- **Valutazione** (idoneo se una delle dimensioni supera 5 cm, altrimenti non idoneo, calcolato automaticamente dall'applicazione)

Premendo il pulsante OK vengono memorizzate la geometria e gli attributi, altrimenti viene annullato tutto quanto riguarda questo ultimo oggetto.

Al termine della digitalizzazione dei marine litter è necessario uscire dalla modalità di editing

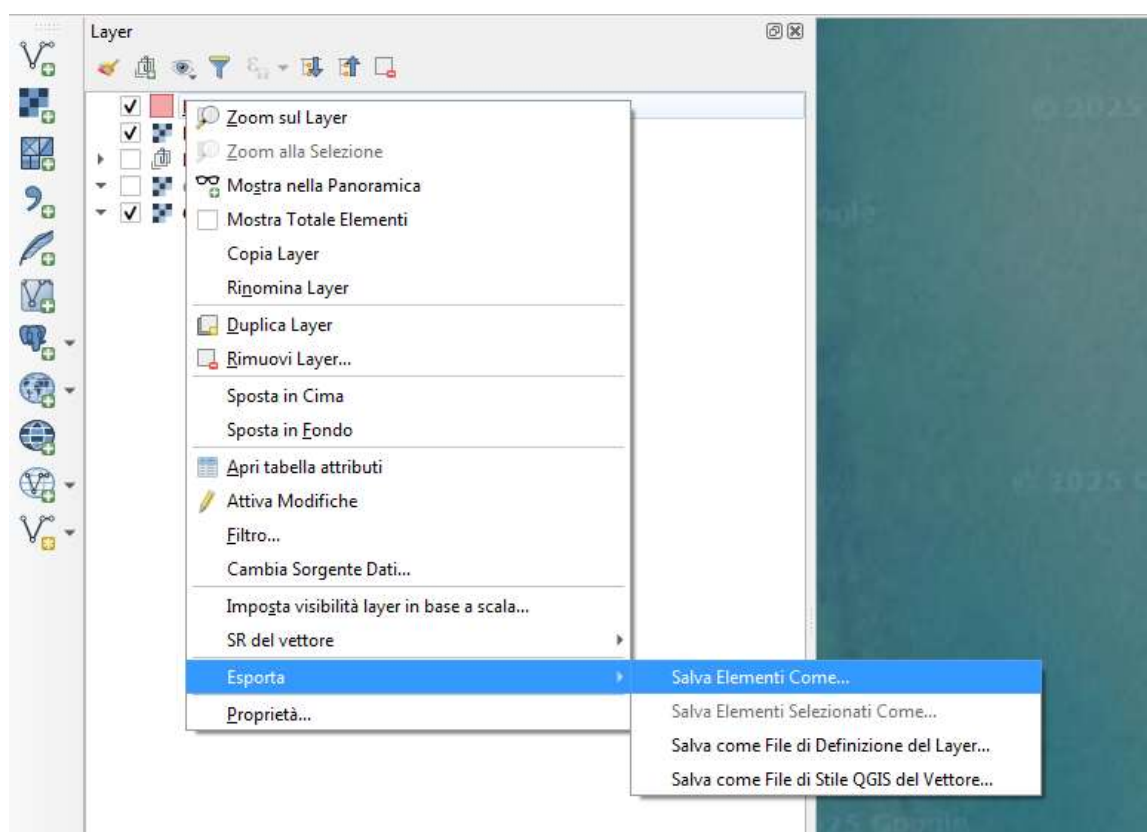


All'uscita della modalità di editing viene richiesta la volontà di salvare i nuovi dati nel layer.

