



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Tesi di tirocinio di formazione e orientamento

(Convenzione stipulata tra ISPRA e l'Università degli Studi "La Sapienza")

*SVILUPPO DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO IN AREA COSTIERA CON
RIFERIMENTO ALLE EMERGENZE STORICO-CULTURALI DEL PAESAGGIO*

Ing. Belén Jiménez Fernández-Palacios

Tutor dell'Ente Promotore: Dott. Andrea Danzi

Tutor ISPRA: Arch. Chiara Vicini

Co tutor ISPRA: Dott. ssa Stefania Mandrone

ANNO 2010

Data	Firma Tirocinante	Firma del Tutor ISPRA	Firma Responsabile Servizio ISPRA
Firma del Tutor Ente Promotore*			

* Il Tutor dell'Ente Promotore sarà citato solo in presenza della firma

I. Abstract

La presente tesi costituisce il risultato dell'attività di stage svolta presso l'Ispira, nell'ambito dell'attività proprie del Servizio Difesa delle Coste presso il Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine.

Lo stage ha riguardato lo sviluppo di un GIS con l'obiettivo fondamentale d'identificare, analizzare e classificare il patrimonio storico-archeologico a rischio, in particolare del periodo romano, a causa dell'erosione costiera nel litorale laziale.

Attraverso la costruzione di questo GIS è stato possibile studiare la dinamica del litorale laziale ed analizzare l'evoluzione dell'erosione costiera dagli anni 50 fino ai giorni nostri. Lo studio geomorfologico è stato confrontato con le aree e i complessi storici-archeologici del litorale laziale allo scopo di valutare i rischi, prevenire e ridurre i danni del patrimonio culturale in area costiera.

II. Prefazione

In ISPRA, nell'ambito delle attività proprie del Servizio Difesa delle Coste, afferente al Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine, è stato attivato, nel corso del 2009, un tirocinio formativo e di orientamento con la Facoltà di Architettura Valle Giulia dell'Università degli Studi di Roma La Sapienza, per il Master di II livello in Sistemi Informativi Geografici Applicati alla Pianificazione e alla Progettazione del Territorio Urbano e rurale (GIS School), dal titolo *Sviluppo di un Sistema Informativo Geografico in area costiera con riferimento alle emergenze storico-culturali del paesaggio*, conclusosi nel marzo 2010.

Fra le competenze proprie del Servizio Difesa delle Coste, figura come centrale lo svolgimento di attività di supporto tecnico scientifico nel campo della programmazione, progettazione ed attuazione di interventi in materia di protezione delle coste dai fenomeni erosivi.

L'attività di tirocinio ha riguardato la definizione di un contributo innovativo in ordine alle modalità organizzative e procedurali mirate alla costruzione di data base integrati, finalizzati alla documentazione, alle azioni di tutela, conservazione e valorizzazione del patrimonio storico-culturale in area costiera.

La necessità è stata quella di incrementare, attraverso l'utilizzo di metodologie integrate, il livello di conoscenza dei beni culturali che in area costiera sono continuamente esposti ad una crescente pressione, per lo più di origine antropica ed al degrado che ne deriva, degli ambiti territoriali interessati e delle modificazioni che sono intervenute negli ultimi anni nella fascia costiera, a causa delle problematiche legate al fenomeno dell'erosione costiera.

Sulla base di queste premesse, il presente progetto ha riguardato la costruzione di un Sistema Informativo Geografico, che ha interessato la fascia costiera della regione Lazio, con riferimento alle emergenze storiche - culturali del paesaggio, costruito attraverso un'attività di classificazione delle aree e dei complessi storico-archeologici, con particolare riferimento al periodo romano, condotta parallelamente con l'analisi relativa allo studio della dinamica del litorale laziale, con l'obiettivo di arrivare ad una evidenziazione dei tratti di costa in erosione e dei beni culturali a rischio.

III. Indice Sommario

IV. Introduzione.....	pag. 4
V. Materiali e metodi.....	pag. 5
5.1. Area di studio.....	pag. 5
5.2. Sviluppo di un GIS in Area Costiera con Riferimento alle Emergenze Storico-Archeologiche de Paesaggio.....	pag. 12
5.3. Creazione del GeoDatabase.....	pag. 15
5.4. Elaborazione dei dati.....	pag. 20
VI. Risultati e discussioni.....	pag. 24
6.1. Analisi diacronica delle variazioni della linea di costa.....	pag. 24
6.2. Identificazione delle principali Emergenze Archeologiche che caratterizzano il paesaggio costiero laziale.....	pag. 27
VII. Conclusioni.....	pag. 30
VIII. Bibliografia.....	pag. 32
IV. Allegati e/o annessi.....	pag. 34
9.1. Elenco dei file.....	pag. 34
9.2. Indice di figure.....	pag. 37
9.3. Tabelle.....	pag. 38

IV. Introduzione

Il Lazio è un territorio ricco di testimonianze storiche e rappresenta un patrimonio archeologico di inestimabile valore, grazie anche alla presenza di Roma. Dagli insediamenti etruschi alle rovine del periodo romano i resti archeologici disseminati su tutto il territorio ci incantano ancora oggi mostrando il loro splendore, la loro cultura, la loro vita.

Dal punto di vista storico-archeologico l'area costiera del Lazio ha giocato un importante ruolo nella storia. Le aree portuali laziali rappresentavano la potenza marinara di Roma antica, erano importanti per l'intensa attività commerciale ma anche per lo scambio e la diffusione culturale attraverso il mediterraneo, le grandi vie costiere come l'Appia e la Severiana, lo splendore delle ville imperiali romane, luoghi di villeggiatura e con le loro efficienti peschiere, redditizi centri di allevamento di pesci.

Attualmente, il litorale laziale è tra i diversi paesaggi regionali, naturali e umani, il meno conosciuto e valorizzato, sottoposto nel periodo estivo ad una pesante pressione antropica, che determina tra l'altro gravi problemi di degrado del patrimonio archeologico, paesaggistico ed ambientale. Le zone costiere laziali e in particolare le spiagge sono in continua evoluzione fisica ed i fenomeni di arretramento e di avanzamento della linea di riva derivano da parametri meteorologici, geologici, biologici ed antropici.

La necessità è quella di preservare e conservare le testimonianze archeologiche e storiche di uno dei luoghi più significativi e straordinari della nostra cultura, che si trova continuamente esposto al degrado anche a causa dell'erosione costiera.

Sulla base di queste premesse, l'obiettivo fondamentale del presente progetto è la costruzione di un Sistema Informativo Geografico in area costiera con riferimento alle emergenze storico-culturali del paesaggio, costruito attraverso la classificazione di aree e complessi storico-archeologici, in particolare del periodo romano, lungo la fascia costiera della regione Lazio contenente i dati relativi allo studio dell'erosione del litorale. Attraverso questo GIS si intende caratterizzare i tratti di costa in erosione e i possibili effetti per le aree archeologiche in area costiera, allo scopo di prevenirne e ridurre i danni.

V. Materiali e metodi

5.1. Area di studio.

La costa Laziale si sviluppa per 384 km, di cui 274 km sono costituiti da costa bassa per la maggior parte sabbiosa (Fig.1).

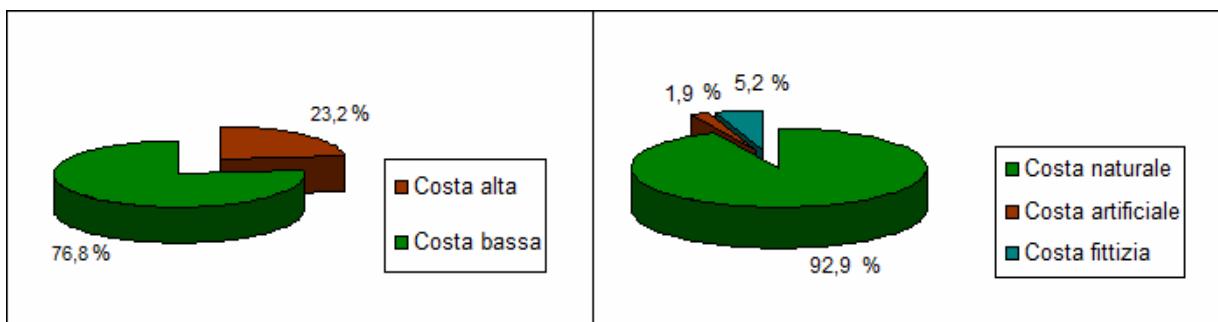


Fig.1 – Tipologia di costa

L'aspetto morfologico è caratterizzato da fondali bassi, a pendenza costante e isobate parallele alla riva. Il litorale del Lazio è costituito in prevalenza da tre ampie falcate e dalla piana alluvionale costiera del fiume Tevere, il cui apporto solido influenza notevolmente l'assetto della linea di riva. I tratti meridionali sono caratterizzati da zone di bonifica con diversi canali di drenaggio e laghi costieri (Fogliano, Caprolace e Sabaudia) e da cordoni dunali importanti dal punto di vista paesaggistico e di difesa naturale della fascia costiera.

Le dinamiche erosive costiere, che hanno fatto registrare in studi precedenti picchi di arretramento della linea di riva di 138 m alla foce del Tevere, riguardano ormai gran parte delle coste laziali e determinano situazioni concrete di rischio. Sono stati osservati arretramenti significativi nei tratti al confine tra Toscana e Lazio, presso Tarquinia, tra Cerveteri e Ladispoli, a Ostia lido, tra Anzio e Nettuno, nei pressi di Sabaudia, tra S. Felice Circeo, Terracina e Minturno.¹

I comuni rivieraschi sono 24. Le amministrazioni regionali e locali hanno eseguito numerosi interventi di protezione dei litorali (Fig.2), attuando provvedimenti programmati e finalizzati al recupero delle spiagge e degli habitat costieri.

Opere di difesa rigide, con prevalenza di scogliere e pennelli, sono particolarmente diffuse nelle località di Santa Marinella e Santa Severa, alla foce del Tevere (scogliere e opere radenti a gettata), ad

¹ Datti da: Studi costieri 2006, Lo stato dei litorali italiani, Le spiagge del Lazio. Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero.

Anzio e Nettuno, ad est di San Felice Circeo e nel golfo di Formia. Nell'ultimo decennio numerosi sono stati gli interventi di recupero dei litorali erosi mediante ripascimento, con prelievo di sabbia da cave sottomarine a: Tarquinia, Ostia, Terracina ed Anzio.

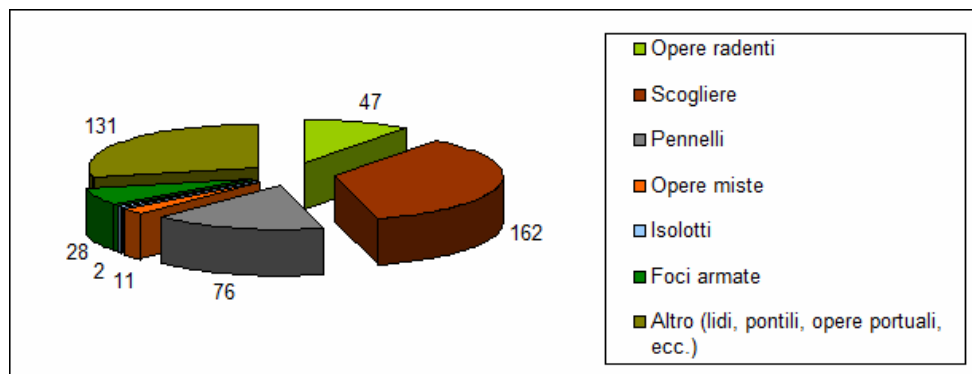


Fig.2 – Tipologia di opere marittimi.