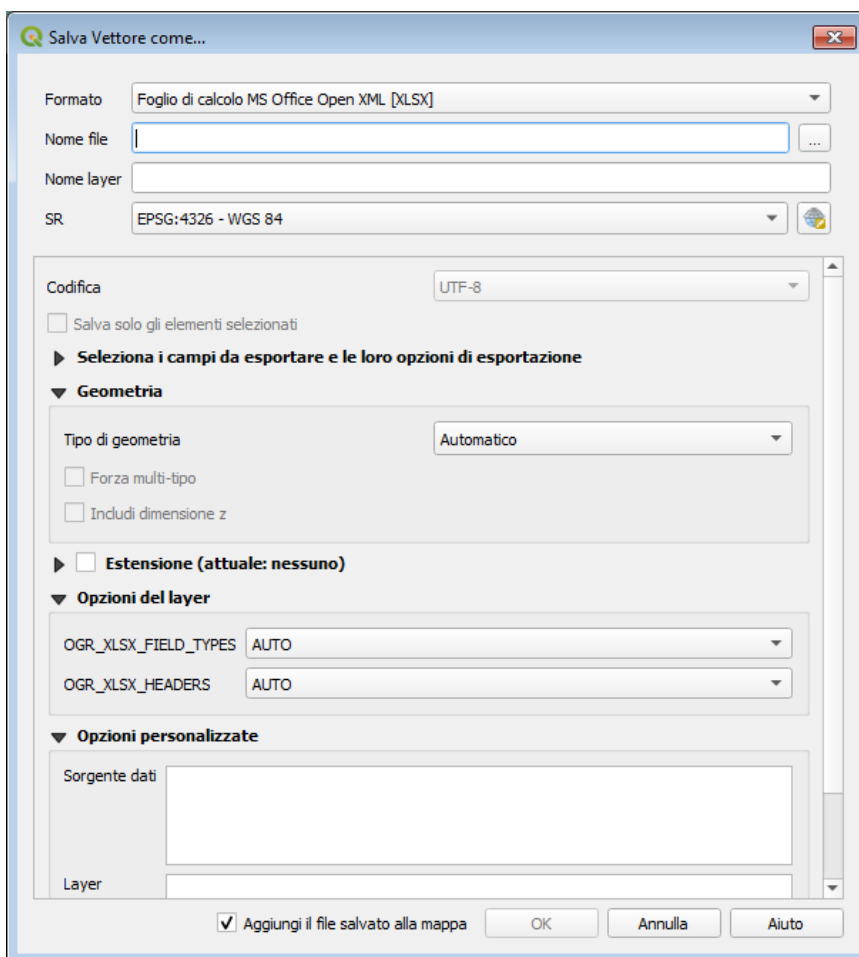


3.5 Esportazione dei dati

I dati memorizzati nel layer Marine Litter possono essere esportati con le funzioni disponibili su QGIS. Si seleziona il layer e si apre il menu con le funzioni disponibili



Si apre successivamente una schermata da cui definire i criteri di esportazione:



3.6 Tecniche di supporto alla digitalizzazione

Il template può integrare strumenti che aiutano la fase di interpretazione:

- **aumento del contrasto** per rifiuti bianchi su sabbia chiara
- **filtri di nitidezza** per evidenziare contorni
- **gestione delle scale predefinite** per digitalizzazione coerente

3.7 Validazione interna

Prima della conclusione della sessione di mappatura, quindi durante la digitalizzazione e prima dell'esportazione dati, è consigliato:

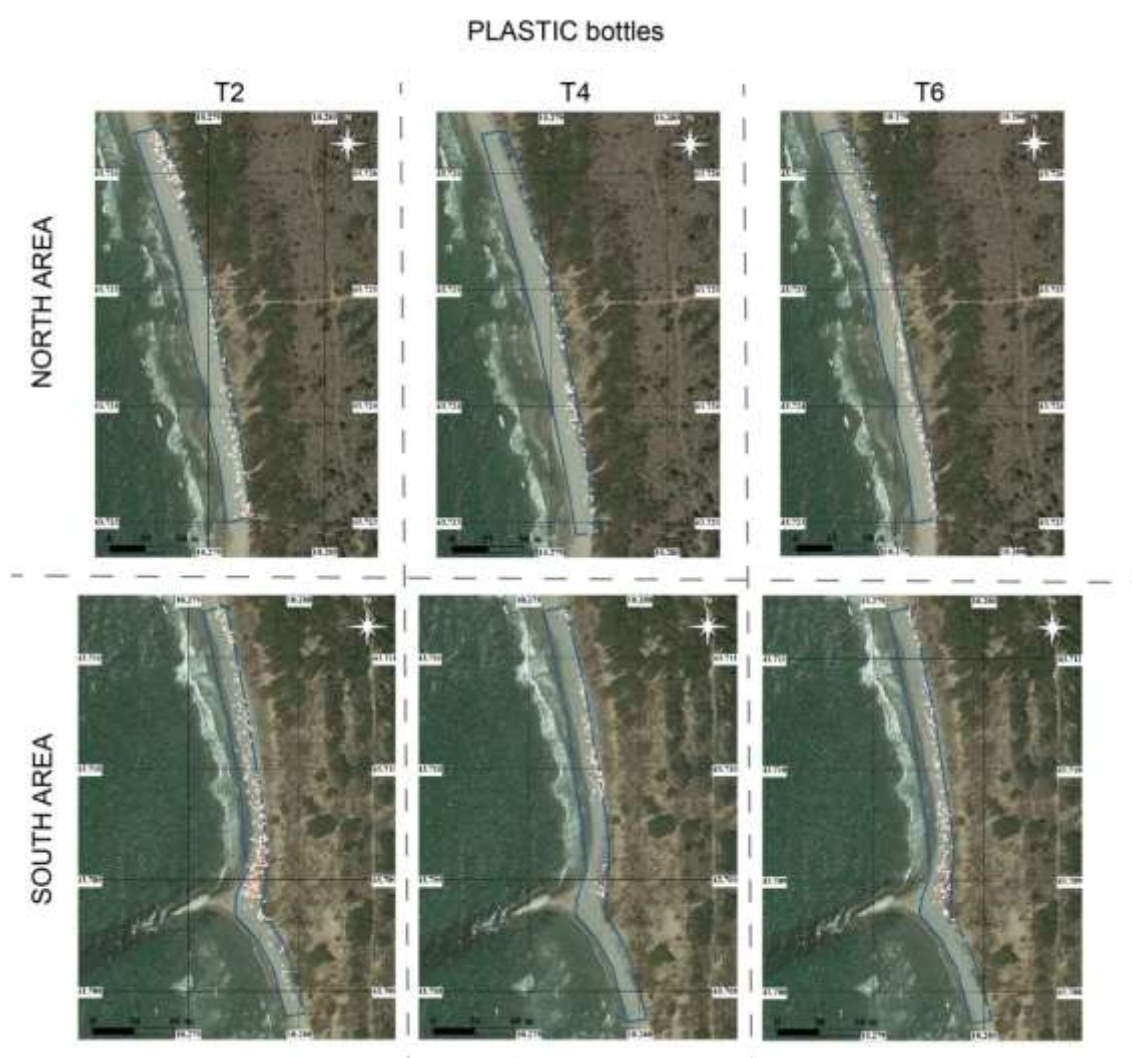
- controllare eventuali duplicazioni
- verificare la coerenza degli attributi

- assicurarsi che nessun oggetto sia privo di classificazione
- confrontare aree contigue per garantire uniformità