Già nel periodo romano era stato creato un vero e proprio sistema portuale lungo l'intero litorale laziale. Di particolare importanza Ostia, porto di Roma, che diviene scalo della megalopoli mediterranea fino ai colossali interventi di Claudio e di Traiano. Grazie alle testimonianze storico-archeologiche e alle ricerche terrestri è stato possibile ricostruire la topografia storica di tutti questi luoghi ed anche di quelli dimenticati ed assorbiti dalla natura a causa dello spopolamento degli insediamenti, alla mancanza di manutenzione e alla naturale evoluzione del litorale. Invece, le antiche strutture degli altri porti della costa laziale come Anzio, Civitavecchia, Ponza, etc. sono spesso trasformati ed assorbiti in strutture moderne continuando così a funzionare. Attualmente, i porti censiti nel Lazio sono 37, si tratta per lo più di porticcioli ad uso turistico ricreativo, porti canali ed approdi; tuttavia non mancano strutture portuali di maggiore importanza e dimensione, in particolare il porto ad uso industriale e commerciale di Civitavecchia e quello militare di Gaeta.

I campioni su cui sono state condotte le analisi oggetto del presente studio, a causa dell'estrema eterogeneità delle cause dell'erosione che influiscono sugli spostamenti della linea di riva, sono stati scelti in base a tre fattori fondamentali:

- Disponibilità e numero di dati esistenti
- Conformazioni geomorfologiche
- Limiti amministrativi

- Zona I. Litorale centrale, dai Porti di Claudio e Traiano fino a Ostia Antica.

Situata geograficamente in posizione strategica, affacciata sul mare Tirreno nei pressi della foce del Fiume Tevere, Ostia Antica, nacque come accampamento militare. La fondazione di Ostia è attribuita tradizionalmente ad Anco Marcio, quarto re di Roma, intorno al 620 a.C. Le prime notizie certe di un insediamento in area ostiense risalgono alla seconda metà del IV secolo a.C. e sono riferibili a un fortilizio con lo scopo di controllare militarmente sia la costa laziale che la foce del Tevere.

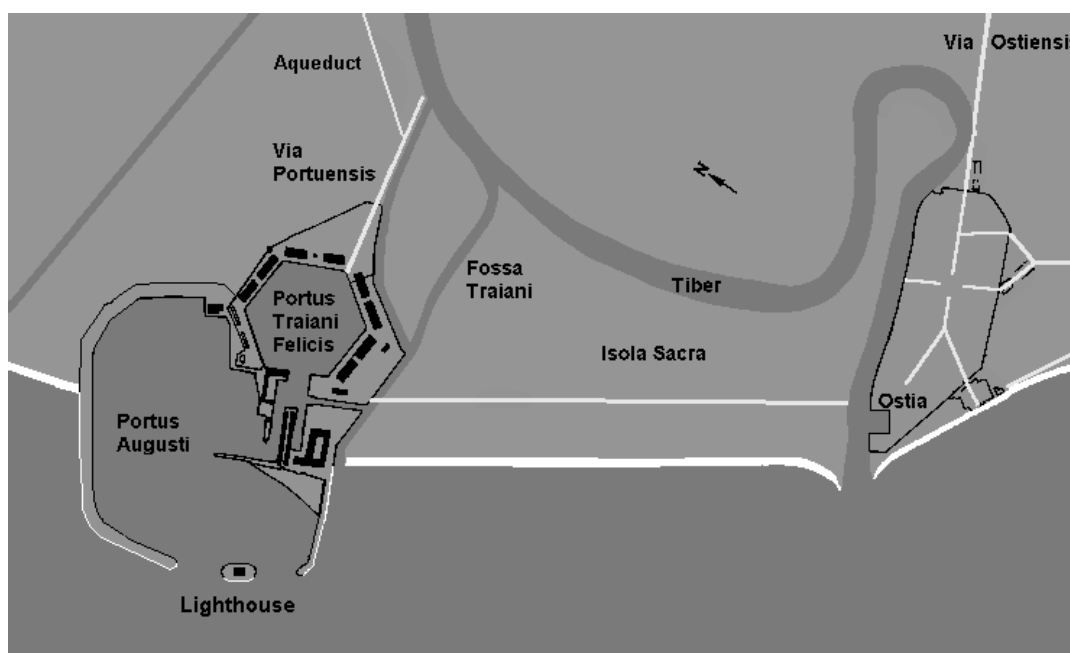


Fig.3–Linea di Riva tra Ostia antica e i porti di Claudio e Traino in età romana.

Grazie alla sua strategica posizione sulla costa ed al suo porto fluviale si sviluppò come centro commerciale portuale durante l'età imperiale di Roma. Nel II secolo d.C., nel momento di massima espansione del dominio del Mediterraneo da parte di Roma, diventò la principale colonia commerciale della capitale.

Il primitivo porto fluviale di Ostia non consentiva l'ancoraggio di navi di grandi dimensioni per problemi legati al continuo insabbiamento della zona. Le navi dovevano fermarsi al largo, dove avveniva il trasbordo del carico su navi più piccole che riuscivano così a risalire il corso del Tevere.

Per evitare questi inconvenienti, nel 42 d.C. l'imperatore Claudio fece costruire a 3 km a Nord della foce del Tevere un grande porto marittimo (Fig 3), nonostante alcuni ritenessero che la zona fosse completamente inadatta. La costruzione del nuovo porto fu poi conclusa sotto Nerone. L'infrastruttura del bacino portuale, ampia circa 150 ettari, permetteva lo scarico e il trasbordo delle merci dalle grandi navi provenienti dal Mediterraneo alle navi caudicariae (imbarcazioni fluviali) adatte alla risalita del Tevere fino a Roma.

Nei dintorni di questo bacino si sviluppò la città di Portus (l'attuale Fiumicino), che divenne ben presto un centro di grande importanza commerciale, con funzioni amministrative e direzionali dei traffici navali. Cominciò così il lento declino di Ostia che continuò a sopravvivere unicamente come centro residenziale.

Ma il Porto di Claudio si trovava continuamente a combattere con problemi d'insabbiamento. Questo, oltre alla scarsa sicurezza ed alle accresciute esigenze di rifornimento di Roma, spinse l'imperatore Traiano a costruire nel 64 d.C. un nuovo bacino più interno. Il nuovo porto era di forma esagonale (ogni lato misurava 358 metri con una diagonale di 716 metri) e consentiva l'attracco di circa 200 navi, comunicava con il Porto di Claudio, che continuò ad essere utilizzato come riparo in rada, e con il Tevere mediante la Fossa Traiana (oggi Canale di Fiumicino).

Attualmente, le aree archeologiche delle antiche strutture dei porti di Claudio e Traiano si trovano immerse nelle infrastrutture urbane e distano dalla costa circa 3 Km, per via dei grandi apporti fluviali del Fiume Tevere.

- Zona II. Litorale meridionale, area archeologica d'Anzio e Nettuno, dal Porto della Villa di Nerone fino a Torre Astura.

Antium, che occupava il territorio delle attuali Anzio e Nettuno, fu capitale della popolazione dei Volsci prima della invasione dello stato romano nel 468 a.C. Grazie alla sua vicinanza a Roma ed alla sua posizione geografica, Antium diventò una sorta di *resort* per i patrizi romani che costruirono lussuose ville lungo la costa, delle quali numerosi resti monumentali sono ancora visibili.

L'Imperatore Nerone, nato ad Antium, fondò una colonia di veterani in città, costruì un nuovo porto e la propria villa, che percorreva la fascia costiera di Anzio per più di 800 metri, dalla punta di Capo d'Anzio fino al capo dell'Arco Muto, le cui rovine sono tuttora esistenti.

La cosiddetta Villa di Nerone, costruita in realtà nel II secolo a.C. è stata ristrutturata e modificata nei vari periodi, dalla fase repubblicana a quelle augustea, neroniana, domiziana ed adrianea fino alla Severiana. Nella prima fase Repubblicana la villa fu costruita nel piano che domina il mare, di essa rimangono solo le fondazioni.

La villa fu successivamente nella disponibilità di tutti gli imperatori che salirono sul trono di Roma e fu oggetto di numerose ristrutturazioni. Attualmente dell'intero complesso archeologico si possono ammirare il calidarium e l'aula riservata ai bagni in acque calde.

Sul promontorio che dominava il suo magnifico porto, Nerone fece costruire un piccolo tempio al dio Nettuno. Il porto Neroniano era costituito da due moli convergenti, ciascuno ancorato ad un promontorio naturale (Fig 4). Oggi, i resti dei moli si trovano sommersi ad una profondità variabile tra 1 e 8 metri. Rimane invece visibile una platea sulla quale si possono vedere le cosiddette “grotte”.



Fig.4–Pianta del Porto di Nerone, Anzio.

Il papa Innocenzo XII alla fine del 1600, fece costruire il porto moderno riutilizzando alcune strutture murarie dell'impianto antico. Nuove scoperte e sondaggi realizzati in tempi recenti hanno reso possibile la ricostruzione di una planimetria dell'antico porto, riportando alla luce una struttura assai complessa. Nel Medioevo la popolazione migrò da Anzio alla vicina città di Nettuno e nel XVII secolo i Papi Innocenzo XII e Clemente XI costruirono la città ad est rispetto alla sua posizione originaria, ma la nuova localizzazione risentì pesantemente degli effetti legati all'erosione costiera.

Oggi il parco archeologico si estende per quasi tutta la via Fanciulla d'Anzio e comprende la villa, il porto e l'area dei magazzini portuali nota col nome di Grotte di Nerone.

- **Zona III. Litorale meridionale, l'area archeologica di Sperlonga, Villa di Tiberio.**

Secondo la tradizione furono gli Spartani chi fondarono la città di Amyclae, attuale Sperlonga. Nel periodo romano costruirono numerose ville nel territorio che erano inoltre centri di produzione per l'industria della pesca.

Ai piedi del monte Ciannito, a Sperlonga, si apre la "Grotta di Tiberio", una estesa e profonda cavità naturale, ninfeo di una villa imperiale dove l'imperatore romano costruì la propria residenza estiva che si estendeva lungo la spiaggia per trecento metri. Costituita da diversi edifici su terrazze rivolte verso il mare si componeva di residenza imperiale, impianto termale, acquartieramenti per la truppa e piscine destinate all'itticoltura. La vera e propria villa conserva una serie di ambienti intorno ad un cortile porticato (Fig 5), tra i quali sono compresi ambienti di servizio, una fornace e un forno per la cottura del pane. Agli inizi del I secolo d.C. venne costruito un lungo portico a due navate e la grotta naturale che sorgeva presso la villa fu inquadrata all'ingresso da un prospetto architettonico trasformata con interventi in muratura e la collocazione di sculture. La grotta comprende una vasta cavità principale, preceduta da una ampia vasca rettangolare (peschiera) con acqua marina, al cui centro era stata realizzata un'isola artificiale che ospitava la caenatio (sala da pranzo estiva).

Nel 26 d.C. Tiberio si trasferì a Capri abbandonando la villa, probabilmente a causa di un'alluvione che ne compromise la stabilità.

Durante la costruzione della strada litoranea tra Terracina e Gaeta nel 1957 venne scoperta una grande quantità di frammenti marmorei, straordinari per la qualità delle sculture e le

dimensioni dei blocchi. Le sculture si rivelarono essere in alcuni casi originali greci di età ellenistica (180 a.C. circa).

Annesso all'area della Villa fu costruito nel 1963 il Museo Archeologico Nazionale di Sperlonga concepito proprio per ospitare i monumentali reperti scultorei, suppellettili e ad altri pregevoli manufatti appartenenti all'apparato ornamentale della villa, che documentano la vita del complesso fino all'inizio del I secolo.

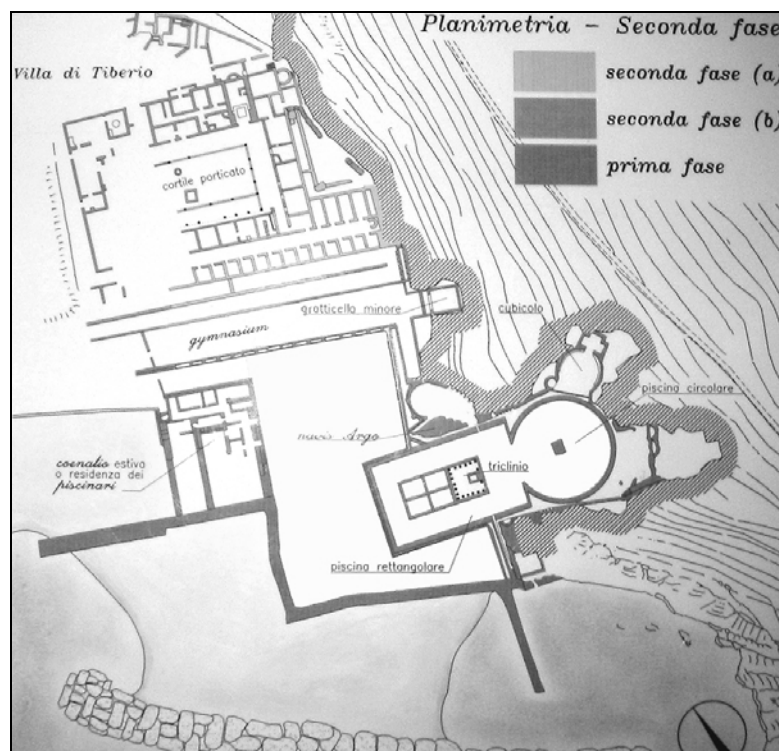


Fig.5–Villa di Tiberio, Sperlonga.

5.2. Sviluppo di un GIS in area costiera con riferimento alle emergenze storico-archeologiche del paesaggio

Un GIS (Sistema Informativo Geografico) è un insieme di hardware, software, dati geografici e procedure per la raccolta, archiviazione, analisi e diffusione delle informazioni geografiche, mediante il quale, si integrano, analizzano e visualizzano i dati geografici di un certo territorio allo scopo di trovare soluzioni alle diverse problematiche territoriali. Il GIS è considerato uno degli strumenti più importanti oggi a disposizione tra le tecnologie dell'informazione, perché permette di integrare la conoscenza da diversi sorgenti e di produrre un ambiente comune di lavoro.

Alla fine degli anni Ottanta si è assistito alla progressiva applicazione del GIS nel campo dell'archeologia, diventando negli ultimi anni uno degli strumenti più potenti a disposizione degli studiosi di questa disciplina.

Gestire il patrimonio culturale per quanto riguarda il censimento, l'archiviazione delle informazioni, la manutenzione e la condivisione dei dati, rappresenta un settore applicativo dove il GIS trova una naturale evoluzione. La capacità di gestire una grande mole di dati, di dare una localizzazione spazio-temporale agli oggetti e di legare informazioni quali fotografie, riprese, documenti, collegamenti web, ecc. permettono di creare applicazioni sempre più strutturate e interoperabili portando grande dinamicità e sviluppo nel campo della ricerca archeologica.

Il lavoro da me svolto ha permesso la caratterizzazione del tratto costiero della regione Lazio mediante l'applicazione e la sperimentazione di procedure, di criteri e tecnologie innovative per la gestione costiera e lo studio delle minacce per i beni culturali presenti nella fascia costiera laziale tramite cartografia informatizzata (GIS).

Le linee di attività sviluppate hanno riguardato la dinamica dei litorali, le variazioni della linea di costa e hanno permesso la localizzazione e la classificazione dei beni storico-culturali.

Le componenti principali del GIS hanno consentito la formazione del quadro conoscitivo dell'area di studio, costituito da:

- Caratterizzazione geomorfologica e tipizzazione del litorale
- Studio della dinamica della fascia costiera
- Inventario dei beni storico-culturali architettonici che caratterizzano l'area di interesse

Il GIS, realizzato utilizzando il software ArcGis 9 della ESRI, fornisce una rappresentazione nel sistema di riferimento UTM fuso 33 – WGS84 dei parametri caratteristici della fascia costiera analizzata, inoltre è strumento di supporto alla creazione di cartografia tematica relativa al censimento dei beni storico-architettonici. L'intero sistema si è avvalso dell'integrazione di cartografia digitale e di banche dati georeferenziate ed è composto di strati informativi derivanti da tecniche di ricognizione e di diagnostica ambientale di tipo tradizionale (misure in situ, cartografia storica, foto aeree zenitali e prospettiche e cartografia tematica regionale).

I dati raster utilizzati come riferimento sono:

- Cartografia storica IGM a scala 1:25000 in formato digitale.
- Ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1 m.
- Ortofoto digitale a colori volo 2008 a risoluzione spaziale 1 m.
- Modello Digitale di Elevazione dell'Italia, DTM_20M, in un sistema di riferimento
WGS 1984 – Fuso 32.

Mentre i dati raster di base da me elaborati sono:

- Dataset di immagini estratte dal Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR),
Tavola-B Beni Paesaggistici, a scala 1:1000 in formato digitale.

I dati vettoriali di riferimento sono:

- Linea di riva IGM, estratta dalla cartografia storica IGM a scala 1:25000 in formato digitale.
- Linea di riva 2000, estratta dalla ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1m. GCS: WGS 84 - UTM, Fuso 33.
- Batimetria dell'Italia. Linee batimetriche Italia 5_200.
- Idrografia dell'Italia.
- Limiti amministrativi regionali e comunali.

Mentre i dati vettoriali di base da me elaborati sono:

- Linea di riva 2008, vettorializzata tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo 2008 a risoluzione spaziale 1m. GCS: WGS 84 - UTM, Fuso 33.
- Beni puntuali e lineari di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo 2008 a risoluzione spaziale 1m
- Aree ed ambiti di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo 2008 a risoluzione spaziale 1m
- Aree ed ambiti di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1m
- Beni puntuali e lineari di interesse archeologico con fascia di rispetto, vettorializzati tramite digitalizzazione dal Dataset immagini del PTPR Tavola B
- Aree ed ambiti di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dal Dataset immagini del PTPR Tavola B

5.3. Creazione del GeoDatabase

La creazione e l'organizzazione dei diversi strati informativi dei dati GIS (Fig 8) è stata realizzata mediante l'applicazione Arc Catalog. E' stata creata una base dati geografica (geodatabase) utilizzando come sistema di riferimento il Datum WGS 84, proiezione UTM, Fuso 33.

In questo data set georeferenziato sono stati creati i diversi strati informativi in formato shapefile. Uno shapefile è un formato vettoriale di registrazione di identità geometriche e delle loro informazioni associate. Gli shapefile si classificano in base alla propria geometria (features class), come punti, linee o poligoni, associati a tabelle degli attributi che specificano cosa rappresentano.

Innanzitutto sono state create tre nuove features class di tipo lineare, con lo scopo di classificare le tre linee di costa scelte per lo studio dell'erosione del litorale laziale, sviluppato in due fasi.

Delimitazione della linea di costa storica: La cartografia IGM (Fig 6) in scala 1:25000 è stata precedentemente utilizzata per ricavare la linea di costa storica (1950-1960). Nel presente progetto, la linea di costa storica IGM è stata utilizzata come riferimento, nella prima fase dello studio dell'erosione costiera, per la valutazione dei tratti di costa stabili e modificati in arretramento e in avanzamento.

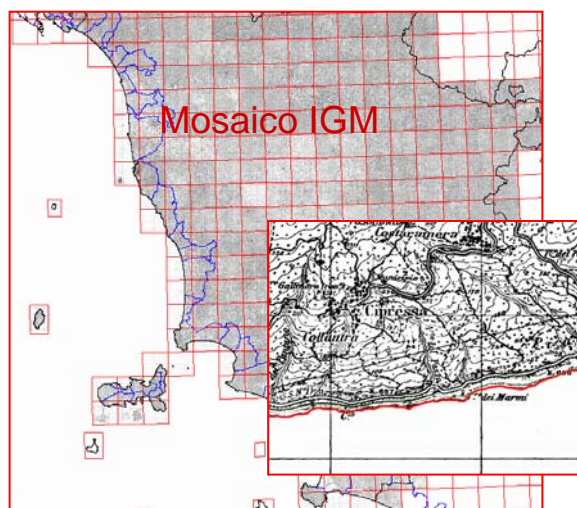


Fig 6 – Cartografia tradizionale IGM in scala 1:25.0000 informatizzata e mosaicata

Delimitazione della linea di costa 2000. L'ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1 m è stata utilizzata come base per ricavare la linea di costa dell'anno 2000. La linea di riva 2000 è stata successivamente utilizzata come riferimento per la valutazione dei tratti in erosione, nella seconda fase dello studio del litorale.

Delimitazione e descrizione della linea di costa 2008. La copertura fornita dall'ortofoto digitale a colori del volo IT2008 (Fig 7) è stata la sorgente delle informazioni per ricavare l'andamento aggiornato della linea di riva. La linea di costa, intesa come confine ultimo tra terre emerse e mare, è stata digitalizzata con continuità anche in presenza di manufatti (opere di difesa e portuali, moli ecc.), che da essa si dipartono, ne fanno parte integrante e con cui la stessa mantiene consistenza tipologica.



Fig. 7 – Ortofoto volo IT2008, esempio di editing della linea di costa.

Le ortofoto utilizzate costituiscono, per le caratteristiche di copertura a scala nazionale e di uniformità di acquisizione, un dato di grande valore per lo studio di molti aspetti del territorio, inoltre unitamente alla cartografia IGM rappresentano un dato storico che ha consentito lo studio delle modificazioni intervenute negli ultimi 40-50 anni sulla fascia costiera.

Individualizzazione dei beni storici. La vettorializzazione dei diversi elementi individuati, d'interesse storico-archeologico lungo l'area costiera della regione Lazio è stata realizzata in base alle ortofoto digitali a colori volo IT2008 e volo IT2000, in un sistema di riferimento con Datum WGS_84 e proiezione UTM, Fuso 33.