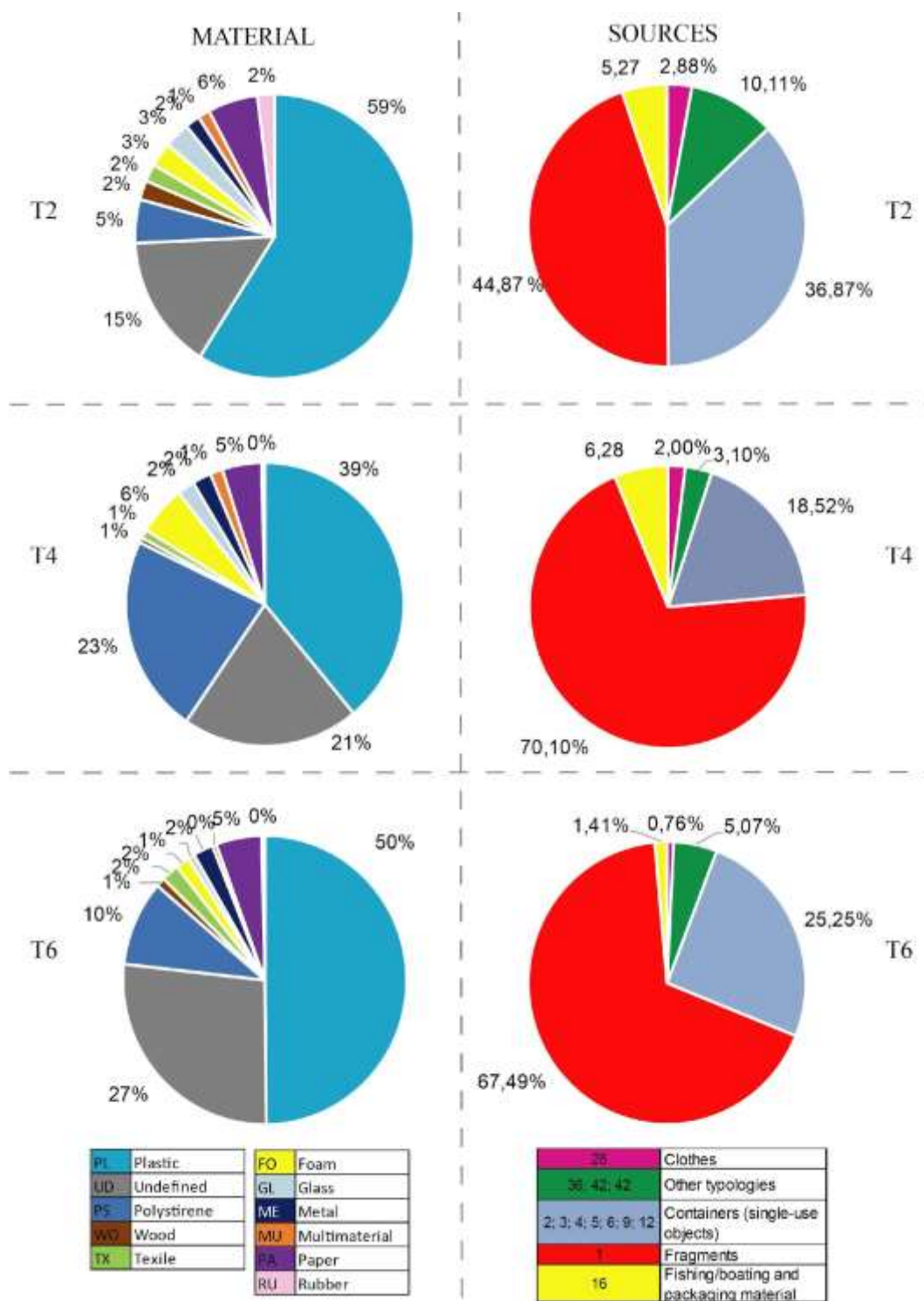
3.8 Produzione di indicatori

Una volta mappati gli oggetti, il template permette di derivare indicatori come:

- densità di rifiuti (per metro o metro quadro) per ogni materiale, categoria o tipologia di interesse
- distribuzione spaziale, sempre per materiale, categoria o tipologia
- evidenza di pattern spaziali (cluster, accumuli)
- variazione temporale (in caso di survey ripetuti temporalmente) e stima dei ritmi di accumulo
- distribuzione cromatica utile per modelli di detection automatica



Esempio di indicatore: distribuzione delle bottiglie di plastica (numero di articoli/m²) per due aree monitorate all'interno del Parco regionale di Migliarino, Massaciucoli e San Rossore (area nord-pannelli superiori e l'area sud-pannello inferiore), per diverse repliche temporali (T2, T4 e T6). La figura è estratta dall'articolo pubblicato Merlino et al. 2025 (<https://doi.org/10.3390/su17115048>)



Esempio di indicatore: confronto dei conteggi ottenuti per le categorie “MATERIALI” e “FONTI” (con suddivisione nei diversi tipi) per le tre repliche temporali (T2, T4 e T6) e per l'intera area monitorata all'interno del Parco regionale di Migliarino, Massaciucoli e San Rossore. La figura è estratta dall'articolo pubblicato Merlino et al. 2025 (<https://doi.org/10.3390/su17115048>)

3.9 Workflow riassuntivo

1. Analisi dell'ortomosaico
2. Identificazione del marine litter
3. Digitalizzazione su layer Marine Litter
4. Attribuzione usando tabelle normalizzate
5. Validazione geometrica e semantica
6. Calcolo statistico e produzione mappe tematiche

4. CONCLUSIONI

Il progetto QGIS MLT rappresenta un template strutturato, scalabile e pienamente operativo per la stima, la classificazione e la mappatura del marine litter tramite ortomosaici prodotti da rilievi con drone. La sua architettura basata su raster ad alta risoluzione e su un geopackage con tabelle normalizzate consente di gestire il processo dall'acquisizione dei dati alla produzione dei risultati in modo efficiente e standardizzato.

4.1 Punti di forza del template

- Struttura modulare che separa classificazione, geometrie e contesto cartografico.
- Geopackage unico che garantisce portabilità, consistenza e semplicità di gestione.
- Classificazione gerarchica completa (Categoria → Materiale → Tipologia → Colore), compatibile con standard internazionali.
- Flessibilità operativa: adattabile a spiagge, coste rocciose, dune, foci, lagune.
- Workflow ripetibile: ideale per progetti di monitoraggio a lungo termine.