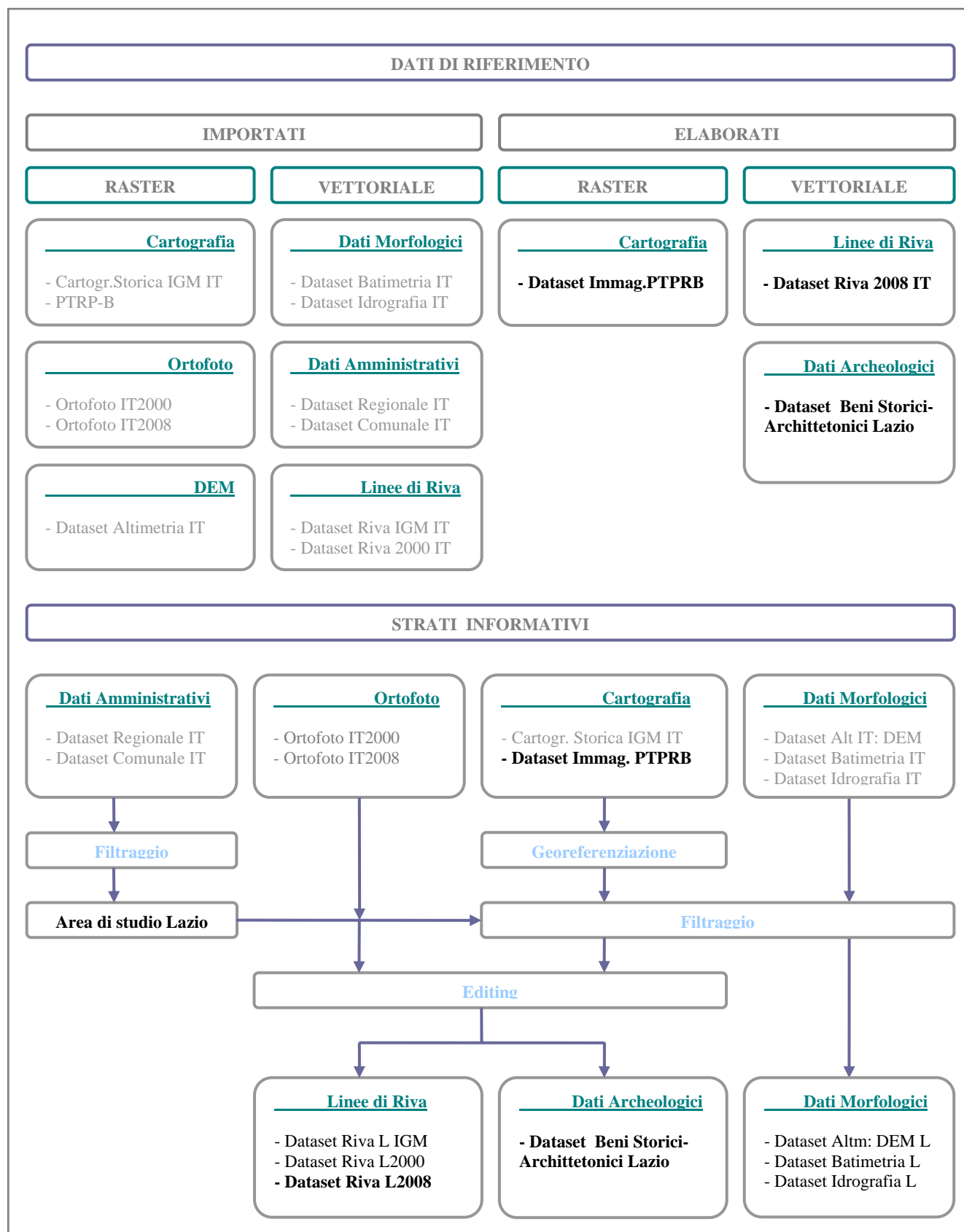


Fig.8–Diagramma di flusso –Dati di riferimento e strati informativi

Altre nuove features class sono state create per identificare i diversi elementi d'interesse archeologico: una features class puntuale, una lineare ed una poligonale, nelle quali sono stati immagazzinati i diversi tipi di dati spaziali vettori, organizzati in base alla loro geometria. Poiché non sempre tutti gli elementi archeologici sono ben visibili nelle ortofoto, per problemi legati alla loro posizione, dato che spesso si trovano al di sotto di una copertura vegetale, alcuni sono interrati oppure sommersi dall'acqua, sono state create altri features class di tipo poligonale per classificarli.

Successivamente, attraverso la consultazione del (Piano Territoriale Paesaggistico Regionale) Tavola-B Beni Paesaggistici ed in linea con i campioni scelti precedentemente, il lavoro si è arricchito di diversi tematismi cartografici delle zone di interesse storico-archeologiche, da Fiumicino fino ad Ostia, da Anzio fino a Torre Astura e da Sperlonga fino a Formia. Le immagini cartografiche riprese dal sito in piccoli frammenti ad una scala di 1:10.000, sono state successivamente accoppiate attraverso il software Paint.NET, per arrivare alla creazione di tre immagini, una per ogni area campione. In seguito, tali dati sono stati importati in ArcGis con formato jpg e sono state georeferiti in base all'ortofoto del 2008.

Georeferenziazione. Per georeferire tutte e tre le immagini, sono stati presi in considerazione sette ground control point, identificando i punti delle immagini ed i corrispondenti punti nell'ortofoto. Nell'inserimento dei sette punti, per ogni immagine, si è controllato che i valori dei residui non superino la tolleranza, ciò è stato ottenuto sia correggendo i punti esistenti sia eliminando quelli con valore residuale più alto ed aggiungendone dei nuovi. Una volta realizzata la georeferenziazione l'immagine è stata confrontata con l'ortofoto del 2008, mediante sovrapposizione (Fig 9). Lo stesso procedimento è stato eseguito per tutte e tre le immagini.

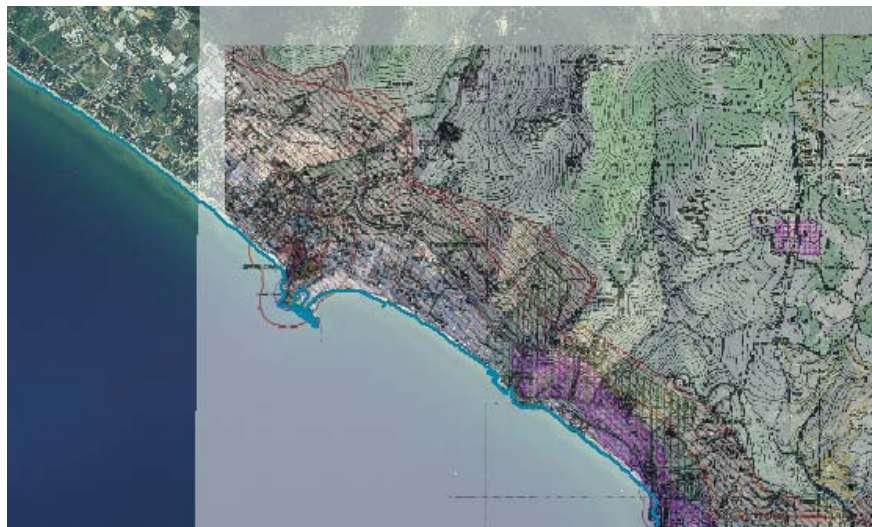


Fig. 9 – Raster estratto dal PTRP georeferenziato sull'ortofoto volo IT2008.

Alcune nuove features class sono state create per classificare gli elementi d'interesse archeologico digitalizzati dalle immagini georeferenziate del PTRP, tali come i beni puntuali diffusi e i beni lineari (testimonianza dei caratteri identitari archeologici e storici), la loro relativa fascia di rispetto di 100 metri e le aree ed ambiti di interesse archeologico già individuate. Contemporaneamente allo sviluppo del presente progetto ed in base alle sue esigenze si è rivelato necessario creare altri features class nei quali sono stati inseriti i diversi dati di studio.

In più, attraverso Access è stato creato un database per classificare, gestire e visualizzare le informazione relative al presente progetto, come i documenti storici, le fotografie, le planimetrie, i collegamenti web, etc.

5.4. Elaborazione dei dati

Analisi diacronica dell'erosione costiera. Lo studio dell'erosione costiera lungo il litorale della regione Lazio è stato realizzato attraverso un'analisi diacronica basata sul confronto di tre linee di riva, dagli anni 50-60 fino al 2008. L'analisi è stata realizzata in due fasi (Fig 13).

La prima ha riguardato lo studio dell'erosione del litorale dalla seconda metà del secolo XX fino al 2000. L'analisi delle variazioni della linea di costa è stata effettuata mediante confronto della linea di costa di riferimento, estratta dalla cartografia storica IGM (1950-1960), e la linea di costa 2000 estratta dall'ortofoto digitale a colori volo IT2000.

A tal fine sono stati realizzati due poligoni, uno relativo alla linea di riva 1950-1960 e l'altro relativo a quella del 2000. Il confronto, la sovrapposizione e l'analisi spaziale di questi poligoni ha consentito la suddivisione della linea di riva ricavata dall'ortofoto 2000 in più tratti contigui rispetto alla linea di costa IGM di riferimento. Per correggere eventuali errori di grafica, differenza di scala, scansione, georeferenziazione e creare un rapporto spazio-temporale fra i due periodi di studio, in questa prima fase la stabilità della costa è stata definita, attraverso un *buffer*, in 10 metri. In conseguenza, i tratti di costa in erosione entro il limite di questo *buffer* sono stati definiti come stabili, mentre i tratti con una variazione maggiore sono stati classificati instabili ed in base alle loro modifiche in avanzamento o arretramento. Attraverso un'analisi spaziale, per ogni tratto di costa sono state calcolate le dimensioni areali e lineari. Inoltre, è stata calcolata l'entità media e massima delle variazioni della linea di riva. Ciò ha permesso di valutare le modifiche spaziali e temporali che hanno caratterizzato l'area di interesse nella seconda metà del secolo XX.

Lo stesso procedimento è stato seguito nella seconda fase per il confronto tra la linea di riva del 2000 e quella del 2008, analizzando così l'erosione costiera negli ultimi anni. In questo caso però, in base ad un rapporto temporale, la stabilità è stata definita in 2 metri.

In linea con i campioni scelti precedentemente sono stati considerati di particolare interesse gli studi sull'erosione nei comuni di Fiumicino, Roma (Ostia), Anzio, Nettuno, Latina, Sperlonga, Itri, Gaeta e Formia. Per questo motivo, in questi comuni, si sono individuate le zone d'erosione in arretramento negli ultimi anni. Variazioni, queste, che rappresentano un rischio

per il patrimonio paesaggistico ed archeologico per cui, intorno esse, sono state create mediante un buffer le relative fasce di rispetto di 100 metri (Fig 10).



Fig. 10 – Relativa fascia di rispetto di 100 m delle aree di rischio

Alle aree di ogni comune che come se osserva nelle analisi, sono risultate minacciate da questa tendenza, sono state sovrapposti i diversi strati informativi che contengono gli elementi d'interesse archeologico permettendo così l'identificazione puntuale delle aree archeologiche in pericolo che hanno bisogno di una speciale attenzione per prevenire futuri danni.

Analisi 3D. L'analisi diacronica in 3D è stata realizzata utilizzando il DTM (Modello Digitale di Elevazione) dell'Italia (Fig 11), con sistema di riferimento UTM-WGS 84, Fuso 32N. Mediante ArcView 3.2 si sono ottenute le curve di livello (Fig 11) relative a questo modello per realizzare successivamente un TIN (Triangulated Irregular Network) utilizzando ArcGis. Il programma Traspunto ha permesso di convertire tali dati presenti nel Fuso 32N al nostro Fuso 33N.

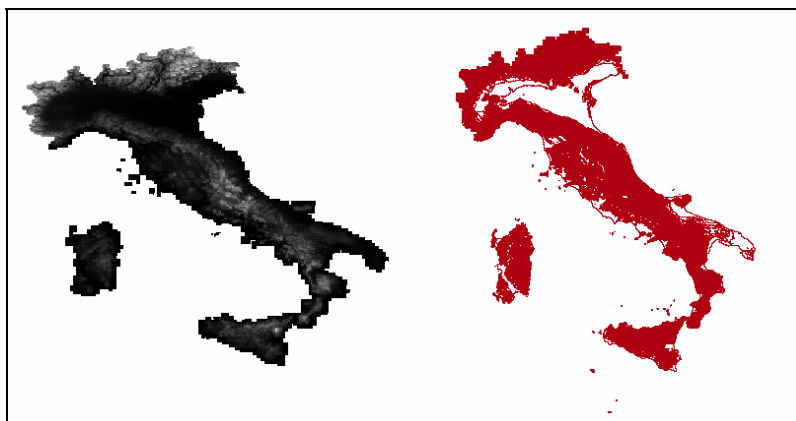


Fig. 11– DTM dell'Italia e le curve di livello relative al suo modello vettoriale.

Lo studio ha interessato l'area costiera della regione Lazio, per cui, per l'elaborazione del TIN sono state prese in considerazione unicamente le curve di livello entro il confine regionale utilizzando come limite costiero la linea di riva dell'anno 2008. Su tali basi è stato creato un poligono sui limiti laziali ottenendo così le curve di livello relative alla regione Lazio. In base a queste linee di livello ed utilizzando il poligono regionale come breakline, linea di rottura per la triangolazione, è stato creato il TIN regionale 2008 (Fig 12). Lo stesso procedimento è stato utilizzato per la creazione di un'altro TIN però in base alle linee batimetriche, che è stato aggiunto al TIN regionale 2008 .

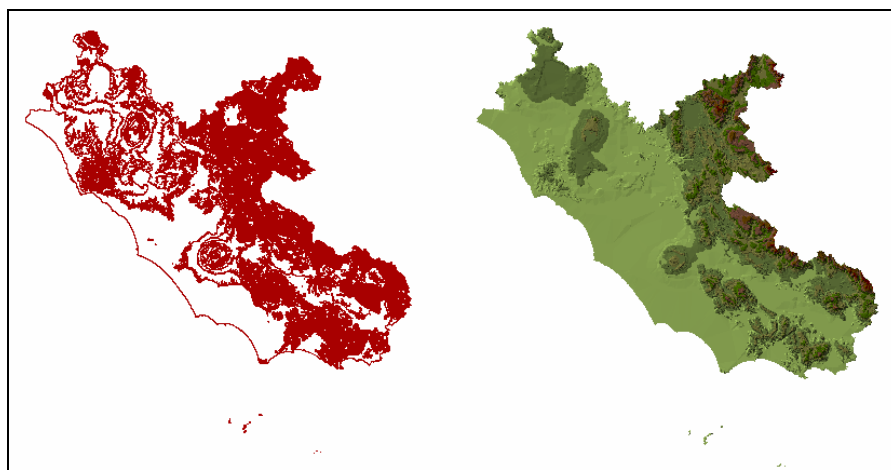


Fig. 12– Modello vettoriale del Lazio e il suo relativo TIN.

Per valutare gli effetti sull'erosione costiera dell'apporto dei sedimenti fluviali sono stati successivamente importati nuovi shapefile con l'informazione relativa alla idrografia dell'Italia dai quali sono stati stralciati i dati riguardanti il sistema idrografico della regione Lazio, poi aggiunti anch'essi al TIN regionale 2008.

In modo analogo sono stati creati altri due TIN in base ai dati relativi degli anni 1950 e 2000 con lo scopo di modellizzare l'evoluzione della variazione della costa in questo intervallo di tempo.

Mediante l'applicazione Arc Scene sono stati sovrapposti, sul TIN regionale 2008, sia i diversi livelli d'informazione relativi alle aree archeologiche di interesse sia le aree di rischio che riguardano lo studio geologico sull'erosione costiera nei ultimi anni. Questo modello di

visualizzazione 3d ci offre la possibilità di localizzare e visualizzare le aree di rischio ed analizzare così le future minacce, oltre a verificare se le opere di difesa costiera realizzate negli ultimi anni hanno contribuito positivamente alla soluzione di tali problemi.

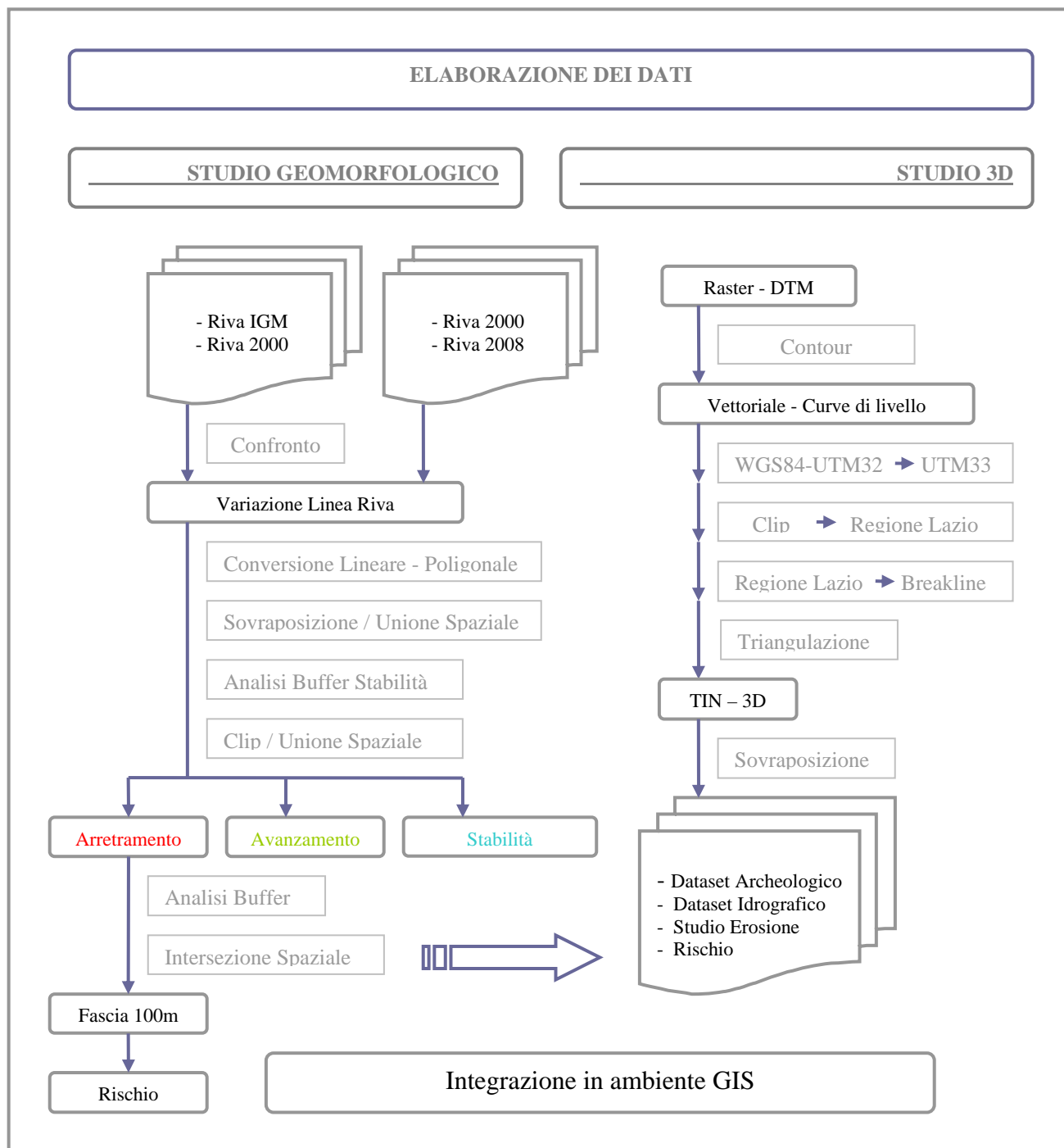


Fig.13–Diagramma di flusso - Elaborazione dei dati

VI. Risultati e discussioni

6.1. Analisi diacronica delle variazioni della linea di costa

Dalla seconda metà del secolo XX fino ai nostri giorni il litorale laziale ha subito delle significative variazioni (Fig 14).

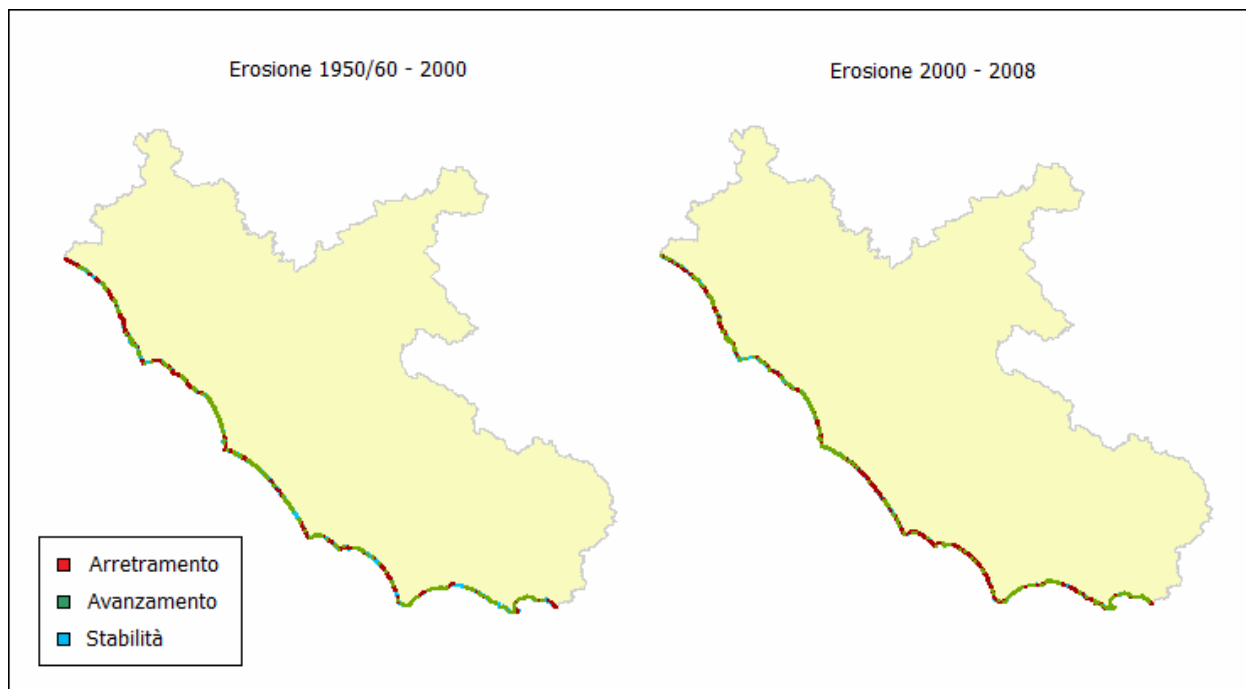


Fig.14 – Modifiche della linea di costa del litorale laziale dagli anni 1950 fino al 2008.

In base ai dati ottenuti nella prima fase dello studio sullo stato del litorale laziale, attraverso l'analisi diacronica delle variazioni della linea di costa, al 2000, oltre il 70% delle spiagge era instabile, da considerarsi in erosione, delle quali il 31% tende ad arretrare mentre il 44% tende ad accrescere. Le analisi successive basate sul confronto delle linee di riva tra gli anni 2000 e 2008, nella seconda fase di studio, confermano un progressivo effetto dell'erosione evidenziando che le spiagge in erosione aumentano fino all'85%, delle quali il 39% arretrano verso il continente mentre il 45% avanzano verso il mare (Fig 15).

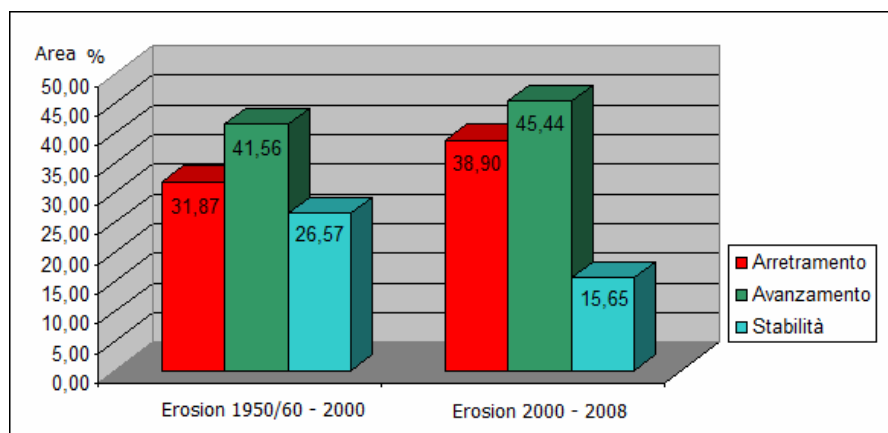


Fig. 15 – Dimensione areale dell’erosione nella regione Lazio tra gli anni 1950/60 e 2008.