4.2 Impatti operativi e scientifici

Il template permette di:

- creare dataset di litter georiferiti e standardizzati, pronti per analisi di trend;
- confrontare episodi di accumulo in differenti periodi o condizioni meteo-marine;
- fornire dati utili alle strategie di mitigazione per amministrazioni costiere e ONG;
- supportare studi su distribuzione, densità e composizione del marine litter;
- alimentare modelli previsionali che stimano rotte, accumuli e dispersione dei rifiuti.

4.3 Benefici dell'utilizzo degli ortomosaici da drone

L'impiego di ortomosaici ad alta risoluzione prodotti da sistemi UAV consente:

- **monitoraggio rapido e ad ampia scala**, riducendo tempi e costi rispetto ai metodi a terra;
- **alta precisione di localizzazione** dei rifiuti grazie al geotag e, se presente, all'RTK;
- **rilevamento di oggetti piccoli** non visibili in rilievi satellitari;
- possibilità di eseguire analisi **post-volo**, evitando condizioni ambientali avverse.

4.4 Limiti e considerazioni

Nonostante la solidità del template, è importante considerare:

- la dipendenza dalla qualità dell'ortomosaico (campo visivo, esposizione, pixel size);
- la variabilità dell'interpretazione umana, che può essere mitigata da training e protocolli;
- l'impossibilità di rilevare rifiuti parzialmente sepolti o coperti;
- la necessità di mantenere un database aggiornato e coerente nelle tabelle del geopackage.

4.5 Possibili sviluppi futuri

Il template può essere ulteriormente ampliato integrando:

- modelli di Object Detection per pre-segnalazione dei rifiuti;
- workflow semi-automatici basati su segmentazione dell'immagine;
- dashboard QGIS o web-GIS con indicatori dinamici;
- strumenti di export standardizzati per reporting europeo (MSFD, EEA).

4.6 Sintesi finale

Grazie alla sua struttura chiara, alle tabelle normalizzate e all'integrazione con ortomosaici da drone, il progetto **MLT** costituisce un **ambiente GIS completo** per la mappatura del marine litter. Il template fornisce una base solida per iniziative di ricerca, monitoraggio operativo e valutazioni ambientali, con possibilità di estensione verso automazione avanzata e applicazioni di intelligenza artificiale.

BIBLIOGRAFIA

- Merlino, S.; Paterni, M.; Locritani, M.; Andriolo, U.; Gonçalves, G.; Massetti, L. Citizen Science for Marine Litter Detection and Classification on Unmanned Aerial Vehicle Images. *Water* 2021, *13*, 3349. <https://doi.org/10.3390/w13233349>
- Merlino, S.; Paterni, M.; Massetti, L.; Cocchi, L.; Locritani, M. A Citizen Science Approach to Supporting Environmental Sustainability and Marine Litter Monitoring: A Case Study of USV Mapping of the Distribution of Anthropogenic Debris on Italian Sandy Beaches. *Sustainability* 2025, *17*, 5048. <https://doi.org/10.3390/su17115048>

Repository per condivisione

Il progetto completo, comprensivo del file QGIS (AS10.qgz), del geopackage (Geopack.gpkg), delle tabelle di classificazione, dei dati di riferimento e dei materiali di supporto, è reso liberamente disponibile su un repository pubblico per favorire la trasparenza, la riusabilità e la collaborazione scientifica.

Il repository è accessibile al seguente indirizzo:

<https://box.ifc.cnr.it/index.php/s/of89chKmqZ0QGbV>

Attraverso questa piattaforma è possibile:

- scaricare tutti i dataset originali e i template,
- consultare esempi di output e report,
- utilizzare i materiali per scopi di formazione, ricerca o progetti di monitoraggio ambientale,
- contribuire a future versioni del template con suggerimenti o nuove funzionalità.

La pubblicazione dei dati su un repository aperto riflette l'impegno verso pratiche di open science, facilitando la diffusione di metodologie standardizzate per il monitoraggio del *marine litter* e l'adozione di strumenti interoperabili nella comunità scientifica e tecnica. L'uso del template, anche in forma modificata o parziale, implica l'obbligo di citare la fonte originale in ogni prodotto o analisi derivata.

CONTATTI

Per informazioni contattare:

- Marco Paterni CNR-IFC: marco.paterni@cnr.it
- Silvia Merlino CNR-ISMAR: silvia.merlino@cnr.it