Lo studio approfondito nei comuni di Fiumicino, Roma, Nettuno, Anzio, Latina, Sperlonga, Istri, Gaeta e Formia, in linea con le aree campioni d’interesse storico-archeologico scelte anteriormente, ha verificato il progressivo degrado del litorale e inoltre ha constatato un significativo aumento nella regressione della terra rispetto il mare.

Dai risultati ottenuti nella prima fase dello studio si osserva che, molto spesso, le zone in arretramento si ritrovano isolate però rappresentate da un’importante dimensione areale. Nella seconda fase, invece, si denota un cambio nel comportamento dell’erosione. Le zone d’erosione in arretramento sono rappresentate da una superficie abbastanza meno rappresentativa però si estendono disgregandosi lungo il litorale con una maggiore dimensione lineare. Da queste osservazioni si può affermare con certezza che l’erosione, lungo le coste della regione Lazio, avanza gradualmente dalla seconda metà del secolo XX fino ai nostri giorni e le spiagge laziali, come è stato verificato dalla fotointerpretazione, sono in continuo cambiamento. L’entità massima calcolata sullo spostamento della linea di costa della regione Lazio è circa 300 metri, nel comune di Latina (Fig 16).

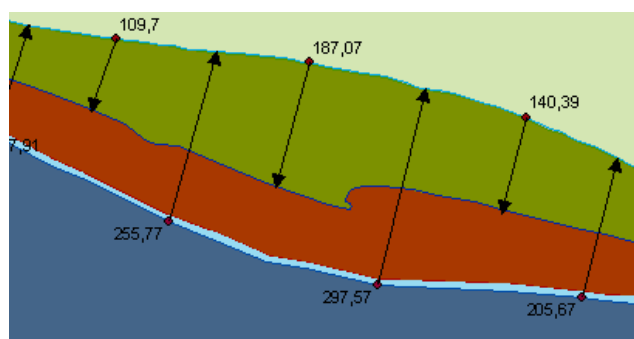


Fig. 16 – L’entità massima di arretramento registrata, Comune di Latina

Dal confronto delle due fasi di studio (Fig 15, 17 e 18), si osserva che la variazione della linea di costa è assai variabile ed i tratti di spiagge instabili sono localizzati a macchia lungo l'intero litorale. Nonostante si sia verificato un aumento delle variazioni di costa in prossimità delle foci fluviali dei corsi d'acqua principali, i fattori erosivi che influiscono negli spostamenti della linea di riva variano a seconda delle zone costiere e molto spesso le cause dell'erosione non possono essere ne generalizzate ne ricollegate tra loro.

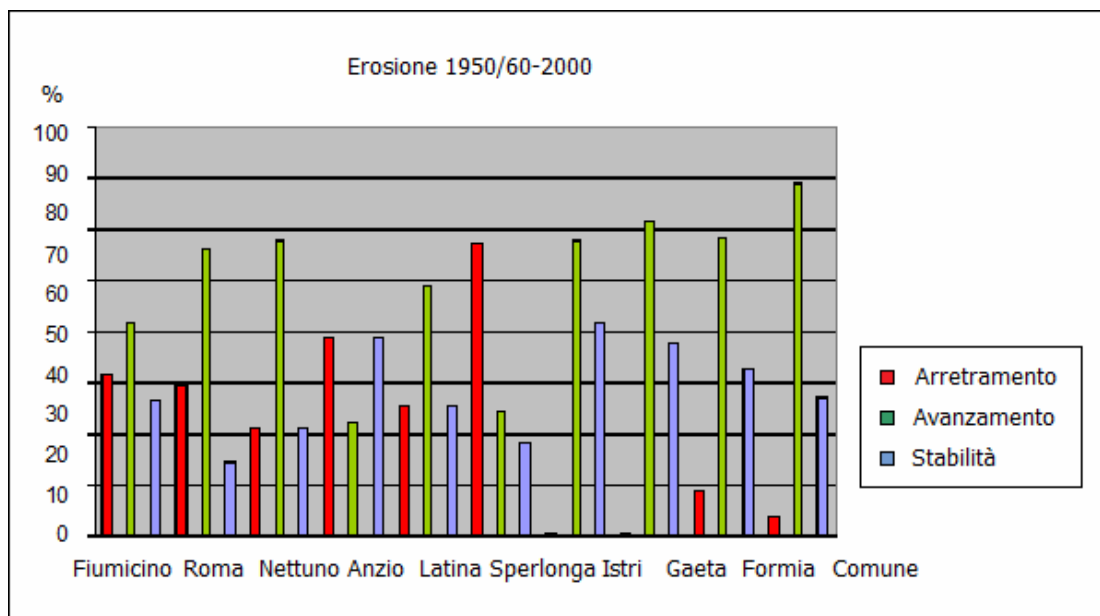


Fig. 17 – Dimensione areale della erosione per comuni tra gli anni 1950/60 - 2000

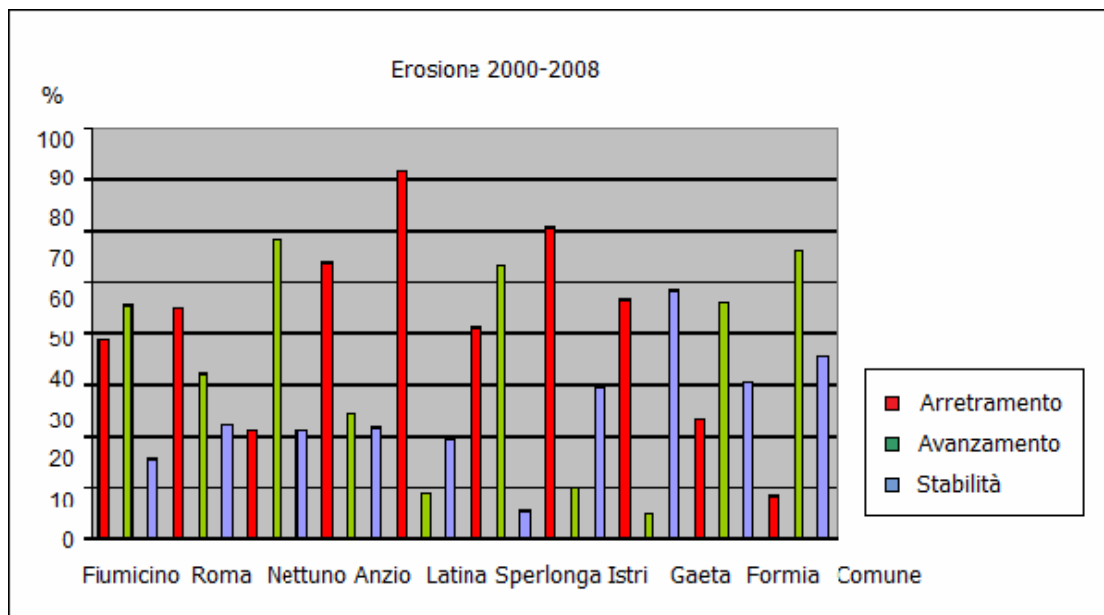


Fig. 18 – Dimensione areale della erosione per comuni tra gli anni 2000 e 2008

6.2. Identificazione delle principali Emergenze Archeologiche che caratterizzano il paesaggio costiero laziale

In base ai risultati ottenuti nella ricerca da me realizzata (Fig 20), attraverso l'analisi diacronica delle variazioni delle linee di costa, si è verificato un significativo arretramento del litorale laziale rispetto al mare. L'arretramento della linea di riva mette in grave pericolo le zone d'interesse storiche ed espone queste aree al forte ed inevitabile degrado che ne deriva dai diversi fattori erosivi del litorale.

Mediante l'osservazione dei dati ottenuti sull'evoluzione della linea di costa è stato possibile localizzare i tratti di costa in erosione, sia in avanzamento che in arretramento, ed identificarne i più significativi. Attraverso la sovrapposizione dello studio del litorale con gli strati informativi relativi ai diversi tematismi di carattere storico-architettonico, l'analisi spaziale ed l'analisi 3D, è stata realizzata l'identificazione e la classificazione dei beni culturali minacciati.

In conseguenza, i beni culturali messi a rischio dall'erosione del litorale a causa de un arretramento della terra rispetto al mare (Fig 19), sono:

- Villa e porto di Nerone, ad Anzio. I resti della struttura dell'antico porto di Nerone si ritrovano sommersi ad una profondità variabile tra 1 e 8 metri. Le cosiddette “grotte di Nerone” ed i resti della villa rimangono invece visibili. Nella prima fase di studio l'erosione si presenta spostando la terra verso il mare, con variazione massima intorno ai 41 metri. Invece, nella seconda fase, la terra si ritira rispetto al mare e si osserva una variazione di circa 25 metri.



Fig.19– Beni in rischio. Dal Porto di Nerone a Torre Astura.

- Sette sono state le ville, di età romana, individuate nella fascia costiera situata ad ovest del fiume Astura che purtroppo si vedono minacciate dalla forte erosione del litorale. E' probabile che resti di strutture ad esse attribuibili giacciono nascosti sotto le dune costiere. I dati risultanti dello studio geomorfologico evidenziano che, nella prima e seconda fase, la linea di riva si sposta gradualmente verso l'entroterra, con variazioni massime di circa 47 metri.
- All'estremità meridionale della punta di Astura sono visibili i resti di una grandiosa villa marittima attribuita a Cicerone, collegata alla terraferma per mezzo di un ponte che serviva anche da acquedotto per il trasporto di acqua dolce alla peschiera. Nella prima fase di studio si osserva una fortissima tendenza della costa ad arretrare, con variazioni massime della linea di costa di circa 108 metri. Invece, la seconda fase presenta variazioni fino ai 22 metri.
- A Sperlonga, i resti della villa di Tiberio sono tuttora visibili insieme alle cosiddette grotte, una estesa e profonda cavità naturale, ninfeo della villa imperiale. Nei dintorni si ritrovano anche diversi beni puntuali diffusi, ormai individualizzati, testimonianza dei caratteri identitari archeologici e storici. I risultati evidenziano, nella prima fase, uno spostamento generale della costa verso il mare, con una variazione massima intorno ai 45 metri. Occorre invece nella seconda fase, che lo spostamento si inverta ed il confine fra terra e mare si sposti verso l'entroterra, con una variazione massima di circa 15 metri.

Invece, i beni culturali colpiti dall'erosione del litorale a causa di un avanzamento della terra rispetto al mare, e perciò non a rischio, sono:

- Sul lungomare di Vindicio, a Formia, sono stati ritrovati numerosi e preziosi reperti di epoca imperiale, come un muro di contenimento in opus reticulatum, una bellissima esedra, un vero e proprio sito archeologico, una struttura ad emiciclo, datata tra l'età repubblicana e quella imperiale, probabile residenza aristocratica. Nei dintorni si trovano anche diversi beni ormai individualizzati, testimonianza dei caratteri identitari archeologici e storici. L'analisi della costa, nella prima fase, evidenzia una variazione della linea di riva con uno spostamento massimo della terra verso il mare di circa 60 metri. Nella seconda fase dello studio, per questa area, l'erosione si può considerare

praticamente stabile, osservandosi solo un piccolo arretramento con un variazione massima di 6 metri.

Per quanto riguarda i comuni di Fiumicino e Roma, i risultati rivelano un aumento della variazione della linea di costa relativo al suo arretramento rispetto al mare. La variazione massima di arretramento nella prima fase è di circa 150 metri. Nella seconda fase invece fino a 50 metri. Lo studio dell'erosione, in questi comuni in particolare, è stato approfondito per valutare gli effetti sull'erosione costiera attraverso l'apporto dei sedimenti fluviali in prossimità delle foci dei corsi d'acqua principali e non per il possibile rischio che possono avere le aree storiche d'interesse, che distano ormai dalla costa circa 3 Km e si trovano immerse nelle infrastrutture urbane.

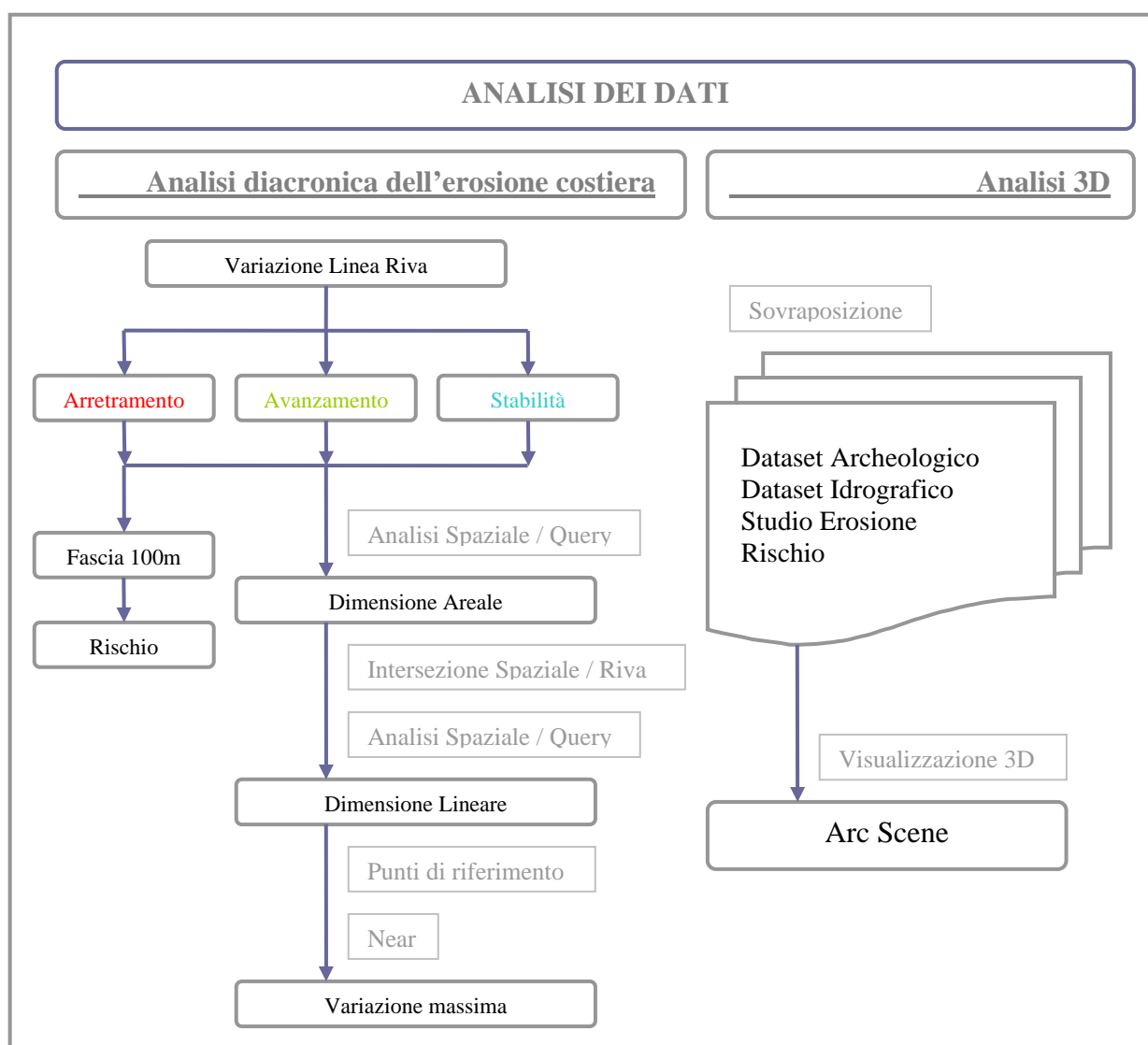


Fig.20–Diagramma di flusso - Analisi dei dati

VII. Conclusioni

Attorno agli anni 50 è iniziata un'intensa erosione del litorale, ancora in corso. Ai fattori naturali che ne determinano il cambiamento si è aggiunto un massiccio e talora determinante intervento antropico. Le coste laziali hanno sofferto l'impatto dell'uomo attraverso diverse attività ed interessi sociali, economici e culturali ed i beni storici che caratterizzano il paesaggio del litorale si trovano costantemente minacciati dall'intensa attività antropica.

La metodologia da me sviluppata ha consentito di compiere precise valutazioni metriche sullo stato delle coste, lo studio della dinamica del litorale laziale e la classificazione dei beni storico-culturali architettonici a rischio a causa dell'erosione.

Dal confronto dei dati attuali sia raccolti che elaborati, con le informazioni storiche disponibili, è stata confermata un'evidente regressione della terra rispetto al mare e di conseguenza, l'avanzamento del livello del mare. L'analisi diacronica della linea di costa, attraverso il confronto della cartografia storica IGM (1950/60) e due aerofotografie georeferenziate (IT2000, IT2008), ha permesso di realizzare uno studio spazio-temporale con lo scopo di valutare lo stato del litorale laziale dalla seconda metà del secolo XX fino ai nostri giorni. Attraverso l'analisi bidimensionale è stato possibile individuare i tratti di costa modificati sulle linee di riva di riferimento, classificando le diverse variazioni in base alle sue modifiche, in avanzamento, arretramento o stabilità. I tratti in arretramento, di particolare interesse sull'impatto erosivo delle coste, sono stati individuati ed attorno ad essi è stata creata una relativa fascia di rischio.

La fotointerpretazione delle stesse aerofotografie e la cartografia del PTPR Tavola B (Piano Territoriale Regionale Paesaggistico – Beni Paesaggistici) hanno permesso la ricostruzione dei tematismi relativi ai beni storico-architettonici delle aree d'interesse. Attraverso la sovrapposizione di questi tematismi di carattere storico-culturale con lo studio geomorfologico sullo stato delle coste del Lazio sono state determinate le principali aree storiche a rischio a causa dell'ormai progressivo arretramento delle coste laziali.

Tale metodologia ha permesso anche di valutare gli effetti collaterali di attività ed opere di protezione, realizzate sulla fascia costiera negli ultimi 40-50 anni, come la realizzazione di pennelli, isolotti, opere miste, etc. Inoltre, ci ha permesso di studiare, modellizzare ed ricostruire uno scenario per quanto riguarda le possibili alterazioni future nella dinamica del litorale allo scopo di prevenire e ridurre i danni del patrimonio culturale in area costiera.

Per concludere, ricordo che i risultati ottenuti nello studio da me realizzato evidenziano un aumento abbastanza significativo dell'erosione delle coste del litorale laziale e spesso costatano una forte tendenza a regredire da parte della terra rispetto al mare. Lo spostamento della linea di riva è assai variabile ed i tratti di spiagge in erosione sono localizzati a macchia lungo l'intero litorale. Le cause dell'incremento delle variazioni di costa non possono essere generalizzate però molto spesso sono legate all'intensa attività antropica svolta nel corso degli ultimi anni.

Tale incremento demografico potrebbe, in alcuni casi, distruggere il valore estetico dell'ambiente che originariamente ha determinato lo sviluppo costiero. La consapevolezza che la spiaggia sia una delle nostre più importanti risorse naturali rende necessaria una conoscenza più approfondita dei processi costieri per assicurare la conservazione e la protezione di un ambiente tanto vulnerabile.

Il GIS, da me sviluppato, può essere utilizzato come punto di riferimento in future analisi sullo stato del litorale ed inoltre come inventario per l'identificazione, la classificazione e la gestione dei beni storico-culturali architettonici messi a rischio a causa dell'erosione delle coste laziali.

VIII. Bibliografia

- Anser, Programme Interreg III B Medoc, Anciennes Routes Maritimes Méditerranéennes, I Porti Antichi del Lazio, Regione Lazio Assessorato Cultura, Spettacolo, Sport e Turismo.
- APAT, 2006, La formazione ambientale attraverso Stages V, Valeria Mancini, 2004, Analisi della pressione antropica sulle coste italiane mediante l'uso del Corine Land Cover e dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), pag 190-191.
- Carla Masetti (a cura di), , Dalla Mappa al GIS, Atti del Primo Seminario di Studi 2007, Laboratorio Geocartografico "Giuseppe Caraci", Dipartimento di Studi Storici Geografici Antropologici, Università degli Studi Roma Tre, Brigati, Genova.
- Chiara Conte, Il Territorio di Nettuno in Epoca Romana, pag 41-60.
- Domenico Pertica, 1966, I Porti del Lazio, Rassegna del Lazio, Roma, gennaio-luglio 1966.
- Giuseppe Barbieri, 1955, I Porti della Toscana e del Lazio, Napoli.
- Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, Studi costieri 2006 N. 10, Lo stato dei litorali italiani, Le spiagge del Lazio, pag. 21-26.
- ICRAM, 2000, Mare e cambiamenti globali, Giuseppe Cremona e Edi, ENEA, Dipartimento Ambiente, L'interpretazione dell'evoluzione del territorio costiero attraverso i GIS, pag. 135-148.
- José Ramón Chantada Acosta e Mercedes Casciani Sicardi, 2006, Aplicaciones de SIG y teledetección en la exploración de patrones arqueológicos en el ámbito geográfico del Gran Coclé, Departamento de Geografía, Universidad de Santiago de Compostela.
- Pino Chiarucci, 1989 , Anzio Archeologica, International Max Press, Roma.

- Roberto de Rubertis (a cura di), 2005, La riva perduta, piano di monitoraggio e di riqualificazione delle fasce costiere italiane, Officina Edizioni, Roma.
- Silvia Fernández Cacho, Leonardo García Sanjuán, Los SIG en la tutela del Patrimonio Arqueológico de Andalucía, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Departamento de Prehistoria y Arqueológica, Universidad de Sevilla.
- Universidad de Alicante, Servicio de Publicaciones 2006, La Aplicación de los Sig en la Arqueologia del Paisaje, Serie Arqueologica, Ignacio Grau Mira Editoriale, Alicante.
- Vanni Mannucci, 1992, Il Parco Archeologico Naturalistico del Porto di Traiano, Ministero per i beni culturali ed ambientali, Soprintendenza archeologica di Ostia, Gangemi Editore, Roma.
- <http://www.culturalazio.it/site/it-IT/Argomenti/Archeologia/Archivio/antichiporti.html>, 15/11/2009.
- <http://www.ostia-antica.org/>, 14/12/2009.
- <http://www.ostia-ostie.net/>, 14/12/2009.
- <http://www.regione.lazio.it/PTPR/PTPRB/>, 26/01/2010.
- <http://www.gisitalia.it/Home/tabid/52/language/it-IT/Default.aspx>, 01/02/2010.
- <http://www.esri.es/>, 03/03/2010.
- <http://www.archeologia.beniculturali.it/>, 07/06/2010

IV. Allegati e/o annessi

9.1. Elenco dei file

I dati raster utilizzati come riferimento sono:

- Cartografia storica IGM a scala 1:25000 in formato digitale.
Ispira. Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine.
- Ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1 m.
WebGis: www.pnc.minambiente.it
- Ortofoto digitale a colori volo IT2008 a risoluzione spaziale 1 m.
WebGis: www.pnc.minambiente.it
- Modello Digitale di Elevazione dell'Italia, DTM_20M, in un sistema di riferimento WGS 1984 – Fuso 32.
WebGis: www.pnc.minambiente.it

Mentre i dati raster di base da me elaborati sono:

- Dataset di immagini estratte dal Piano Territoriale Paesistico Regionale(PTPR),
Tavola-B Beni Paesaggistici, a scala 1:1000 in formato digitale.
<http://www.regione.lazio.it/PTPR/PTPRB/>

I dati vettoriali di riferimento sono:

- Linea di riva IGM, estratta dalla cartografia storica IGM a scala 1:25000 in formato digitale.
Ispira. Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine.
- Linea di riva 2000, estratta dall'ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1m. GCS: WGS 84 - UTM, Fuso 33.
Ispira. Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine.
- Batimetria dell'Italia. Linee batimetriche Italia 5_200.
Ispira. Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine.
- Idrografia dell'Italia.
WebGis: www.pnc.minambiente.it

- Limiti amministrativi regionali e comunali.

WebGis: www.pnc.minambiente.it

Mentre i dati vettoriali di base da me elaborati sono:

- Linea di riva 2008, vettorializzata tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo IT2008 a risoluzione spaziale 1m. GCS: WGS 84 - UTM, Fuso 33.
- Beni puntuali e lineari di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo IT2008 a risoluzione spaziale 1m
- Aree ed ambiti di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo IT2008 a risoluzione spaziale 1m
- Aree ed ambiti di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dall'ortofoto digitale a colori volo IT2000 a risoluzione spaziale 1m
- Beni puntuali e lineari di interesse archeologico con fascia di rispetto, vettorializzati tramite digitalizzazione dal Dataset immagini del PTPR Tavola B
- Aree ed ambiti di interesse archeologico, vettorializzati tramite digitalizzazione dal Dataset immagini del PTPR Tavola B

I dati vettoriali da me elaborati nello studio dell'erosione sono:

- Calcolo della stabilità della linea di riva di riferimento 1950/60. Buffer 10 m
- Calcolo della stabilità della linea di riva di riferimento 2000. Buffer 2m
- Calcolo della dimensione areale dell'erosione della regione Lazio 1950/60-2000
- Calcolo della dimensione areale dell'erosione della regione Lazio 2000-2008
- Calcolo della dimensione areale dell'erosione dei comuni d'interesse 1950/60-2000
- Calcolo della dimensione areale dell'erosione dei comuni d'interesse 2000-2008
- Calcolo della dimensione lineare dell'erosione della regione Lazio 1950/60-2000
- Calcolo della dimensione lineare dell'erosione della regione Lazio 2000-2008
- Calcolo della dimensione lineare dell'erosione dei comuni d'interesse 1950/60-2000

- Calcolo della dimensione lineare dell'erosione dei comuni d'interesse 2000-2008
- Creazione dei punti di riferimento della linea di costa 1950/60 per il calcolo della variazione massima 1950/60-2000
- Creazione dei punti di riferimento della linea di costa 2000 per il calcolo della variazione massima 2000-2008
- Calcolo della variazione massima dell'erosione nella regione 1950/60-2000
- Calcolo della variazione massima dell'erosione nella regione Lazio 2000-2008
- Calcolo della variazione massima dell'erosione nei comuni d'interesse 1950/60-2000
- Calcolo della variazione massima dell'erosione nei comuni d'interesse 2000-2008
- Calcolo della relativa fascia di rispetto delle zone d'erosione in arretramento 2000-2008 Calcolo del possibile rischio. Buffer 100m
- Intersezione spaziale fra la relativa fascia di rispetto delle zone d'erosione in arretramento 2000-2008 e i beni puntuali e lineari di interesse archeologico con fascia di rispetto.
- Intersezione spaziale fra la relativa fascia di rispetto delle zone d'erosione in arretramento 2000-2008 e le aree ed ambiti di interesse archeologico.
- Calcolo delle superficie in possibile rischio in base al arretramento 2000-2008

I dati 3D da me elaborati nello studio 3D sono:

- TIN regionale 2008 relativo al Modello Digitale di Elevazione dell'Italia, DTM_20M
- TIN regionale 2000 relativo al Modello Digitale di Elevazione dell'Italia, DTM_20M
- TIN regionale 1950/1960 relativo al Modello Digitale di Elevazione dell'Italia, DTM_20M
- TIN Batimetrico relativo alle Linee batimetriche Italia 5_200.
- Arc Scene: Sovrapposizione di tutti livelli d'informazione sul TIN regionale 2008. Filmato.

9.2. Indice di figure

Fig. 1 – Tipologia di costa.....	pag. 5
Fig. 2 – Tipologia di opere marittime.....	pag. 6
Fig. 3 – Linea di Riva tra Ostia antica e i porti di Claudio e Traino in età romana.....	pag. 7
Fig. 4 – Pianta del Porto di Nerone, Anzio.....	pag. 9
Fig. 5 – Villa di Tiberio, Sperlonga.....	pag. 11
Fig. 6 – Cartografia tradizionale IGM in scala 1:25.0000 informatizzata e mosaicata.....	pag. 15
Fig. 7 – Ortofoto volo IT2008, esempio di editing della linea di costa.....	pag. 16
Fig. 8 – Diagramma di flusso – Dati di riferimento e strati informativi.....	pag. 17
Fig. 9 – Raster estratto dal PTRP georeferenziato sull’ortofoto volo IT2008.....	pag. 19
Fig. 10 – Relativa fascia di rispetto di 100 m delle aree di rischio.....	pag. 21
Fig. 11 – DTM dell’Italia e le curve di livello relative al suo modello vettoriale.....	pag. 21
Fig. 12 – Modello vettoriale del Lazio e il suo relativo TIN.....	pag. 22
Fig. 13 – Diagramma di flusso - Elaborazione dei dati.....	pag. 23
Fig. 14 – Modifiche della linea di costa del litorale laziale dagli anni 1950 fino al 2008.....	pag. 24
Fig. 15 – Dimensione areale dell’erosione nella regione Lazio tra gli anni 1950/60 e 2008.....	pag. 25
Fig. 16 – L’entità massima di arretramento registrata, Comune di Latina.....	pag. 25
Fig. 17 – Dimensione areale della erosione per comuni tra gli anni 1950/60 – 2000.....	pag. 26
Fig. 18 – Dimensione areale della erosione per comuni tra gli anni 2000 e 2008.....	pag. 26
Fig. 19 – Beni in rischio. Dal Porto di Nerone a Torre Astura.....	pag. 27
Fig. 20 –Diagramma di flusso - Analisi dei dati.....	pag. 29

9.3. Tabelle

- Dimensione areale dell'erosione nella regione Lazio 1950/60-2000

1950/60 - 2000				
Superficie in erosione m2			Totale	Percentuale
Lazio	Arretramento	3131442,06	9825624,31	31,87
	Avanzamento	4083300,60		41,56
	Stabilità	2610881,65		26,57

- Dimensione areale dell'erosione nei comuni d'interesse 1950/60-2000

1950/60 - 2000				
Superficie in erosione m2			Totale	Percentuale
Fiumicino	Arretramento	470126,76	1597766,51	29,42
	Avanzamento	893652,03		55,93
	Stabilità	233987,73		14,64
Roma	Arretramento	169347,29	811727,22	20,86
	Avanzamento	469719,01		57,87
	Stabilità	172660,92		21,27
Anzio	Arretramento	118166,81	302491,21	39,06
	Avanzamento	66823,19		22,09
	Stabilità	117501,21		38,84
Nettuno	Arretramento	121262,02	471716,27	25,71
	Avanzamento	231029,60		48,98
	Stabilità	119424,66		25,32
Latina	Arretramento	362952,31	635225,32	57,14
	Avanzamento	155192,42		24,43
	Stabilità	117080,59		18,43
Sperlonga	Arretramento	1364,46	184846,13	0,74
	Avanzamento	106862,68		57,81
	Stabilità	76618,99		41,45
Istri	Arretramento	127,86	24547,60	0,52
	Avanzamento	15197,01		61,91
	Stabilità	9222,73		37,57
Gaeta	Arretramento	48144,27	527815,78	9,12
	Avanzamento	308060,95		58,37
	Stabilità	171610,56		32,51
Formia	Arretramento	17777,93	455853,38	3,90
	Avanzamento	314345,68		68,96
	Stabilità	123729,77		27,14

- Dimensione areale dell'erosione nella regione Lazio 2000 - 2008

2000 - 2008				
Superficie in erosione m2			Totale	Percentuale
Lazio	Arretramento	2071622,22	5324925,75	38,90
	Avanzamento	2419707,42		45,44
	Stabilità	833596,12		15,65

- Dimensione areale dell'erosione nei comuni d'interesse 2000 - 2008

2000 - 2008				
Superficie in erosione m2			Totale	Percentuale
Fiumicino	Arretramento	182858,35	404488,14	45,21
	Avanzamento	131329,33		32,47
	Stabilità	90300,46		22,32
Roma	Arretramento	85265,54	407507,86	20,92
	Avanzamento	237317,79		58,24
	Stabilità	84924,54		20,84
Anzio	Arretramento	87395,24	162143,79	53,90
	Avanzamento	39615,37		24,43
	Stabilità	35133,19		21,67
Nettuno	Arretramento	200856,38	281144,34	71,44
	Avanzamento	25691,93		9,14
	Stabilità	54596,03		19,42
Latina	Arretramento	185600,92	451954,21	41,07
	Avanzamento	240302,11		53,17
	Stabilità	26051,18		5,76
Sperlonga	Arretramento	38684,09	64057,71	60,39
	Avanzamento	6562,85		10,25
	Stabilità	18810,76		29,37
Istri	Arretramento	1640,64	3516,96	46,65
	Avanzamento	175,58		4,99
	Stabilità	1700,75		48,36
Gaeta	Arretramento	43124,02	183769,39	23,47
	Avanzamento	84385,97		45,92
	Stabilità	56259,40		30,61
Formia	Arretramento	9782,06	119833,49	8,16
	Avanzamento	67516,26		56,34
	Stabilità	42535,17		35,50

- Dimensione lineale dell'erosione nella regione Lazio 1959/60 – 2000- 2008

Regione	1950/60 - 2000		2000 - 2008	
	Dimensione lineare m		Dimensione lineare m	
	Arretramento	Avanzamento	Arretramento	Avanzamento
Lazio	140199,07	165532,20	236108,62	172331,25

- Variazione massima dell'erosione nei comuni d'interesse 1950/60-2000

1950/60 - 2000		
Comuni	Variazione massima m	
	Arretramento	Avanzamento
Fiumicino	157,85	99,55
Roma	93,84	109,02
Anzio	49,49	41,37
Nettuno	107,82	79,58
Latina	297,57	77,57
Sperlonga	22,05	124,32
Istri	7,58	42,83
Gaeta	24,18	38,28
Formia	20,22	76,27

- Variazione massima dell'erosione nei comuni d'interesse 2000 – 2008

2000 - 2008		
Comuni	Variazione massima m	
	Arretramento	Avanzamento
Fiumicino	56,33	52,98
Roma	50,96	66,51
Anzio	44,29	84,3
Nettuno	75,64	18,9
Latina	66,58	187,07
Istri	12,41	7,71
Sperlonga	34,57	21,24
Gaeta	27,62	29,69
Formia	20,36	41,92